9 T. 6 38 N 13

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

БАХ А. Н., ВИЛЬЯМС В. Р., ВОЛЬФСОН М. Б., ГЕНДЛЕР Е. С., ГУБКИН И. М., ДОЛГОВ А. Н., ИОФФЕ А. Ф., ИПАТЬЕВ В. Н., КАГАН В. Ф., КЕРЖЕНЦЕВ П. М., КРЖИЖАНОВСКИЙ Г. М., КРИЦМАН Л. Н., КУЗЬМИНСКИЙ К. С., КУЙБЫШЕВ В. В., ЛАПИРОВ-СКОБЛО М. Я., ЛЕНГНИК Ф. В., ЛИНДЕ В. В., МАРТЕНС Л. К., МЕЩЕРЯКОВ Н. Л., ФЕДОРОВСКИЙ Н. М., ШАТЕЛЕН М. А., ШМИДТ О. Ю.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Л. К. МАРТЕНС

ТОМ ТРИНАДЦАТЫЙ

МЕТИЛОВЫЙ ФИОЛЕТОВЫЙ — МЫШЬЯК

ГОСУДАРСТВЕННОЕ СЛОВАРНО-ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО «СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»

МОСКВА ◇ ОГИЗ РСФСР ◇ 1931

© ГПНТБ СО РАН

ГОСУДАРСТВЕННАЯ НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА М.Т.У.-В.С.Н.Х.

6(03)
6
9Т38

549/10
183375/1932

2 1938 17
получено

ГОСУДАРСТВЕННОЕ СЛОВАРНО-ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»

Редакционная работа по XIII тому ТЭ закончена 15 января 1931 года.

ПРОВЕРКА
ЖУГНБ

Адрес Редакции Технической Энциклопедии: Москва, Остоженка, 1.
Адрес Конторы Издательства: Москва, Волхонка, 14.

16-я типография «Мосполиграф», Москва, Трехпрудный пер., 9.
Главлит А 72 198. Гиз 7. Тираж 36 000 экз.

РЕДАКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ

РЕДАКЦИОННОЕ БЮРО

Главный Редактор—проф. **Л. К. Мартенс.**

Зам. Гл. Редактора—проф. **М. Б. Вольфсон.** | Зав. Издат. Частью—**К. С. Кузьминский.**
Пом. Гл. Редактора—инж. **Б. Э. Шпринк.** | Ученый Секретарь—**Н. П. Ракицкий.**

НАУЧНЫЕ СОТРУДНИКИ

Кандидат химии **Ельцина П. М.;** инж. **Знаменский А. А.; Мельников И. И.;** инж. **Мушенко И. Н.;** инж. **Павлушков Л. С.; Ракицкий Н. П.;** инж. **Шпринк Б. Э.;** инж. **Фрязиновский И. А.;** инж. **Эрвальд К. А.;** Зав. библиографией: инж. **Таубман С. И.**

Технические Редакторы: **Гришинский А. С., Карабанов К. В., Никаноров В. М.**

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР

Зав. Производственно-Изд. Сектором: **Строгин Л. И.;** Зам. Зав. Произв.-Изд. Сектором: **Крейндель А. Д.;** Зам. Зав. Издат. Частью: **Маркус В. А.;** Зав. Иллюстр. Отд.: **Тавастшерна В. Я.;** Зав. Худ.-Технич. Отд.: **Варшавский Л. Р.;** Зав. Технич. Редакцией при типографии: **Татиев Д. П.;** Технические Редакторы: **Малкин А. Д., Праведников П. С.;** Зав. Корректорской: **Чернов Е. А.;** Зам. Зав. Корректорской: **Ошер А. Н.**

© ГПНТБ СО РАН

СОКРАЩЕНИЯ И СИМВОЛИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

I. Метрические меры.

км	километры (1 000 *м*).
м	метры.
дм	дециметры (0.1 *м*).
см	сантиметры (0,01 *м*).
мм	миллиметры (0,001 *м*).
μ	микроны (0,001 *мм*).
тμ	миллимикроны (0,001 *μ*).
μμ	микромикрон (0.000001 *μ*).
км²	квадратные километры.
га	гектары (квадратные гектометры).
а	ары (квадр. декаметры).
м²	квадратные метры.
м³	кубические метры.
дм³	» дециметры.
см³	» сантиметры.
мм³	» миллиметры.
т	метрич. тонны (1 000 *кг*).
ц	центнеры (100 *кг*).
кг	килограммы (1 000 *г*).
г	граммы.
дг	дециграммы (0,1 *г*).
сг	сантиграммы (0,01 *г*).
мг	миллиграммы (0,001 *г*).
μг	микрограммы (0,001 *мг*).
к	караты (200 *мг*).
кл	килолитры (1 000 *л*).
гл	гектолитры (100 *л*).
дкл	декалитры (10 *л*).
л	литры.
дл	децилитры (0,1 *л*).
сл	сантилитры (0,01 *л*).
мл	миллилитры (0,001 *л*).
тм	тоннометры.
кгм	килограммометры.
т/м²	тонны на кв. метр.
кг/см²	килограммы на кв. сантиметр.
м/ск	метры в секунду.
п. м	погонные метры.
рег. т	регистровые тонны.

II. Математич. обозначения.

°	градус.
′	минута, фут.
″	секунда, дюйм.
‴	терция, линия.
>	больше (< меньше).
≯ ≮	не больше (⩽ не меньше).
≈	приблизительно равно.
≥	больше или равно.
≤	меньше или равно.
≫	значительно больше.
≪	значительно меньше.
∢	угол, измеряемый дугой.
∥	параллельно.
⊥	перпендикулярно.
∴	от—до.
sin	синус.
tg	тангенс.
sc	секанс.
cos	косинус.
ctg	котангенс.
csc	косеканс.
arc sin	арксинус.
arc tg	арктангенс.
sh	гиперболический синус.
ch	гиперболич. косинус.
th	» тангенс.
⌀	диаметр.
e	основание натуральных логарифмов.
lg	логарифм десятичный.
ln	» натуральный.
lim	предел.
Const	постоянная величина.
$\sum$	сумма.
$\int$	интеграл.
~	приблизительно.
∞	бесконечность.
d	полный диференциал.
∂	частный »

III. Международные символы.

а) Единицы.

A	ампер.
Ah	ампер-час.
W	ватт.
Wh	ватт-час.
kW	киловатт.
kWh	киловатт-час.
V	вольт.
mV	милливольт.
VA	вольт-ампер.
kVA	киловольт-ампер.
mA	миллиампер.
Ω	ом.
MΩ	мегом.
μΩ	микроом.
C	кулон.
VC	вольт-кулон.
H	генри.
J	джоуль.
F	фарада.
μF	микрофарада.
Å	ангстрем.
D	дина.
Cal	калория большая.
cal	» малая.
HP	лошадиная сила.
lm	люмен.
lx	люкс.
m	мюрг.

б) Величины.

t°	температура обыкновен.
T°	» абсолютная.
$t°_{кип.}$	температура кипения.
$t°_{пл.}$	» плавления.
$t°_{заст.}$	» застывания.
$t°_{отв.}$	» отвердевания.
$t°_{крит.}$	» критическая.
atm	атмосфера техническая.
Atm	» барометрич.
I	сила тока.
Q	электрич. заряд, количество электричества.
E	электродвижущая сила.
V, U	напряжение, потенциал.
A	работа.
W	энергия.
N	мощность.
T	период колебания.
f, ν	частота.
ω	угловая скорость, угловая частота.
Ω	боковая частота.
λ	длина волны.
φ	сдвиг фазы.
L	самоиндукция.
C	емкость.
R	сопротивление активное (ваттное).
ε	диэлектрич. постоянная.
μ	магнитн. проницаемость.
ϱ	удельное сопротивление.
σ	удельная проводимость.
δ	декремент затухания.
Φ	магнитный поток.
H_{Br}	твердость по Бринелю.
$A_{c_1}, A_{c_2}, A_{c_3}$	критич. точки
$A_{r_1}, A_{r_2}, A_{r_3}$	желез. сплавов.
g	ускорение силы тяжести.
l	длина.
m	масса.
$D^{t_1}_{t_2}$	уд. вес при $t_1°$ по отношению к воде при $t_2°$.
[α]; $[α]_D$	угол вращения плоскости поляризации.
$C_н.$; [H⁺]	концентрация водородных ионов.
pH; $P_н$	водородн. показатель.
$^1/_1 N$	нормальный раствор.

IV. Основные сокращения.

фт.—футы.	
дм.—дюймы.	
кц.—килоцикл.	
ц.—цикл.	
св.—свеча.	
об/м.—обороты в минуту.	
п-вс.—пудоверсты.	
п-фт.—пудофуты.	
фт/ск.—футы в секунду.	
чв-д.—человекодни.	
чв-ч.—человекочасы.	
долл., $—доллары.	
мар.—марки.	
фн. ст., £—фунты стерлингов.	
фр.—франки.	
шилл.—шиллинги.	
млн.—миллионы.	
млрд.—миллиарды.	
ч.—часы.	
м., мин.—минуты.	
ск.—секунды.	
°Bé—градусы Боме.	
°Э.—градусы Энглера.	
Градусы температ. шкал:	
°К—Кельвина.	
°С, °Ц.—Цельсия (100°-й).	
°Р.—Реомюра.	
°Ф.—Фаренгейта.	
t°—температура по 100°-ной шкале (С).	
t° Р.—температура по Реомюру.	
t° Ф.—температура по Фаренгейту.	
абс. ед.—абсолютная единица.	
ат. в.—атомный вес.	
Aufl.—Auflage.	
B.—Band, Bände.	
v.—volume, volumes.	
вкл.—включительно.	
гг.—годы, города.	
д.—деревня, долгота.	
д. б.—должно быть.	
ж. д.—железная дорога.	
з.-европ.—западноевропейский.	
з-д—завод.	
изд.—издание.	
ин-т—институт.	
Jg.—Jahrgang.	
кпд—коэфициент полезного действия.	
к-рый—который.	
к-та—кислота.	
Lfg—Lieferung.	
м—мета (хим.).	
м. б.—может быть.	
м. г.—минувшего года.	
меш (mesh)—число отверстий в ситах на лин. дюйм.	
мн-к—многоугольник.	
мол. в.—молекулярный вес.	
нек-рый—некоторый.	
о—орто (хим.).	
об-во—общество.	
о-в—остров.	
п—пара (хим.).	
р.—pagina, paginae (лат.—страница, страницы).	
пром-сть—промышленность.	
проф.—профессор.	
SK—зегеровские конуса.	
С., Ю., В., З.—север, юг, восток, запад.	
с.-з., ю.-в.—северо-западный, юго-восточный.	
стр.—страницы.	
т.—том, томы.	
t.—tome, tomes.	
T.—Teil, Teile.	
тв.—твердость.	
т-во—товарищество.	
темп-ра—температура.	
т. н.—так называемый.	
тр-к—треугольник.	
уд.—удельный.	
уд. в.—удельный вес.	
ур-ие—уравнение.	
У. П.—Урочное положение.	
u. ff.—und folgende.	
ф-ия—функция.	
ф-ка—фабрика.	
ф-ла—формула.	
Н.—Heft, Hefte.	
хим. сост.—химический состав.	
ц. т.—центр тяжести.	
Ztg—Zeitung.	
Ztrbl.—Zentralblatt.	
Ztschr.—Zeitschrift.	
ш.—широта.	
эдс—электродвижущая сила.	
эфф.—эффективный.	
Ан. П.—английский патент.	
Ам. П.—американский »	
Г. П.—германский »	
Р. П.—русский »	
Сов. П.—советский »	
Ф. П.—французский »	
B.—Berlin.	
Brschw.—Braunschweig.	
L.—London.	
Lpz.—Leipzig.	
Mch.—München.	
N. Y.—New York.	
P.—Paris.	
Stg.—Stuttgart.	
W.—Wien.	
Wsh.—Washington.	
Л.—Ленинград.	
М.—Москва.	
П.—Петроград.	
СПБ—Петербург.	

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ НАЗВАНИЙ РУССКИХ И ИНОСТРАННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ, ОБЩЕСТВ, ФИРМ

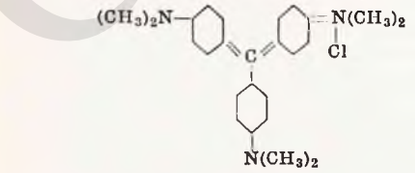
«АзНХ»—Азербайджанское нефтяное хозяйство, Баку.	
БМЭ—Большая медицинская энциклопедия, Москва.	
БСЭ—Большая советская энциклопедия, Москва.	
«ВВ»—Военный вестник, Москва.	
«ВВФ»—Вестник воздушного флота, Москва.	
«ВИ»—Вестник инженеров, Москва.	
«ВС»—Вестник стандартизации, Москва.	
«ВТ»—Вопросы труда, Москва.	
«ГЖ»—Горный журнал, Москва.	
«ГТ»—Гигиена труда, Москва.	
«Ж»—Журнал Русского физико-химического об-ва, Ленинград.	
«ЖРМО»—Журнал Русского металлургического об-ва, Ленинград.	
«ЖХП»—Журнал химической промышленности, Москва.	
«ИТИ»—Известия Теплотехнического института им. проф. В. И. Гриневецкого и К. В. Кирша, Москва.	
«ИТПТ»—Известия текстильной промышленности и торговли, Москва.	
«МС»—Минеральное сырье, Москва.	
«МХ»—Мировое хозяйство и мировая политика, Москва.	
«НИ»—Нерудные ископаемые, Ленинград.	
«НХ»—Нефтяное хозяйство, Москва.	
ОСТ—Общесоюзные стандарты, Москва.	
«ПТ»—Промышленность и техника, СПБ.	
«ПХ»—Плановое хозяйство, Москва.	
«СГ»—Социальная гигиена, Москва.	
«СП»—Строительная промышленность, Москва.	
Спр. ТЭ—Справочник физических, химических и технологических величин, Москва.	
«СТ»—Санитарная техника, Москва.	
«СХ»—Социалистическое хозяйство, Москва.	
«ТД»—Торфяное дело, Москва.	
«ТиТбП»—Телеграфия и телефония без проводов, Н.-Новгород.	
«Труды ГЭЭИ»—Труды Гос. экспериментального электротехнич. ин-та, Москва.	
«Труды НАМИ»—Труды Научного автомоторного института, Москва.	
«Труды НИУ»—Труды Научного института по удобрениям, Москва.	
«Труды ЦАГИ»—Труды Центрального аэрогидродинамического ин-та, Москва.	
ТЭ—Техническая энциклопедия, Москва.	
«УФН»—Успехи физических наук, Москва.	
«ХД»—Хлопковое дело, Москва.	
«AAZ»—Allgemeine Automobil - Zeitung, Wien.	
«A. Ch.»—Annales de Chimie et de Physique, Paris.	
AEG—Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.	
AGFA—Aktien-Gesellschaft für Anilin-Fabrikation, Berlin.	
«Am. Soc.»—Journal of the American Chemical Society, Easton, Pa.	
«Ann. d. Phys.»—Annalen der Physik, Lpz.	
«Ann. Min.»—Annales des Mines, Paris.	

«B»—Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Berlin.
BAMAG—Berlin-Anhaltische Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft, Dessau.
BASF—Badische Anilin- und Soda-Fabrik, Ludwigshafen a/R.
BEAMA—The British Electrical and Allied Manufacturers Association, London.
«B. u. E.»—Beton und Eisen, Berlin.
Bayer—Farbenfabriken vorm. Fr. Bayer & Co., Köln a/R.
«Ch. Ind.»—Chemische Industrie, Berlin.
«Ch.-Ztg»—Chemiker-Zeitung, Cöthen.
«Ch. Ztrbl.»—Chemisches Zentralblatt, Berlin.
«CR» — Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Paris.
DIN—Deutsche Industrie-Normen.
«Dingl.»—Dinglers polytechnisches Journal, Berlin.
«EChZ»—Elektrochemische Zeitschrift, Berlin.
«EMA»—Zeitschrift für Elektrotechnik und Maschinenbau, Berlin.
«EuM»—Elektrotechnik und Maschinenbau, Wien.
«ETZ»—Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin.
«GC»—Génie Civil, Paris.
Handb. Ing.—Handbuch der Ingenieurwissenschaften, herausgegeben von L. Willmann, Th. Landsberg, E. Sonne, in 5 Teilen, 1910—25, Leipzig.
«I. Eng. Chem.»—Industrial and Engineering Chemistry, Easton, Pa.
I. G. Farben—Interessengemeinschaft Farben-Industrie A.-G., Leverkusen b. Köln a/R.
«JAIEE»—Journal of the American Institute of Electrical Engineers, New York.
«J. Ch. I.»—Journal of the Society of Chemical Industry, London.
«Lieb. Ann.»—Liebigs Annalen der Chemie, Berlin.
«Mitt. Forsch.» — Mitteilungen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Berlin.
«MuM»—Wochenschrift für die gesamte Müllerei und Mühlenbau-Industrie, München.
NDI—Normenausschuss der deutschen Industrie.
«PeKa»—Fachblatt für Parfümerie und Kosmetik, München.
«RGÉ»—Revue Générale de l'Électricité, Paris.
«Soc.»—Journal of the Chemical Society, London.
«St. u. E.»—Stahl und Eisen, Düsseldorf.
Ullm. Enz.—Enzyklopädie der technischen Chemie, herausgegeben von F. Ullmann, Wien—Berlin, 1915—1923, 2 Auflage erscheint ab 1928.
«WeTeZ»—Westdeutsche Textil-Zeitung, Elberfeld.
«Z. ang. Ch.»—Zeitschrift für angewandte Chemie, Berlin.
«Z. d. VDI»—Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, Berlin.
«ZFM»—Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, München.

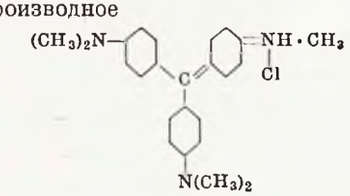
В тринадцатом томе ТЭ помещены 905 иллюстраций в тексте и девять вкладок к статьям: «Метрополитен» — 3, «Микроструктура» — 5 и «Мукомольные мельницы» — 1.

М

МЕТИЛОВЫЙ ФИОЛЕТОВЫЙ, метил виолет, основной метиленхинонный краситель, представляющий алкильные, преимущественно метильные производные фуксина. В зависимости от числа метильных групп в продаже имеются различные марки М. ф., отличающиеся своим цветом. Увеличение числа метильных групп вызывает постепенный переход цвета к синему. Наиболее распространенными марками М. ф. являются: гексаметильное производное фуксина



называемое также кристаллическим фиолетовым; получается при конденсации кетона или гидрола Михлера (из фосгена и диметиланилина) с диметиланилином, представляет собой фиолетово-синий краситель весьма чистого оттенка; пентаметильное производное



выпускаемое в продажу под названием метилового фиолетового 5 В, в смеси с гекса- и тетрапроизводным получается при окислительной конденсации диметиланилина в присутствии значительных количеств поваренной соли, медного купороса и фенола или уксусной кислоты. Медные соли играют при этом роль катализатора. Одна из метильных групп диметиланилина, отщепляясь в виде, очевидно, формальдегида, служит основанием для центрального трифенилметанового углерода. Получение красителя ведется в специальных аппаратах, приспособленных к хорошему перемешиванию массы и снабженных регулирующей арматурой для доступа воздуха и регулировки $t°$, к-рая не должна превышать 55°. По окончании окисления растворяют смесь в разбавленной соляной к-те и удаляют медь пропусканием сероводорода. Из отфильтрованной жидкости выделяется содой основание красителя, к-рое вновь растворяется в кислоте и упаривается досуха в паровых чренах. Выходы достигают при этом до 100% от всего введенного в реакцию диметиланилина. М. ф. применяется для окраски шерсти, шелка и растительных волокон по таниновой протраве, давая непрочные к свету окраски. Большое применение М. ф. находит для окраски бумаги, кожи, лаков, главн. образом при производстве химических карандашей и копировальной бумаги.

Лит.: Fierz-David H. E., Künstliche organische Farbstoffe, Technologie d. Textilfasern, hrsg. v. R. Herzog, B. 3, B., 1926; Mühlhauser O., Technik d. Rosanilinfarbstoffe, Stg., 1889. **И. Иоффе.**

МЕТИЛОРАНЖ, см. *Гелиантин.*

МЕТИЛЭТИЛКЕТОН, $CH_3 \cdot CO \cdot C_2H_5$, предельный кетон жирного ряда, ближайший гомолог ацетона. Бесцветная подвижная жидкость с приятным эфирным запахом, растворимая в воде, спирте и эфире; $t°_{кип.}$ 78,6°; $t°_{пл.}$ —86°; удельн. вес D_4^{20}=0,816, D_4^0=0,824. М. является одним из продуктов сухой перегонки древесины и он поэтому содержится в подсмольной воде и в древесном спирте-сырце [1]. При техническом получении ацетона из древесного порошка (уксуснокислого кальция) путем пиролиза М. образуется [2] за счет наличия примеси пропионовокислого кальция, распадающегося в смеси с ацетатом кальция по ур-ию:

$$(C_2H_5 \cdot COO)_2Ca + (CH_3 \cdot COO)_2Ca = 2CH_3 \cdot CO \cdot C_2H_5 + 2CaCO_3.$$

Синтетически М. можно получить по всем общим способам получения *кетонов* (см.). Технически М. получается как побочный продукт при производстве древесного ацетона: он составляет главную часть т. наз. «белого ацетонового масла», выделяемого при вторичной перегонке хвостовых послеацетоновых фракций в пределах $t°_{кип.}$ от 70 до 120°. Имелись также предложения изготовлять М. каталитич. дегидрогенизацией метилэтилкарбинола (вторичного бутилового спирта) путем пропускания его паров над восстановленной медью при $t°$ ок. 300° [3]. В 1921 г. Муре и Миньонак [4] показали, что для получения М. по этому методу м. б. использован нормальный бутиловый спирт (являю-

© ГПНТБ РАН

щийся побочным продуктом фабрикации ацетона путем брожения), к-рый при действии крепкой серной к-ты изомеризуется во вторичный бутиловый спирт, а последний легко дегидрогенизуется по методу Сабатье и Сандерена (катализатор—медная пыль). Весь ряд превращений отвечает следующей схеме:

$$\text{I. } CH_3\cdot CH_2\cdot CH_2\cdot CH_2\cdot OH \xrightarrow{-H_2O} CH_3\cdot CH_2\cdot CH:CH_2 \xrightarrow{+H_2SO_4}$$

норм. бутиловый спирт — бутилен

$$\rightarrow CH_3\cdot CH_2\cdot CH(HSO_4)\cdot CH_3 \xrightarrow{-H_2SO_4} CH_3\cdot CH_2\cdot CH(OH)\cdot CH_3;$$

бутилсерная к-та — втор. бутиловый спирт

$$\text{II. } CH_3\cdot CH_2\cdot CH(OH)\cdot CH_3 \rightarrow H_2 + CH_3\cdot CH_2\cdot CO\cdot CH_3.$$

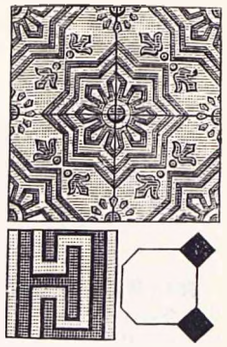
При работе с вполне чистым бутиловым спиртом способ дает удовлетворительные выходы М., но малейшие загрязнения быстро отравляют катализатор. Это затруднение удалось однако почти полностью устранить, разбавляя пары спирта достаточным количеством воздуха.

По химическим свойствам М. очень сходен с *ацетоном* (см.). Для характеристики и идентификации М. служат его фенилгидразон, имеющий $t°_{кип.}$ 190° (при 100 *мм* Hg), и *n*-нитрофенилгидразон с $t°_{пл.}$ 120°.

Технический М. применяется как растворитель (для замены, где это возможно, ацетона). В составе ацетоновых масел он употребляется для денатурации винного спирта. Химически чистый М. служит для получения трионала (см. *Сульфоны*); наконец во время войны 1914—18 годов М. был использован для получения *боевых отравляющих веществ* (см.) слезоточивого действия [1]. В Германии для этой цели с 1915 г. изготовлялся продукт бромирования М. (свободным бромом в присутствии хлоратов—$NaClO_3$ или $KClO_3$), представлявший собою главн. обр. метил-α-бромэтилкетон $CH_3\cdot CO\cdot CHBr\cdot CH_3$. Во Франции (с 1916 г.) бромирование М. велось в присутствии хлората натрия и серной к-ты: получалась смесь, содержавшая около 80% α-монобром- и до 20% α-монохлорпроизводного, к-рая под названием «гомомартонит» применялась в химич. снарядах и минах.

Лит.: [1]) Kraemer u. Grodzki, «B», 1876, B. 9, p. 1921; [2]) Schramm, «B», 1883, B. 16, p. 1581; [3]) King A. T., «Journ. of Chem. Soc. of London», L., 1919, v. 115, p. 1404; [4]) Moureu et Mignonac, «Bull. de la Soc. Chimique de France», P., 1921, série 4, t. 29, p. 88; [5]) Norris, «I. Eng. Chem.», 1919, v. 11, p. 817. **В. Янковский.**

МЕТЛАХСКИЕ ПЛИТКИ, керамические изделия различной формы (прямоугольной, квадратной, шестигранной или восьмигранной), изготовленные сухим прессованием (содержат 5—7% влажности) глиняного порошка. Черен М. п. вполне склинкерован и имеет раковистый излом, лицевая сторона плиток делается одноцветной или узорчатой, гладкой, шагреневой или с вдавленными рисунками (фиг. 1.). М. п. применяются для настилки полов. Свое название М. п. получили по месту завода Вильруа и Бох в Метлахе, где впервые их начали выделывать. Метлахские плитки изготовляют различных размеров: квадратные—145×145×14 *мм* и 170×170×18 *мм*; восьмигран. неравносторонние—145×145×50×14; восьмигранные равносторонние—170×170×70×18: вкладыши к восьмигранным плиткам—50×50×10; 70×70×15; косяк вкладыша—50×50×10; 70×70×15 *мм* и т. д. Отклонения размеров по длине и ширине не д. б. более 2 *мм*. М. п. должны обладать большей твердостью, чем большинство естественных каменных пород (гранит, гнейс, кварц, базальт и др.) и не ниже 7 (тв. кварца) по шкале Моса. Водопоглощение не должно быть более 0,1% от веса сухой плитки, а для красных плиток не более 1,75%. Щелочи и кислоты на М. п. не должны влиять. При нахождении М. п. в течение 10 дней в 10%-ном растворе едкого натра, соляной, азотистой или серной кислот череп не должен обнаруживать никаких видимых изменений; только красные плитки, которые содержат железо, могут обнаруживать минимальное растворение. Потери на истирание для плиток всех цветов в аппарате Беме не должны превышать 0,10 *г* с 1 *см*² поверхности, а для плиток красного и желтого цветов—0,20 *г*.



Фиг. 1.

Сырые материалы. Для изготовления М. п. применяются высокосортные огнеупорные пластичные глины однородного состава. Добавками к глинам служат кварц, полевой шпат, магнезит, хромистый железняк, пиролюзит, красный железняк, окиси цинка и кобальта, свинцовые белила и пр. Существуют каолины, из которых можно изготовлять белые плитки без всяких добавок (Австрия и Венгрия). Наилучшими глинами (табл. 1) для указанного производства являются часов-ярские, пласт № 5, 6 и «РВ», николаевская, дружковская и никифоровская. Эти глины после обжига дают слабую или сильную окраску. Кварц вводится в массу в виде мелкого кварцевого песка или с полевым шпатом, содержащим кварц. Кварц отощает массу при сырце, а при обжиге повышает $t°_{пл.}$ и уменьшает усадку. Лучшим кварцевым песком является березовский (станция Березовские минеральные воды близ Харькова) и часов-ярский. Некоторые з-ды в целях облегчения помола кварцевый песок длительно обжигают (ок. 900°). Полевой шпат ($t°_{пл.}$ SK № 7—12) в зависимости от чистоты применяют финляндский, мурманский, уральский, волынский и мариупольский. Магнезит, $MgCO_3$, применяется в качестве добавки в количестве 1—3% для понижения темп-ры спекания массы; от добавки его излом черепа приобретает стекловидность и плитки не коробятся. Хромистый железняк применяется обычно с содержанием окиси хрома до 42—44%. Он идет для приготовления серых и зеленых плиток и красок для них. Пиролюзит применяется для изготовления серых и черных плиток и красок для них. Окись кобальта служит для приготовления голубых, синих и зеленых красок и масс. Окись цинка применяют в качестве добавки для повышения интенсивности окраски окисью кобальта при синих и зеленых плитках и красках. Красный железняк, смешанный с небольшим количеством окиси кобальта, дает красивый фиолетовый цвет; под влиянием же извести он теряет свою окрашивающую способность. Свинцовые белила применяются как плавень. В табл. 1 приводятся данные химич. анализа важнейших сырых материалов для изготовления М. п.

Табл. 1.—Состав важнейших сырых материалов, идущих для изготовления М. п.

Название сырья	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Щелочей	Потеря при прокал.	$t_{пл.}$, SK	Примечание
Часов-ярская глина «РВ»*1	52,96—56,04	30,54—32,61	1,2 —1,63	0,73—1,45	0,59—2,53	0,22—0,33	—	8,13—10,72	31—32	После обжига дает почти белую плитку
Часов-ярская глина №5*1	52,43—62,35	31,45—34,16	1,67—1,80	0,73—1,10	1,44—1,54	0,04—0,71	—	9,68—10,00	31—32	То же
» » » №6*1	51,6 —56,32	30,96—33,39	1,02—1,59	0,59—1,09	0,58—1,29	0,21—0,59	—	8,47—10,64	31—32	То же
Николаевская глина (имеет железистые включения)*2	61,18—60,6	26,46—27,22	2,24—2,10	—	1,50—1,40	0,27—0,48	0,25	8,35—8,55	26—27	После обжига дает желтую плитку
Дружковская глина *3	63,07—68,54	26,21—22,45	0,83—0,87	—	1,22—1,20	Сл. — 0,80	1,31	7,36—6,60	27	После обжига дает белую плитку
Никифоровская серая*3	60,89	23,41	5,80	—	1,12	0,9	—	8,03	—	После обжига дает желтую плитку
Никифоровская глина*3	53,47	26,17	10,34	—	0,72	0,61	0,26	8,43	27	После обжига дает красную плитку
Полевой шпат Мариупольский*4	66,34—65,60	18,68—19,16	0,43—0,44	—	1,32—0,55	0,69—0,75	1,3	0,14—0,32		
Песок часов-ярский	98,5 —99,61	0,3—0,5	0,1—0,2	—	0,2 —0,3	Сл.	Воды гигр. 1,2	0,10		

*1 Часов-ярские карьеры Донецкой ж. д. *2 Добывается на карьерах, расположенных вблизи села Рай-Александровский, ок. 22 км от ст. Славянск. Южн. ж. д. Естественный цвет глины темносерый (т. н. николаевская № 1, к-рая после обжига приобретает желтый цвет) и желтый (т. н. николаевская № 3, к-рая после обжига приобретает красный цвет). *3 Карьер расположен в 4 км от ст. Дружковка Южн. ж. д. *4 Окрестности села Никифоровки, в 6 км от ст. Соль (Донбасс).

Глины, идущие для изготовления М. п., большей частью обладают свойством спекаться в клинкерный череп при температуре 1 150÷1 250°, не деформируясь при этом и не разрываясь (будучи отформованы в плитки) при обжиге. Если глины деформируются при обжиге и спекаются при слишком высоких температурах, к ним приходится добавлять флюсующие вещества: полевой шпат или пегматит в смеси с тонко измельченным кварцевым песком.

Для удешевления производства лицевую поверхность М. п. часто покрывают тонким слоем более благородной, иногда искусственно подкрашенной, глины. При этом весьма важно, чтобы основная масса плиток и поверхностный слой имели согласованную усадку. Добавляемые в массу кварц и полевой шпат (или известковый) понижают $t°$ спекания массы и уменьшают усадку ее. Каолин, наоборот, повышает $t°$ спекания массы. В некоторых случаях, при очень жирных глинах, приходится прибегать к искусственному отощению их, т. е. дегидратации, при 350—400°. Обожженные бракованные плитки могут снова перемалываться с сырыми материалами.

Подготовка массы производится сухим или мокрым способом. По сухому способу при однородных глинах, когда не требуется вводить добавок, глину подсушивают (в сушильных барабанах при $t°$ не выше 100°, в летнее время—на солнце) до содержания 5—7% воды, после чего размалывают под бегунами с автоматическим отсевом или в шаровых мельницах, или в дезинтеграторах, просевают и посредством элеватора направляют в силос, где она лежит 24—28 часов до приобретения равномерной степени влажности, а оттуда уже в гидравлический пресс. При разнородных материалах их подсушивают до влажности не более 2%, дробят и направляют в силос. Из силоса материал автоматически особым подавателем забрасывается в шаровую мельницу, затем в находящийся под ней силос и при помощи элеватора—в воздушный сепаратор (т. н. селектор). Отсеянный в сепараторе материал направляют под бегуны, далее в силос (на 24 часа), а затем уже он идет на прессование. В одной и той же установке могут размалываться массы родственных цветов. По мокрому способу глины, требующие добавок (флюсующих и красящих веществ), подсушивают, размалывают и элеватором передают в силосы. Кварцевый песок и полевой шпат перед помолом обжигают при $t°$ около 900°. Составные части отвешиваются и смешиваются или выпускаются через дозирующие аппараты в сухой, а затем мокрый смеситель, куда, при цветных сплошных окрасках, добавляется необходимое количество красителя. При узорчатых расцветках цветные массы готовят на небольших бегунах. Смешанная и увлажненная масса часто пропускается несколько раз через гладкие вальцы, а затем через горизонтальный тоннинейдер. Глины, не требующие добавки красящих веществ, разбалтывают с тонко размолотыми полевым шпатом и кварцевым песком (зерна должны проходить через сито в 2 000 отверстий на 1 *см*², а в специальных случаях даже через сито в 4 900 отверстий) и полученную массу мембранным насосом передают на фильтр-прессы. Фильтр-прессные «лепешки» пропускают через глиномес и полученные «валюшки» подсушивают до содержания воды от 5 до 7%, а затем размалывают под бегунами с автоматическим отсевом (отверстия в сите не должны иметь диам. больше 3 *мм*). Порошкообразная масса поступает в дальнейшем в силос (где она лежит в течение 24—28 ч.) в просеянном уже виде (для лицевой стороны плиток через сито в 100 отверстий на 5 *п. см*, а для остальной части плиток—в 30 отверстий на такую же длину).

Государственная научная библиотека Н.Т.У.-В.С.Н.Х.

Заготовка красок производится смешением окислов металлов с глинами в барабанах с водой. Избыток воды после смешения отделяется, краска подсушивается, а затем размалывается под специально предназначенными для этого небольшими бегунами. Для голубой и зеленой красок предварительно готовится фритта. Так например, для получения голубой краски 1 ч. окиси кобальта размалывается в мокром барабане с 7 ч. окиси цинка в течение 30 часов; полученную массу подсушивают, а затем обжигают при SK № 5. Продукт обжига размалывается в мокром барабане в течение 18 часов, а затем подсушивается. Для голубой краски берут 24,6 *кг* часов-ярской глины, 615 *г* полевого шпата, 1,23 *кг* молотого кварцевого песка и 770 *г* кобальтовой фритты. Вся масса смешивается и размалывается под небольшими бегунами. В табл. 2 и 3 показаны примерные составы для изготовления белых и окрашенных плиток.

Табл. 2.—Примерные составы для изготовления М. п. (в %).

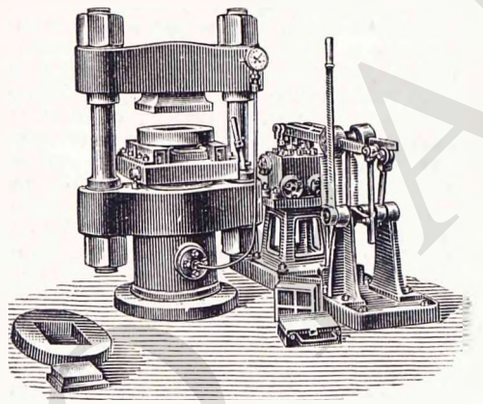
Материалы	Цвета плиток									
	Белые	Серебристо-серые	Серые	Светло-голубые	Темно-голубые	Красные	Коричневые	Желтые	Зеленые	Черные
Глина	50	53	52	52,5	50	—	8	12	29	—
Кварц	20	23	23	26	20	12	—	6	20	—
Полевой шпат	30	24	23	18	28	4	—	2	14	5
Окись кобальта	—	0,05	—	0,5	2	—	—	—	0,4	—
Хромовый железняк	—	—	2	—	—	—	—	—	0,6	—
Окись цинка	—	—	—	3	—	—	—	—	1	—
Жирная глина	—	—	—	—	—	12	17	18	8	10
Тощая глина	—	—	—	—	—	44	60	62	27	36
Красная охра	—	—	—	—	—	28	—	—	—	47
Красный железняк	—	—	—	—	—	—	15	—	—	—
Пиролюзит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2

Табл. 3.—Примерные составы для изготовления М. п. (в %).

Материалы	Цвета плиток								
	Белые	Белые	Серые	Голубые	Красные	Коричневые	Желтые	Зеленые светлые	Зеленые темные
Глина часов-ярская № 6 или «РВ»	93	100	92	91,3	—	—	—	40,2	38,90
Глина николаевск. № 1 темносерая (славянская)	—	—	—	—	—	—	100	40,2	38,90
Глина краматорская или николаевская № 3 (желтая славянская)	—	—	—	—	100	96,15	—	—	4,75
Полевой шпат	3,5	—	2,7	2,2	—	—	—	9,27	8,79
Песок кварцевый	3,5	—	2,6	4,6	—	—	—	8,22	6,32
Хромистый железняк	—	—	2,5	—	—	—	—	—	—
Пиролюзит	—	—	—	—	—	3,85	—	—	—
Фритта кобальтовая	—	—	—	1,9	—	—	—	1,95	2,34

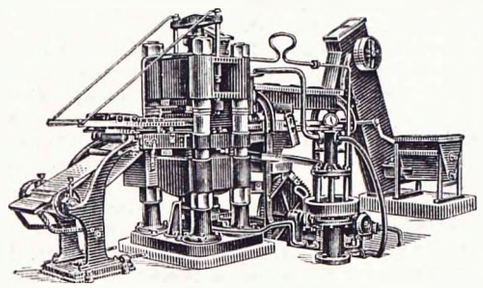
Формование. Подготовленная тем или иным способом масса прессуется в плитки большей частью гидравлическими прессами (фиг. 2) с давлением до 280—300 *atm* и в редких случаях фрикционными прессами. Прессование на фрикционных прессах менее удовлетворительно, так как никогда нет уверенности в том, что достигается достаточное давление и удаление воздуха. Плитки прессуются сначала под низким давлением приблизительно в 50 *atm*, чтобы вытеснить находящийся в массе воздух, а затем под высоким давлением (250—300 *atm*), которое достигается в течение 2—3 ск. Средняя производительность старых гидравлических прессов—1 600—1 800 шт. нормального размера плиток за 8 ч. В настоящее время имеются прессы-автоматы (фиг. 3) с производительностью до 5 000 шт. плиток в смену при двух рабочих; так наз. интегральные прессы дают до 22 000 шт. облицовочных плиток в смену при одном рабочем. В форму насыпают тонкий слой глины (для лицевой стороны плиток часто окрашенный), а затем основной слой, после чего масса подвергается прессованию. Края плитки, освобожденной из формы, очищаются и сглаживаются ножом или брусом с наклеенной на нем наждачной бумагой. Бракованные сырцовые плитки используют (из них вырезают углы). Для производства цветных узорчатых плиток в несколько цветов в форму гидравлич. пресса вкладывают сквозные шаблоны, состоящие из тонких латунных или цинковых полосок, отдельные промежутки которых точно отвечают рисунку.

Сушка и обжиг. Сформованные плитки кладут на раму (при туннельных сушилках и туннельном обжиге—непосредственно в капсели) и элеватором подают на сушилку, где их подсушивают при $t°$ ок. 40° в течение 4—5 дней, а затем с влажностью не более 3% направляют на обжиг. Сушилка обыкновенно устраивается над печью. Обжиг плиток производится в четырехугольных капселях; при этом в каждый капсель помещается вертикально 11—12 шт. плиток нормальной величины; дно капселя посыпают кварцевым песком. Лицевые стороны плиток разъединяют (оставляют промежутки 8—10 *мм*) перекладыванием необожженными клинышками—«гвоздями», чтобы циркуляция газов у лица была равномерной и цвет плитки проявлялся равномерно по всему лицу. Сверху плиток оставляют свободное



Фиг. 2.

пространство высотой до 25 *мм*, чтобы пары воды могли легко уходить. Применяют также капсели без дна (с загнутыми краями) или с перфорированным дном, к-рые устанавливают в сушилке один на другой. Для обжига плиток применяют печи различных систем: 1) периодические с обратным пламенем; эти печи являются наиболее дорогими в эксплоатации; 2) непрерывнодействующие камерные печи, дающие



Фиг. 3.

расход угля на 30% ниже, чем у печей периодич. действия; 3) камерные газовые печи, с расходом угля почти на 40% меньше, чем у периодических; 4) кольцевые газовые печи, в к-рых расход угля почти на 60% меньше, чем у периодических; 5) туннельные газовые печи, в к-рых экономия угля по сравнению с периодич. печами достигает 70%. При постройке новых заводов следует применять туннельные и кольцевые газовые печи (Мендгейма и др.). Обжиг плиток ведется при SK № 4—5, а в некоторых случаях $t°$ доходит до SK № 10. При обжиге в печах Мендгейма в камеру загружают около 10 000 шт. плиток. Загрузка камеры производится в течение одного дня. Подогрев следует вести очень осторожно. Охлаждение обожженного товара должно производиться очень медленно, т. к. при быстром охлаждении плитки растрескиваются и делаются хрупкими. Время от нагрузки до разгрузки колеблется от 15 до 18 дней. Обжиг М. п. производится в окислительном пламени, чтобы не пострадали краски. По данным одного из наших заводов расход горючего для мендгеймовских печей на каждые 1 000 *кг* загрузки (без капселей) составляет около 500—550 *кг* каменного угля. После выгрузки плиток из печи их вынимают из капселей и подвергают тщательной сортировке в смысле правильности формы, оттенков одного и того же цвета, цельности (отсутствия трещин) и т. п.

Брак плиток. После обжига получается М. п. 1-го сорта от 50 до 70%, 2-го—от 30 до 40%, 3-го—от 10 до 15%, брака—от 2 до 5%. Лучший выход получается при обжиге в туннельной печи. Кроме кривизны (для контроля на правильность размеров плиток имеется аппарат G. Dahl) и нарушения целости углов и сторон плиток, полученных частью механическим путем, бывают еще специфические виды брака: сеть мелких трещин, аналогичных цеку *глазури* (см.) или англоба, черные точки на плитке — выкипи легкоплавких железных силикатов, грязные, не вполне выявленные тона цветных плиток, пузыри на плитках. Плитки, бракованные при прессовании, снова размалываются на бегунах и опять пускаются в прессовку. Брак же, полученный при обжиге, может быть использован только в качестве шамота для капселей и огнеупорных изделий второго сорта или специальных плиток. Плитки с большим содержанием окиси железа или окиси марганца вследствие своей легкоплавкости для переработки на шамот для огнеупорных изделий непригодны.

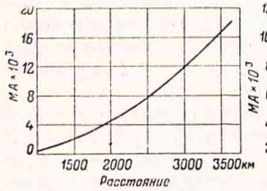
Лит.: 1) «Sprechsaal», Coburg, 1919, p. 181—190; 2) Г. П. 337116, «Berichte d. Deutsch. Keram. Gesellschaft», B., 1927, B. 8, p. 297.—Будников П. П., Керамическая технология, Харьков, 1927; его же, «Керамика и стекло», М., 1927, 2, стр. 48; Budnikoff P. P. u. Endowitzky W. J., Die Anfertigung der Bodenplatten, «Tonindustrie-Ztg», Berlin, 1927, *88*, p. 1597; Budnikoff P. P. u. Endowitzky W. J., Production of Floor Tile, «The Ceramic Age», New Jersey, 1928, v. 11, 3, p. 93; Smith K. M., High Efficiency Developed in Tile Production, ibid., 1929, *1*, p. 8; Dahl G., «Berichte d. Deutsch. Keram. Gesellschaft», B., 1927, B. 8, H. 6, p. 297; Mucker O., «Tonindustrie-Ztg», 1928, *28*, p. 546. **П. Будников.**

МЕТРАМПЕР, единица момента тока антенны, или—момента излучения, обозначается часто через МА. Моментом (M) тока антенны радиопередающей станции называется произведение силы тока i_∂. антенны в А, взятой в пучности последней, на действующую высоту h_∂. ее же в *м* (см. *Антенна*). Число М. лучше характеризует излучение радиостанции, чем мощность P_A в антенне, т. к. именно момент тока входит основным множителем во все ф-лы радиопередачи (см. *Беспроволочная связь*, *Волны электромагнитные*), учитывающие законы распространения электромагнитных волн.

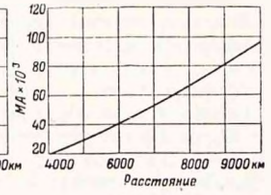
$$M = i_\partial \cdot h_\partial = h_\partial \sqrt{\frac{P_A}{R_A}},$$

где R_A—полное сопротивление антенны, выраженное в Ω, P_A в W. По ф-ле идеальной радиопередачи момент тока в 1 МА создает на расстоянии $d = 2$ *км* при длине волны $\lambda = 500$ *м*. *напряженность* (см.) поля $E = 377$ $(= 120\pi)$ $\frac{\mu V}{м}$. По этой ф-ле $M = \frac{10^{-6}}{337} E \cdot \lambda \cdot d$, ($\lambda$ и d в *м*, E в $\frac{\mu V}{м}$). Международн. конвенция

1929 г. постановила дальность действия судовых радиостанций d определять моментом их излучения, именно: при M=60 МА, d=100 морским милям (160 *км*), при M=45 МА, d=80 морским милям (128 *км*); при M=25 МА, d=60 морским милям (96 *км*). На фиг. 1 и 2



Фиг. 1.



Фиг. 2.

представлены кривые, полученные из практич. наблюдений, выражающие величину момента тока антенны в МА, требующегося для перекрытия радиотелеграфом заданного расстояния в *км*; при этом в месте приема значения напряженности электрич. поля волны получаются в пределах от 30 до 55 $\frac{\mu V}{м}$ (прием днем), и предположено, что длина волны радиопередатчика выбрана, по правилу из америк. практики, равной $^1/_{500}$ расстояния.

Лит.: Banneitz F., Taschenbuch d. drahtlosen Telegraphie u. Telephonie, Berlin, 1927; Hirsch R., «Jahrbuch d. drahtlosen Telegraphie u. Telephonie», B., 1922, B. 19, p. 407.

МЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МЕР, система, в основании к-рой положен метр (обозначения *m*, *м*) и производные от него единицы других измерений: грамм (*g*, *г*) и литр (*l*, *л*). Система разработана в 1791—1799 гг. франц. учеными и инженерами на основе следующих принципов: 1) система мер д. б. основана «на неизменном прототипе, взятом из природы, с тем чтобы ее могли принять все нации», и 2) д. б. построена по десятичной системе. За единицу длины был выбран метр, «равный десятимиллионной части дуги земного меридиана, заключающейся между северным полюсом и экватором». После производства надлежащего измерения этой дуги меридиана были изготовлены эталоны метра «окончательного и истинного» и узаконены 10 декабря 1799 г. (19 фримера VIII г.). Несколько позднее был изготовлен эталон килограмма. Прототипы метра и килограмма, изготовленные из платины, были отданы на хранение в архив Французской республики, а копии этих эталонов, по возможности совершенные, были помещены в Bureau des Longitudes. Уже вскоре после введения М. с. м. во Франции стало ясно, что это не есть система абсолютная и неизменяемая, так как основа системы—метр—не м. б. со всей точностью всегда вполне возобновлена новым измерением дуги меридиана. Позднейшие измерения показали, что «архивный метр» на 0,08 *мм* короче $^1/_{10\,000\,000}$ части земного меридиана. Так как М. с. м. к тому времени получила обширное распространение, то было решено по международному соглашению, во избежание неясности и произвола, совершенно отбросить мысль об идеальном *м* и *кг* и принять за метр—расстояние при 0° между двумя штрихами платинового стержня, который хранится в архиве в Париже (mètre des Archives), а за килограмм—массу платиновой гири, хранящейся там же (kilogramme prototype des Archives). На основе последующих международных соглашений (1870, 1872 и 1875 гг.) в Париже, было создано, поддерживаемое на общие средства научное учреждение «Международное бюро мер и весов» с местопребыванием в Севре близ Парижа. Бюро изготовило ряд новых эталонов метра и произвело тщательное их сравнение с первоначальным эталоном. В 1888 г. один из этих эталонов, как наиболее точно приближающийся к старому, был принят за международный прототип метра. Все новые эталоны метра представляют собой платиново-иридиевые стержни (90% Pt; 10% Ir) с поперечным сечением в виде буквы X. На обоих концах средней полосы стержня, на отполированных местах, нанесены черточки, расстояние между которыми и принимается за метр. Аналогично был выбран и новый международный прототип килограмма. Вследствие этого международный метр определяется теперь как единица длины, первичный эталон которой хранится в указанном выше Бюро в Севре (в здании, которое объявлено международно независимым, или вне франц. территории). Его длина на 0,02% короче вычисленной теоретически. Копии международного метра в количестве 31 были в 1891 г. распределены по жребию между различными государствами, принимавшими участие в создании Международного бюро. По жеребьевке Россия получила два эталона: № 11 (хранится в Академии наук) и № 28 (хранится в Главной палате мер и весов).

За единицу массы (вторая основная единица М. с. м.) была принята масса 1 $см^3$ дистиллированной воды при 0° (позднее при 4°), которая была названа граммом. Кратная ей величина — один килограмм (1 000 *г*), изготовленный Международным бюро в виде цилиндра со слегка закругленными краями из того же сплава, что и образцовые метры, принят как эталон массы—международный килограмм. Изготовленные затем образцовые *кг* были распределены по жребию между странами Россия получила два эталона: № 12 (хранится в Главной палате мер и весов) и № 26 (хранится в Академии наук). Позднейшие исследования обнаружили, что основной эталон массы отличается от того, который соответствовал его первоначальному теоретич. определению. Поэтому *г* теперь определяется как «одна тысячная доля международного килограмма».

За единицу вместимости (третья основная единица М. с. м.), служащую для измерения жидких и сыпучих тел и названную литром, первоначально приняли объем 1 $дм^3$ воды при 4°. По международному соглашению международный литр определяется как объем одного международного *кг* воды при $t°$ ее наибольшей плотности и при нормальном атмосферном давлении. Международный литр равен 1,00016 $дм^3$.

Основным достоинством М. с. м. является десятичность ее построения. Названия производных единиц составляются по следующему принципу: к основной единице—*м*, *г*, *л*—прибавляются приставки, взятые из греческого языка для кратных мер и из латинского—для подразделений (см. также *Спр. ТЭ*, т. I, стр. 9, 10).

	Приставки	Отношение к основной единице	Междунар. усл. обозначения
Греческие	mega (мега)	10^6	M
	myria (мирна)	10^4	ma
	kilo (кило)	10^3	k
	hecto (гекто)	10^2	h
	deca (дека)	10	dk
Латинские	deci (деци)	10^{-1}	d
	centi (санти)	10^{-2}	c
	milli (милли)	10^{-3}	m
	micro (микро)	10^{-6}	μ

Эти приставки не все одинаково употребительны (говорят чаще 100 *г* вместо гектограмм, не употребительны декаметр и гектометр). Лишь немногие исключения для единиц, позднее введенных в систему, нарушают последовательное применение ее. Сюда относятся:

Наименование единиц	Величина	Условн. обознач.
Центнер (квинтал)	10^2 *кг*	q
Ар	10^2 $м^2$	a
Микрон	10^{-3} *мм*	μ
Стер *	1 $м^3$	st
Тонна	10^3 *кг*	t
Ангстрем	10^{-10} *м*	Å
Икс	10^{-10} *мм*	X

* Для измерения дров; употребляется в немногих странах.

М. с. м. в настоящее время введена законом или имеет частичное распространение по всему земному шару. Причины ее распространения и всеобщего признания лежат в следующем: 1) десятичное построение делает М. с. м. крайне удобной при расчетах и 2) М. с. м. незаменима для международного научного общения как единая и общепонятная система мер с возможно точным воспроизведением единиц.

Когда в начале 19 в. возник вопрос об установлении *абсолютной системы мер* (см.) для всех физических измерений, то по предложению Гаусса в основу этих единиц была положена М. с. м. С тех пор при выборе системы измерений прибегают или к системе «сантиметр, грамм, секунда» (*CGS*), или «метр, килограмм, секунда» (*MKS*). или «метр, тонна, секунда» (*MTS*). См. *Техническая система единиц* и *МТС-система*.

Лит.: Хвольсон О. Д., Метрич. система мер и весов, М.—Л., 1928; Исаков Л. Д., На все времена, для всех народов. Очерки по истории метрич. системы мер, П., 1923; Жуков Г. Д. и Фридман Д. П., Справочник по метрич. системе, 2 изд., М., 1925; Bigourdan G., Le système métrique des poids et mesures, son établissement et sa propagation, Paris, 1901; Guillaume Ch. Ed., La création du Bureau International des Poids et Mesures et son œuvre, Paris, 1927.

МЕТРОНОМ, прибор, служащий для отсчета на-слух небольших промежутков времени; применяется преимущественно в музыке. М. изобретен Мельцелем (Mälzel) в 1800 году и представляет собою физич. маятник с грузом M на нижнем конце, который может совершать колебания вокруг оси O, находящейся ближе к нижнему концу маятника. Момент инерции маятника можно изменять при помощи подвижного груза P, который может быть установлен на любом расстоянии от оси O. Чем дальше отстоит груз P от оси вращения, тем больше момент инерции маятника по отношению к оси и тем больше период его колебаний. При каждом прохождении маятника через среднее положение (или при каждом наибольшем его отклонении) раздается звонок или резкий удар, издаваемый специальным приспособлением, о которое задевает нижний конец маятника. В зависимости от положения груза P на маятнике метронома могут быть отсчитываемы промежутки времени от 6 ск. до 0,1 ск.

П. Беликов.

МЕТРОПОЛИТЕН, городская ж. д. большой скорости, проводимая вне поверхности улиц—либо на *эстакадах* (см.) либо в *тунелях* (см.). В настоящее время М. проложены в Лондоне, Париже, Берлине, Гамбурге, Ливерпуле, Глазго, Вене, Будапеште, Мадриде, Барселоне, Нью Йорке, Чикаго, Бостоне, Филадельфии, Буенос-Айресе, Сиднее, Мельбурне, Токио, Калькутте и других городах, и метрополитенное строительство продолжает широко развиваться.

При сооружении М. часто возникает вопрос о соединении его линий с железнодорожными, однако в большинстве случаев отдают предпочтение метрополитену городского типа с уменьшенным габаритом, малыми радиусами, крутыми уклонами и короткими станционными площадками для небольших сравнительно составов, отправляемых с большой частотой друг за другом. Решение в пользу М. городского типа объясняется его большей экономичностью и вытекает из характера городских улиц, подземных городских устройств, особенностей электрич. тяги, направления и характера людских потоков и различия технических условий сооружения и эксплоатации М. и железных дорог. М. является внеуличной ж. д., но в плане метрополитенные линии все же обычно следуют за очертаниями улиц и проходят либо над улицами либо под улицами, не подходя близко к домам. Заход надземного М. за линию домов или даже близкий подход к этой линии неминуемо сопряжен со сносом задеваемых М. зданий, что в больших городах обходится всегда дорого, а часто и совершенно не может быть допущено, если эти здания представляют собой крупный общественный, художественный или исторический интерес. При проведении подземного М. предоставляется уже нек-рая свобода для уклонения от очертаний улиц, так как техника дает возможность прокладывать туннели и под зданиями; однако такое решение вызывает большие дополнительные расходы. При узости и запутанности городских улиц, пересекающихся взаимно под прямыми и даже острыми углами, трасирование линий М. при соблюдении условий не заходить за линию домов представляет очень трудную задачу. Практика метрополитенного строительства установила, что только при кривых радиуса не более 60—75 *м*, а также при ширине двупутного туннеля (или эстакады при надземном типе) не более 7—8 *м* можно в современном городе сравнительно спокойно трасировать линию, почти не трогая домов. Но для пропуска пор-

мальных ж.-д. составов указанные кривые с радиусами 60—75 *м* были бы недостаточны, а ширина двухпутного туннеля (или эстакады) должна была бы быть доведена до 9 *м* и не менее 20 *м* на станциях. Некоторое значение имеет трасировка и в профиле. Для пропуска ж.-д. поездов с электровозами или моторными вагонами, запроектированными для равнинных загородных участков, не всегда подходят те большие уклоны (порядка 0,040—0,050), какие допускаются на городских М. и которые облегчают проектирование их в профиле, в особенности при холмистом характере города. При слабых же уклонах линия неизбежно будет отходить от рельефа местности, т. е. или сильно углубляться в землю при подземном М. или чрезмерно подниматься кверху при надземном, что прежде всего невыгодно отразится на расположении станций. Кроме того при слабых уклонах трудно избежать многочисленных встреч с водосточными, канализационными и прочими коллекторами, которые М. городского типа с сильными уклонами б. ч. обходят, перекладка же этих коллекторов вызывает большие дополнительные расходы, нарушает на некоторое время уличное движение, а порою бывает и технически затруднительна. Вследствие всех этих особенностей проложения внеуличных ж. д. в городах применение к ним тяжелых технических условий, обычных для ж. д. нормального типа, удорожает стоимость постройки по сравнению с городским типом М. и создает финансовые затруднения для проведения таких линий. Только при облегченных технич. условиях и типах стоимость М. может быть приведена к нормам, при к-рых сооружение становится коммерчески выгодным.

Предпочтение, даваемое городскому типу М. перед железнодорожным, объясняется не только большой стоимостью сооружения М. железнодорожного типа. В самой эксплоатации М. и железных дорог уже находятся известные противоречия. Прежде всего М.— дорога, проводимая по городу для городского населения. Для правильного обслуживания непрерывных людских потоков, подаваемых городом, поезда на М. должны следовать друг за другом с возможно меньшими перерывами, доходящими до 1 минуты и менее. При такой большой частоте отправления поезда метрополитена могут быть сравнительно небольшого состава. Эти обстоятельства предопределяют на М. и особые станционные устройства, отличные от железнодорожных. На М. не допускается пересечений путей на одном уровне и, вообще говоря, не допускается стрелок, чтобы опасность столкновения поездов была исключена, так сказать, физически. Поэтому при слиянии ж.-д. линии с метрополитенной на общей узловой станции д. б. приняты при постройке особые меры предосторожности, как недопущение пересечений путей на одном уровне и т. д., что значительно удорожает сооружение такой станции. Короткие составы поездов на М. обусловливают и короткие пассажирские платформы на станциях, а потому и самые станции на М. делают сравнительно короткие—от 60 до 100 *м*, тогда как для ж.-д. пригородных поездов в соответствии с их составами длина пассажирских платформ, а следовательно и станций должна быть ~ 200 *м*, т. е. в 2—3 раза больше. Так как станции М. располагаются или в туннелях или на эстакадах и обходятся, вообще говоря, дорого, то подобное удлинение станций для пропуска ж.-д. поездов повысило бы строительную стоимость сооружения М. Кроме того удлиненные платформы представляют неудобства и для пассажиров, высаживающихся из поездов М., замедляя их выход на улицу.

М. как городская ж. д. должен иметь в городе сравнительно частые остановки, примерно как показала практика, через каждые 300—500 *м* в центре и 1 000 *м* на окраинах, благодаря чему коммерческая скорость поездов М. не превышает 20—30 *км/ч* при максимальной технич. скорости от 50 до 60 *км/ч*. Пригородные же ж. д. имеют значительные перегоны, во всяком случае порядка километров, а не гектометров, и ж.-д. поезда при таких перегонах могут развивать скорости, значительно превышающие метрополитенные. Поэтому для вагонов М. применяются более тихоходные моторы, тогда как для пригородных жел. дорог моторы требуются быстроходные. Пропуск по метрополитенным линиям ж.-д. поездов с быстроходными моторами вызывает лишь повышение расхода электрич. энергии, не компенсируя его заметным увеличением коммерческой скорости. Вообще электрическое оборудование пригородных ж. д. разнится от метрополитенного. В то время как на электрических ж. д. применяются различные виды тока сравнительно высокого напряжения, а рабочий провод располагается над путями (воздушный провод), на М. везде, за весьма немногими исключениями, применяют постоянный ток при напряжении 600—800 V, а в качестве рабочего провода служит третий рельс.

Помимо электрич. оборудования вагоны М. существенно разнятся от железнодорожных и в других отношениях, так что пропуск ж.-д. поездов по линиям М. или наоборот—выпуск метрополитенных вагонов на ж.-д. пути создал бы для пассажиров ряд неудобств. На ж. д., даже и при пригородном движении, вагоны рассчитываются на длительное пребывание пассажиров, а потому пассажиру там д. б. предоставлен известный комфорт, во всяком случае место для сидения; в связи с этим полезная площадь ж.-д. вагона используется главн. обр. для наибольшего размещения сидений для пассажиров. В вагоне М., наоборот, пассажир проводит всего несколько минут. Комфорт для него при таком кратковременном пребывании отступает на второй план—можно и постоять в часы наплыва публики. Самое важное—это всегда иметь возможность войти в вагон. Поэтому в вагонах М. предоставляется больше мест для стояния, чем для сидения, чем достигается и более свободный проход к дверям, необходимый для быстрого опорожнения вагона. Далее, ж.-д. вагоны в местностях с холодными зимами должны обязательно отапливаться, быть хорошо утеплены, снабжены двойными рамами, не иметь дверей, открывающихся прямо наружу. Рамы таких вагонов должны в то же время открываться для доступа свежего воздуха в летнее время. На М. же эти меры излишни, тем более, что темп-ра в туннелях понижается сравнительно слабо, даже и при суровых зимах. В ж.-д. вагонах, хотя бы и пригородного сообщения, обязательно имеются уборные; в вагонах М. их не делают, и они там не только излишни, но и недопустимы, т. к. сильно загрязняли бы туннели. Очень большое значение имеет для М. система дверей. Проходы через тамбуры, устраиваемые при суровых климатических условиях в жел.-дор. вагонах, для М. решительно не подходят. Для быстроты опорожнения и наполнения публикой вагон М. обязательно должен быть снабжен широкими дверями в боковых стенках, дающими выход прямо на станционную платформу, без всяких ступеней.

Наконец смешение пригородного ж.-д. движения с городским метрополитенным вызвало бы и некоторое замешательство в эксплоатации. Обыкновенно наибольшее движение поездов на М. совпадает по времени с наибольшей интенсивностью движения пригородных поездов. Графики движения М. в такие часы бывают совершенно заполнены. Поэтому выпуск в это время жел.-дор. поездов на пути М. вперемежку с метрополитенными поездами, следующими с хронометрической точностью, осложнило бы правильное выполнение графика. Совместный пробег по одним и тем же путям пригородных и метрополитенных поездов вызывает большое скопление публики на станционных платформах. В расчете на такие скопления пассажиров станционные платформы смешанных железнодорожно-метрополитенных станций должен быть значительно шире, чем на станциях чисто метрополитенного типа, а уширение пассажирских платформ влечет за собой и соответственное уширение туннелей станций (или эстакад, на которых они расположены), т. е. опять-таки повышает стоимость сооружения М. Наконец целый ряд эксплоатационных мелочей: обслуживание поездов, тарифы, контроль билетов и пр., на ж. д. и на М. трудно увязываются друг с другом.

Иногда, ради предоставления пригородным пассажирам удобств беспересадочного сообщения, решаются на следующий паллиатив: если на линии М. не сделано ввода ж.-д. пригородных поездов, как вызывающего большие расходы при сооружении М., то устраивают пропуск метрополитенных поездов с уменьшенным габаритом по ж.-д. путям. Такого рода решение применено на некоторых лондонских линиях. В известных случаях, когда такой выход поездов М. на жел.-дор. линию совершается уже на самой окраине города и когда дальнейший поток пассажиров направляется почти исключительно в загородные местности, его можно рекомендовать, так как он не требует больших затрат; все же целый ряд указанных выше неудобств совместной эксплоатации остается и при таком способе. Однако естественное стремление предоставить пригородным ж.-д. пассажирам удобство беспересадочного сообщения до самых центральных частей города, несмотря на затраты, должно быть удовлетворено рано или поздно. Правильным решением для этого является устройство глубоких внеуличных вводов жел.-дор. линий, обслуживающих пригородное движение, в центральные части города. Так задача и решена в настоящем или предвидена для будущего в крупных городах, имеющих М. Выгода этого решения заключается еще и в том, что такие глубокие вводы осуществляют независимо от М. не только конструктивно, но и по времени приурочивая их к моменту, когда они будут диктоваться действительными нуждами пригородного движения и оправдываться экономически. При этом обыкновенно только ставится условие, чтобы при сооружении сети М., необходимость в которой иногда возникает несколько ранее, были предусмотрены все пересечения ее с будущими глубокими вводами железных дорог.

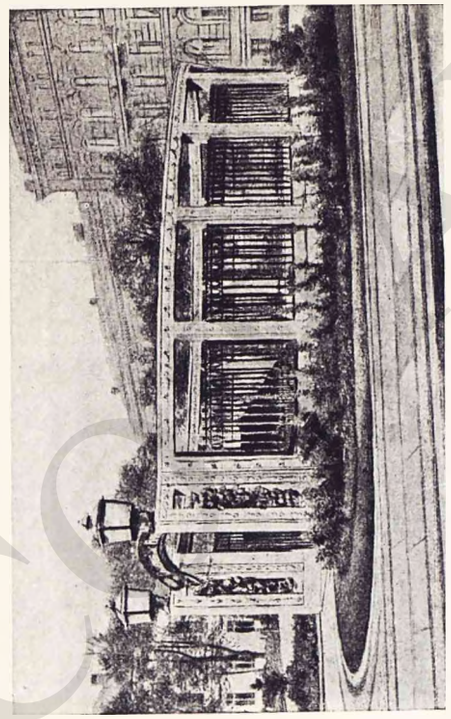
Ради предоставления пассажирам удобств беспересадочного сообщения с ближайшими загородными местностями линии М. иногда выводятся за город. Если при этом линия проходит по густо населенным пригородам, то она сохраняет свой метрополитенный внеуличный характер, большею же частью продолженные за город линии метрополитена переходят там на обыкновенное земляное полотно и только станции устраиваются с высокими платформами, в соответствии с типом вагонов М. В Буенос-Айресе вагоны М. выходят даже прямо на трамвайные пути и следуют далее как простые трамваи. Такая система требует для вагонов кроме обычных метрополитенных дверей еще дополнительных дверей с приступками, необходимыми при остановках на уровне улиц. Для эксплоатации она неудобна и в самом Буенос-Айресе от нее теперь уже отказываются. Вывод линий М. за город в финансовом отношении обычно невыгоден. Главная причина убыточности лондонского метрополитена заключается именно в большом протяжении его загородных линий. В Лондоне линии, проходящие по центральным частям города, в особенности такие, как Сити—Ватерлоо, очень доходны; на загородных же линиях, несмотря на многолетнее их существование, до сих пор не могло образоваться достаточных потоков пассажиров, чтобы вывести эти линии из дефицитов. Иногда при сооружении М. создают в концах его диаметров населенные городки, разрешая таким образом жилищный кризис в городе и в то же время сразу обеспечивая новую линию пассажирами Так именно и поступила в Мадриде Компания мадридского М. при постройке первой своей линии. Компания скупила пустыри на северной оконечности этой линии и создала там город с большим стадионом. Опыт показал также, что в больших сильно развивающихся городах нет оснований опасаться убыточности метрополитенных линий, проводимых по пустырям, если только эти пустыри находятся на расстоянии не более получаса езды до центра и если они предназначены к застройке по городскому типу многоэтажными домами. При нормальных условиях кредита и развития города линии

М., проведенные по таким пустынным кварталам, вызывают усиленную застройку их и делаются скоро рентабельными. Иначе обстоит дело с загородной местностью, где желание сохранить за нею характер дачной жизни препятствует постройке больших многоэтажных домов, т. е. уплотнению населения.

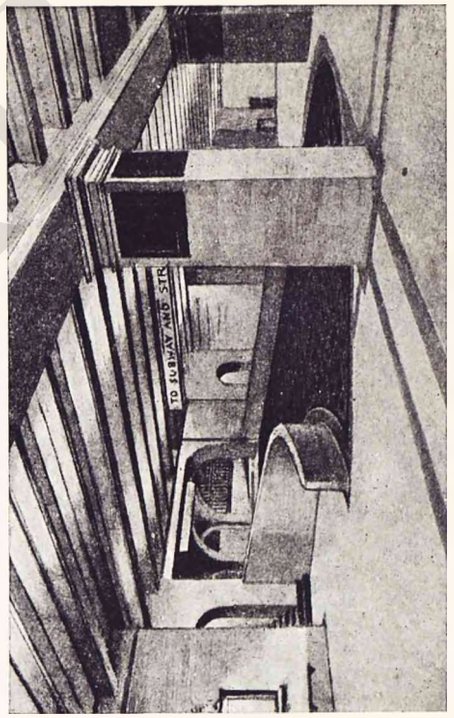
Попытки использовать пути М. для движения товарных поездов, где габарит это позволяет, не увенчались успехом. Чрезвычайная густота движения пассажирских поездов М. ставит этому определенные препятствия, ночной же перерыв в движении, длящийся обыкновенно 3—4 часа, слишком для этого незначителен, принимая во внимание, что в те же часы перерыва совершаются необходимые ремонтные работы на пути. В некоторых городах для обслуживания товарного движения построены особые внеуличные ж. д. Пример такого «товарного М.» дает Чикаго, где сеть подземных товарных ж. д. в настоящее время достигла свыше 120 *км*, проходя от пристаней и жел.-дор. станций по главнейшим артериям города и обслуживая все значительные склады, рынки, магазины и потребителей топлива. Дорога имеет колею в 61 *см* и обслуживается специальным подвижным составом. В местах выгрузки в тунелях имеются особые гаражные пути, откуда кузовы товарных вагончиков подъемниками поднимаются на склады и там разгружаются. В Лондоне широкое распространение получили подземные узкоколейные жел. дороги для почтовых перевозок. Туннели для этих дорог проложены на большой глубине, как «тюбы» лондонского пассажирского М., и сообщаются подъемниками и винтовыми наклонными плоскостями с вокзалами, почтамтом и почтовыми отделениями, которые они обслуживают. Движение почтовых моторных вагончиков от станции до станции совершается автоматически, без вагоновожатого.

М. проводится над землей или под землей. Надземный тип получил особое распространение на заре метрополитенного строительства, преимущественно в Нью Йорке, Берлине и некоторых других городах. Состояние техники того времени (60-е годы 19 в.), а также особенности геологического строения местности в этих городах, неблагоприятные для прокладки туннелей, вполне оправдали проведение М. не под землей, а над улицей. На первых М. применялась только паровая тяга. Естественно поэтому было стремление располагать пути М. на эстакадах, а не в туннелях, где при большой частоте поездов удушливый дым от паровозов оставался бы надолго, проникая на станции и в вагоны. Помимо того прокладка туннелей в таких городах, как Нью Йорк или Берлин, встречала препятствия и в самой природе грунта этих городов (скала в Нью Йорке и водоносный песок в Берлине). Техника устройства туннелей в таких грунтах в то время была еще слабо развита, сооружение же эстакад для надземного метрополитена никаких технич. затруднений не представляло и сводилось к устройству непрерывного ряда железных мостов небольших пролетов, являясь также и более экономичным. Возведению таких металлич. эстакад, требующих большого количества железа, как нельзя более отвечало в то же время и широкое развитие металлургической промышленности как в США, так и в Германии, и сами концерны, строившие там М., были тесно связаны с металлургическими фирмами.

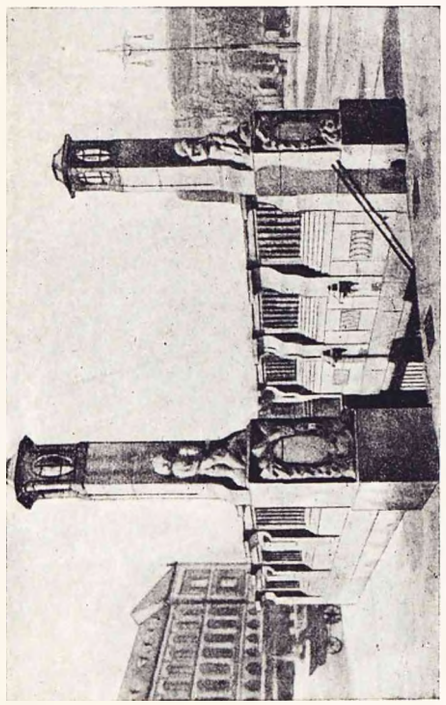
Первые надземные М. строились при очень облегченных технических условиях: 1) пролеты между пилонами эстакад из экономии делались небольшими; 2) радиусы закруглений допускались минимальные (в Нью Йорке доходили до 27 *м*), что очень облегчало трасировку линий при поворотах на поперечные улицы, не вызывая сломки близ находящихся зданий; 3) верхнее путевое строение укладывалось без балласта, а это, помимо экономии на самом верхнем строении, уменьшало нагрузку на фермы эстакад и позволяло делать их более легкими. Благодаря этим условиям первые надземные М. обходились очень дешево, поэтому частные концессионные компании, мало считавшиеся с действительными нуждами и будущим развитием города, охотно давали предпочтение этому типу М. Но с течением времени к эстакадам М. стали предъявлять другие, более повышенные, требования Первоначально установленные пролеты оказались недостаточными при все развивающемся уличном движении, и для новых М. пришлось их значительно увеличивать, а с увеличением пролетов увеличивался и вес ферм эстакад. От безбалластного верхнего строения тоже пришлось отказаться из-за постоянных жалоб жителей на нестерпимый грохот от ежеминутно проходящих по эстакадам поездов, применение же балласта, который несколько заглушал этот грохот, отразилось на общем весе ферм пролетного строения. При таких обстоятельствах стоимость надземных М. увеличилась для больших пролетов (в несколько десятков *м*) почти в три раза и превысила стоимость подземных М. различных типов. Помимо этого кривые малых радиусов при эксплоатации оказались неудовлетворительными (и их теперь избегают), а при более пологих кривых становится трудно трасировать линию, не производя сломки существующих зданий, что в свою очередь сильно удорожает постройку надземного метрополитена. Разница в стоимости надземного и подземного М. вследствие этих обстоятельств стала сглаживаться, поэтому естественно, что когда электрич. тяга, не дающая дыма, нашла себе широкое применение в городах, то даже такие города, как Нью Йорк и Берлин, несмотря на неблагоприятные почвенные условия, стали переходить на устройство М. в туннелях. Из других мировых столиц Лондон и Париж почти не строили М. над землей, главным образом потому, что первые метрополитенные линии проводились там по таким узким улицам, что возведение эстакад на них было бы невозможно. В Лондоне подземные линии строились еще под паровую тягу (одновременно с нью-йоркским М.) и эксплоатация их поэтому представляла большие затруднения. Париж приступил к сооружению М. сравнительно



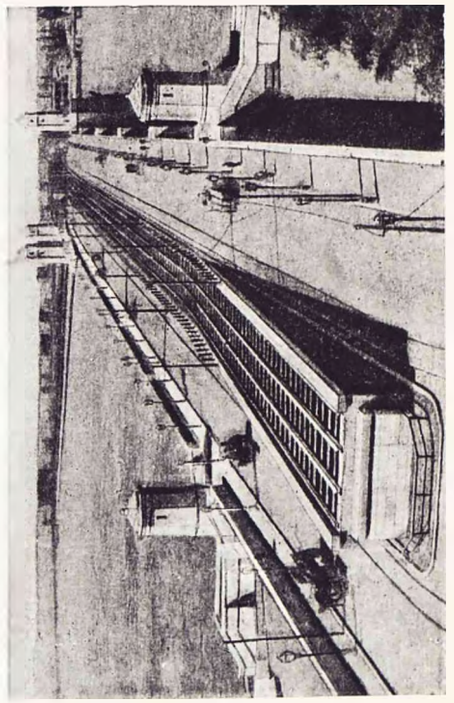
Вход на станцию М. «Кайзергоф» в Берлине.



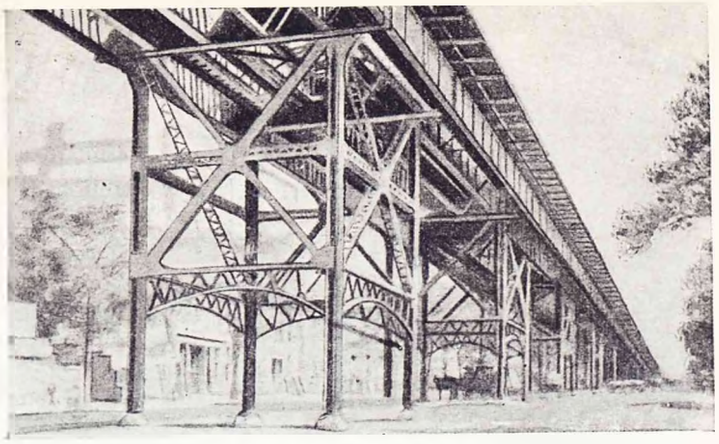
Вестибюль подземной станции М. в Нью Йорке.



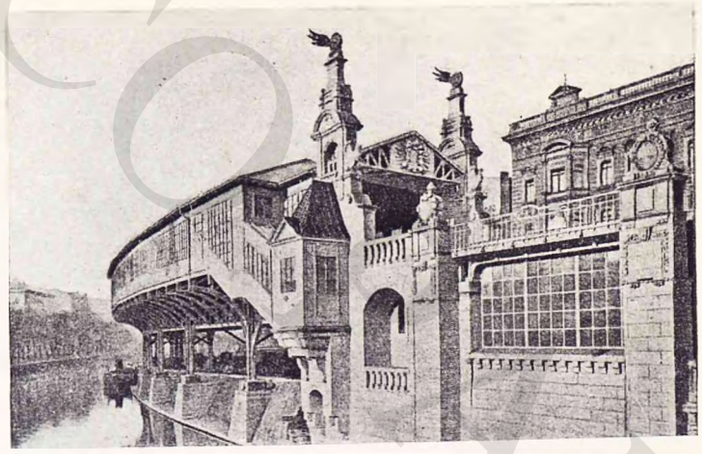
Вход на станцию М. «Главный вокзал» в Гамбурге.



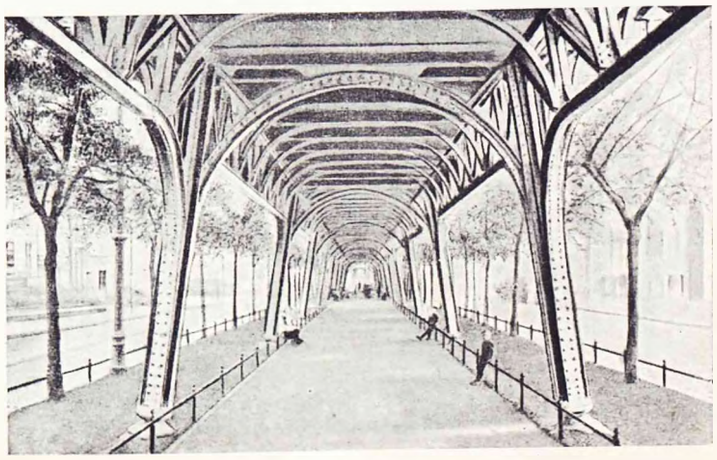
М. на мосту через Чарльс-Ривер в Бостоне.



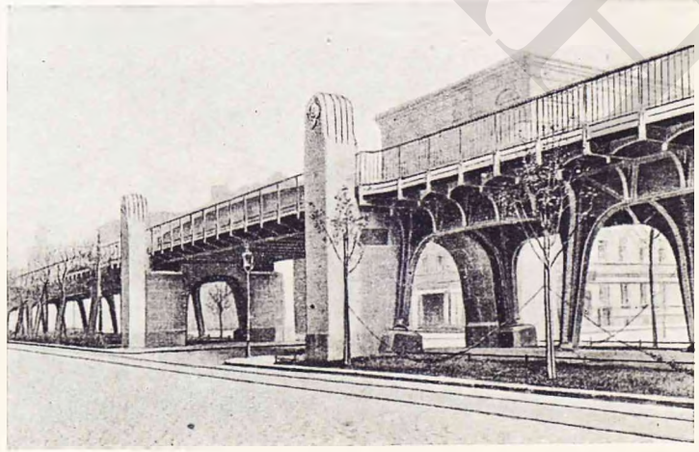
Эстакада М. в Нью Йорке.



Эстакада М. со станцией на Ландверском канале в Берлине.

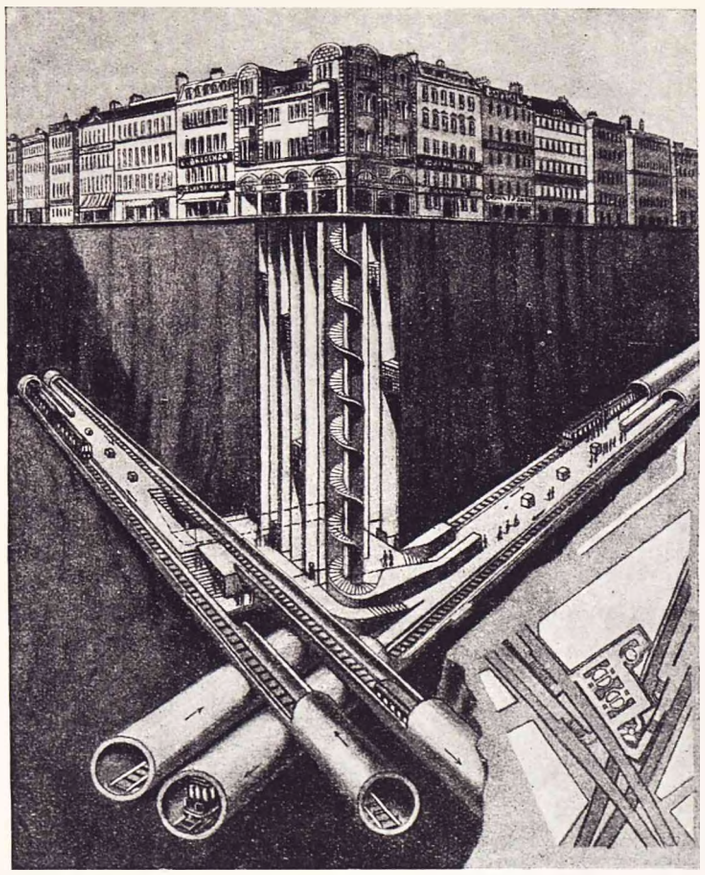


Эстакада М. на Шенгаузерской аллее в Берлине.

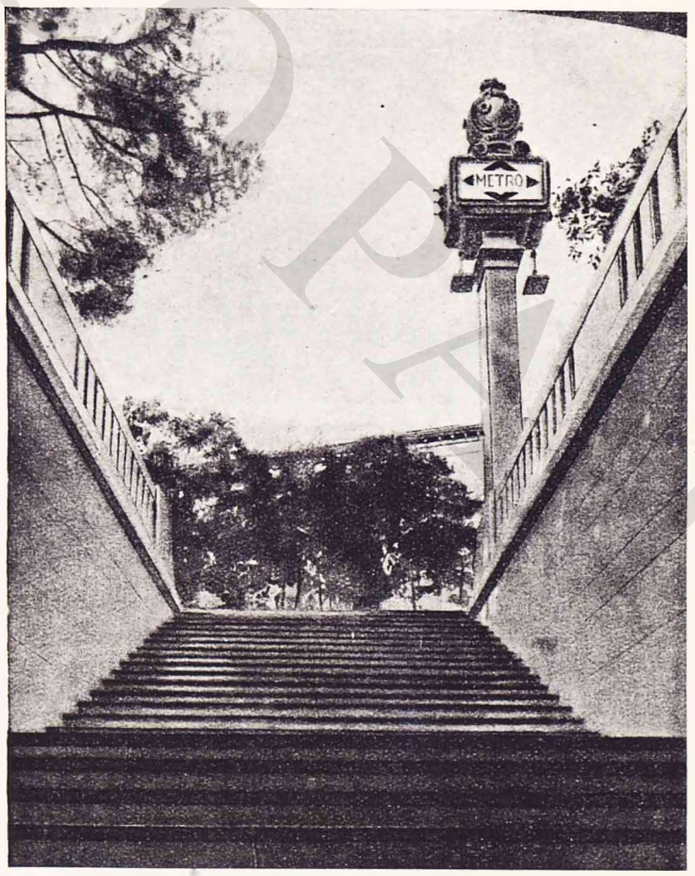


Эстакада М. на Шенгаузерской аллее в Берлине с пропуском встречной поперечной улицы.

© ГПИТЕ



Пересечение двух подземных линий Лондонского М. в тюбах у станции «Пиккадилли-Серкс».



Выход со станции М. «Прогресс» в Мадриде.

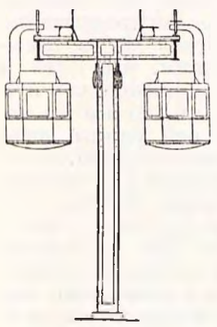
поздно, когда электрич. тяга уже получила известное распространение и не было поэтому препятствий для сооружения М. в туннелях. Кроме того геологич. структура Парижа не представляла тех затруднений для прокладки туннелей, какие встретились в Нью Йорке и в Берлине, и сооружение подземного М. обходилось в Париже много дешевле надземного. Все же при холмистом характере местности в Париже строителям М. пришлось вывести его кое-где из туннелей на эстакады. Общее протяжение этих эстакадных линий невелико (всего ок. 6% длины всей сети М.), тем не менее постройка их вызвала резкие протесты населения. Эстакады не только портили общий вид улиц, но представляли и серьезное неудобство для населения вследствие нестерпимого непрерывного грохота от несущихся с раннего утра до поздней ночи поездов. Стоимость квартир в домах на таких улицах понизилась и домовая рента упала. Окончательный удар М. надземного типа нанесло развившееся до небывалых размеров уличное автомобильное движение за границей, о к-ром в эпоху постройки первых М. никто не мог и думать. Пилоны эстакад, даже и на широких улицах, теперь уже представляют серьезные препятствия для уличного движения,—особенно стеснительны станции вследствие их больших размеров. Теперь надземных М. почти нигде не строят. Нью Йорк, выстроивший до 1904 г да 132 *км* М. на эстакадах, после этого перешел к подземному типу и, имея в настоящее время уже 201 *км* подземного М., заканчивает сооружение новой подземной сети М. протяжением 92 км, несмотря на тяжелые грунтовые условия; некоторые же линии надземного М. в Нью Йорке—стеснительное наследие прошлого времени—теперь заменяют подземными. В Париже все линии после 1905 года до настоящего времени сооружают исключительно под землей. В Берлине, где вначале увлекались эстакадными М., с 1912 года их больше не строят и последние линии проводят уже под землей. Последние линии в Чикаго, Бостоне, Филадельфии, Вашингтоне, Буенос-Айресе, Глазго, Ливерпуле, Будапеште, Вене проведены под землей. Города, которые только недавно закончили у себя сооружение первых метрополитенных линий (Мадрид, Барселона, Токио) или только приступают к постройке М. (Рим, Милан, Неаполь, Генуя, Брюссель, Варшава), проводят их под землей. Можно указать лишь на два города, где в последнее время часть линий М. была проведена над землей, а именно Гамбург и Сидней, где это объясняется особыми местными условиями.

Стоимость сооружения надземных и подземных М. сильно колеблется в зависимости от местных условий. Так напр., данные парижской и берлинской практики приводят к совершенно противоположным результатам. Но эти противоречия легко объясняются при ближайшем анализе. В Париже туннели строились сводчатыми из бетона и бутовой кладки, в Берлине же по местным условиям применялись туннели с плоским перекрытием из железных балок, что значительно дороже. Когда в Париже в нек-рых местах пришлось применить плоское перекрытие, то стоимость туннеля приблизилась к берлинским нормам. Что касается надземного М., то стоимость его помимо других обстоятельств сильно зависит от величины пролетов. В Берлине эстакады устраивались с небольшими пролетами (до 12 *м*) и только при пересечениях с поперечными улицами эти пролеты соответственно увеличивались; в Париже, наоборот, из желания меньше стеснять уличное движение пролетам эстакад давали значительные размеры. На тех участках надземного М. в Берлине, где потребовались более значительные пролеты, стоимость эстакад значительно возросла и при пролетах в 20 *м* она оказалась почти та же, что и для Парижа. Т. о. утверждение, что эстакадные М. дешевле туннельных, было верно только для Нью Йорка и Берлина, где прокладка туннелей вследствие местных особенностей вообще обходилась дорого, а эстакады при допущении небольших пролетов, безбалластного верхнего строения и при сравнительной дешевизне железа обходились вначале исключительно дешево; в других же городах, при других геологич. условиях, иных ценах на строительные материалы и иных требованиях к величине пролетов, соотношение может быть обратное.

Расположение надземного М. на насыпях допустимо только за городом, при проходе по пустырям. Равным образом чрезвычайно редко встречается устройство М. на насыпях с подпорными стенками, что хотя и меньше стесняет уличное движение, чем при простых насыпях с откосами, но все же мешает ему и портит весь вид улицы, деля ее пополам в продольном направлении. Единственно приемлемым решением для надземного М. является устройство эстакад, как занимающих меньше места на улице и меньше стесняющих движение. Для М. эстакады строят гл. образом из железа и железобетона и иногда из железа с каменными или чугунными опорами. Из экономии места и чтобы меньше отнимать света эстакады устраивают преимущественно балочной или равнозначащей ей рамной системы. Арки встречаются как исключение (Вена). Свободная высота эстакад над уровнем мостовой обусловливается высотой повозок, трамваев и автобусов и в разных городах регламентируется различно. Она д. б. во всяком случае не менее 4,25 *м* и может доходить до 6 *м* и более. Пролеты эстакад М. зависят не только от экономических соображений, в смысле принятия наивыгоднейшего решения при известной стоимости опор и пролетной части, но также и от требования свободного проезда под эстакадой. При пересечении со встречными улицами эстакада должна перекрывать улицу одним или двумя пролетами, деля ее в последнем случае пополам; при очень большой ширине улицы допустимо пересекать ее многопролетной эстакадой, сообразуя пролеты с потоками движения на улице. К метрополитенным эстакадам, проходящим б. ч. по главным артериям больших столичных городов, часто с большим художественным и историч. содержанием,

© ГПНТБ

должны предъявляться известные художественные требования. К сожалению эстакады при большом протяжении, каково бы ни было их архитектурное оформление, производят унылое впечатление своею непрерывностью и монотонностью. Только при резко меняющемся рельефе местности, когда линия М., выскочив из туннеля крутого косогора, пробегает на коротком протяжении эстакадой по долине, чтобы снова зарыться туннелем в косогор, получаются красивые решения, особенно если эстакада проходит по большим площадям или среди зеленых парков. При проходе надземного М. над реками или ж.-д. путями строят мосты и путепроводы или иногда пути М. располагают на эстакадах, устроенных на городских мостах и путепроводах, предназначенных для обыкновенного уличного движения. Эстакаду М. в таких случаях располагают посредине моста, причем трамвайные пути обычно укладываются под путями М. между пилонами эстакады. Иногда, на очень больших мостах, пути М. укладывают на уровне проезжей части моста, с устройством особого заграждения, и переходят на эстакады при подходе к берегу (переход через Чарльс-Ривер в Бостоне, вкл. л., *1*). Метрополитенные мосты по своему архитектурному целому и по своей художественной обработке часто являются украшением для города. Примеры устройства М. на эстакадах, мостах и путепроводах в разных городах приведены на вкл. л., *2*—*5*. Рисунки иллюстрируют, насколько трудно возводить эстакады М. на улицах, не стесняя уличного движения. Подвесн. же железная дорога была выстроена между городами Барменом и Эльберфельдом (см. *Железные дороги однорельсовые*, фиг. 7) еще в начале настоящего столетия и дает там вполне удовлетворительные результаты (на фиг. 1 изображен проект берлинской подвесной ж. д.).



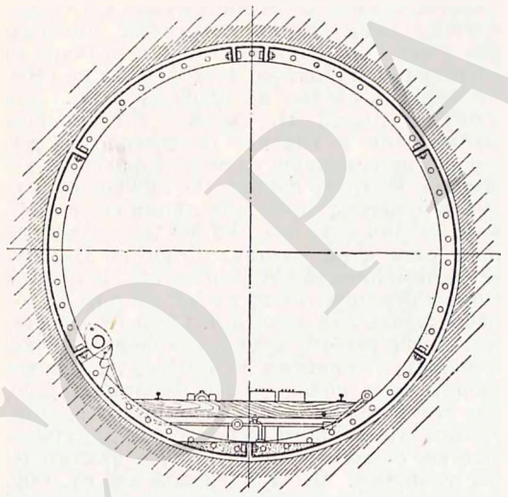
Фиг. 1.

Конструирование и расчеты метрополитенных эстакад, путепроводов и мостов в общем не отличаются от таковых на ж. д., и описание их помещено в соответствующих статьях.

При сооружении М. под землей туннели его устраивают либо с каменным сводчатым перекрытием, либо с плоским перекрытием (железным или железобетонным), либо наконец в виде круглых чугунных труб (тюбы). По преимущественному распространению того или иного типа в главнейших городах Европы среди русских техников принято называть эти типы соответственно—парижским, берлинским и лондонским. Такое наименование однако совершенно условно и не вполне правильно, т. к. все три типа—плоский, сводчатый и тюбы—применялись напр. и в Нью Йорке, и в Париже, и в Лондоне; в Берлине также помимо более распространенного плоского типа, в нек-рых случаях строились и сводчатые туннели. Предпочтение, отдаваемое определенному типу подземного М. в том или ином городе, объясняется прежде всего топографич., геологич. и гидрологич. особенностями города, расположением сети его подземных сооружений (канализации, водопровода, водостоков, кабелей и пр.), состоянием промышленности в стране и наличием в ней тех или иных строительных материалов; не последнюю роль играют в данном случае также строительные навыки инженеров каждой страны, но эти навыки опять-таки вырабатываются под влиянием совокупности всех указанных материальных обстоятельств (см. *Туннели городские*). В Лондоне на первых линиях подземного М. туннели прокладывались на небольшой глубине и перекрывались обыкновенным каменным сводом, причем работы велись не туннельным способом, а в открытых котлованах, сверху. При таком способе работ пришлось перекладывать всю сложную сеть подземных городских сооружений, к-рая в Лондоне была очень запутанна. Эта перекладка часто обходилась дороже сооружения самого М. и вызывала большие замешательства в уличном движении. Поэтому при дальнейшем развитии сети лондонского М. англ. инженеры решили зарыться поглубже в землю и для прокладки туннелей остановились на т. н. «способе щита», давшем уже хорошие результаты при многочисленных переходах туннелями под дном Темзы. Внешним очертаниям такого туннеля, а следовательно и щита придается форма кругового цилиндра, а самые кольца туннеля собирают из отдельных круговых чугунных сегментов, сбалчиваемых друг с другом болтами. Такие туннели в Лондоне названы тюбами (трубами) и это слово завоевало права гражданства на всех языках. Опыт показал, что для работы щитом особенно пригодным является плотный глинистый грунт, не содержащий валунов, и в Лондоне как раз на глубине 20—50 *м* оказался мощный пласт такой глины, чем и воспользовались англ. инженеры для прокладки тюбов. Тюбы требуют для своей обделки значительного количества высокосортного чугуна, что для Англии с ее богатой металлургич. промышленностью не представляет затруднений, и чугунные кольца для обделки там обходились сравнительно недорого. Тип тюба для перегона и станции показан на фиг. 2 и 3. Таким обр. преимущественное распространение тюбов при сооружении лондонского М. находит себе объяснение в наличии трех материальных факторов: 1) чрезвычайной запутанности сети подземных сооружений в Лондоне, что служило большим препятствием для неглубокого заложения туннелей М.; 2) нахождения на известной глубине плотной пластичной глины, особенно благоприятной для работы щитом; 3) сильно развитой металлургич. промышленности Англии, обеспечивающей недорогую заготовку чугунных колец для тюбов. К этому нужно прибавить весь предыдущий опыт и навыки англ. инженеров при прокладке многих таких тюбов под Темзой.

Совершенно иначе обстояло дело при сооружении подземного М. в Берлине. Прежде всего там не знали тех затруднений, какие выпали на долю Лондона при встрече с

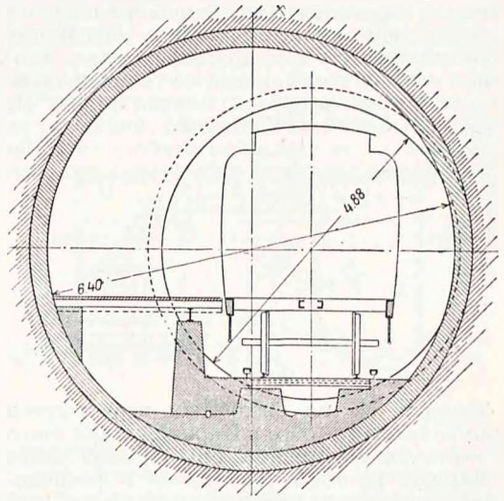
сетью подземных сооружений. В Берлине все подземные трубы и кабели были расположены в образцовом порядке, исключительно под тротуарами. Улицы были свободны от них и потому при прокладке М. их можно было вскрывать, не трогая существующих сооружений и не вызывая в



Фиг. 2.

них значительных переделок. Только при пересечении поперечных улиц приходилось неизбежно в трогаться со всеми подземными трубами и кабелями встречной улицы, но при таких условиях уже не представляло больших затруднений пропускать эти трубы и кабели над или под М. С другой стороны, природные условия в Берлине были таковы, что туннель приходилось приподнять как можно выше к поверхности мостовой. Берлин расположен в низменной долине реки Шпрее, покрытой песчаными наносами, сильно водоносными и с высокими грунтовыми водами. Такие условия принудили строителей берлинского М. как можно менее углубляться с туннелями, что облегчалось и расположением сети подземных сооружений; а так как при плоском перекрытии можно ближе прижать сооружения М. к поверхности мостовой, чем при сводчатом, то предпочтение, отданное в Берлине плоскому перекрытию, становится понятным. Плоское перекрытие требует много железа и потому обходится обычно дороже сводчатого, но для Германии с ее богатой металлургической промышленностью это обстоятельство не могло являться препятствием. Работы по прокладке туннелей с плоским перекрытием ведутся сверху, в открытых котлованах. Этот способ сравнительно прост: работы, земляные и бетонные, ведутся под защитой продольных вертикальных стенок, ограждающих котлованы. Для борьбы с грунтовыми водами был применен способ, позволивший, несмотря на то что грунт в Берлине очень водоносен, вести работы по прокладке туннеля насухо. Достигалось это так называемым искусственным понижением горизонта грунтовых вод. Этот прием при песчаном, сильно водопроницаемом грунте в Берлине увенчался полным успехом. На бойких улицах, где работа в открытых котлованах недопустима, берлинские инженеры перекрывают их особым настилом, по которому пропускается трамвайное, автомобильное и пешеходное движение, и стеснение уличного движения сводится в таких случаях к безобидному минимуму. В разработке деталей работ по своему способу берлинские инженеры достигли большого совершенства.

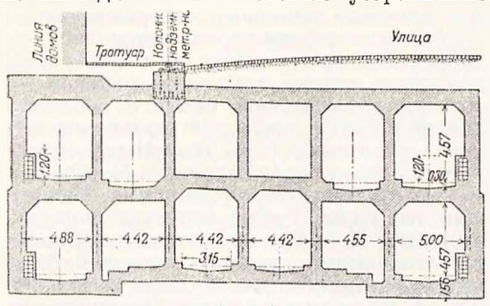
Туннели с плоским перекрытием получили в последнее время почти исключительное применение также и на нью-норкском М., хотя там применялись также и сводчатые туннели и тюбы (последние только на подводных участках). Но в Нью Йорке применение плоского перекрытия для М. объясняется не геологическими условиями. Твердый скалистый грунт (гнейс), составляющий подпочву Нью Йорка, с небольшими верхними напластованиями лессовых отложений, не более благоприятен для мелкого заложения туннеля, чем для глубокого. Предпочтение, отданное там в последнее время плоскому типу, находит себе объяснение в условиях планировки и жизни этого гигантского города. Центральная часть Нью Йорка расположена на узком, сильно вытянутом полуо-ве Мангатан. Главные улицы этой части (авеню) направлены вдоль полуо-ва, в этом же направлении преимущественно движутся и массовые людские потоки, к-рые при лихорадочной интенсивной жизни Нью Йорка достигают больших размеров. При сооружении подземного М. прокладки одной двупутной линии под такими авеню в Нью Йорке было недостаточно. Помимо нормальных линий европейского типа с обычными небольшими расстояниями между станциями в Нью Йорке пришлось строить независимо от них параллельные линии с большими перегона-



Фиг. 3.

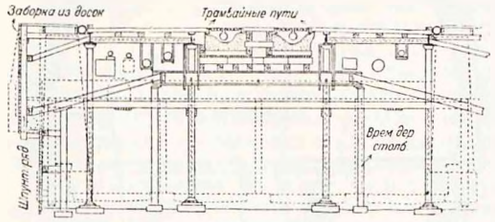
ми, где скорости могли быть значительно повышены. Таких линий (тихоходов и скороходов) проложено по четыре и больше под одним авеню. Естественно, что при таком количестве параллельных линий под одной и той же улицей сечения туннелей, для более компактной укладки, д. б. прямоугольными, т. е. с плоским перекрытием. При-

мером такого расположения могут служить туннели под Лексингтон-авеню (фиг. 4), а также туннели вновь строящихся линий в Нью Йорке (фиг. 5). Туннели с плоским перекрытием для нью-йоркского М. устраивались обыкновенно из железных балок и стоек, напоминая собою конструкцию берлинского М. Иногда балки и стойки устраивались



Фиг. 4.

железобетонные. Там, где можно было не считаться с уличным движением (в парках, на больших площадях), работы по прокладке туннеля велись в открытых котлованах. На улицах же с более или менее интенсивным движением котлованы перекрывались для проезда деревянным настилом, под которым и производились работы. Все мешающие работам подземные канализации предварительно перекладывались на новое место, а газопроводы временно подвешивались над улицами. В некоторых случаях при работах вскрывалась лишь часть улицы около тротуара, а остальные работы велись под землей туннельным способом, как напр. на 5-й авеню (главная улица Нью Йорка), где полное вскрытие мостовой не было допущено даже на короткое время. Туннели с плоским перекрытием помимо Берлина и Нью Йорка прокладываются и в других городах, особенно в тех случаях, когда по условиям трасировки приходится поднимать линию М. возможно ближе к мостовой.



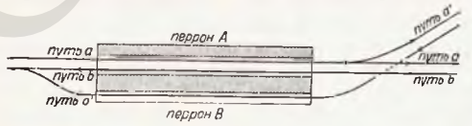
Фиг. 5.

Туннели М. со сводчатым перекрытием применяются гл. обр. в Париже и для этого существуют свои основания. Прежде всего в Париже не было того хаоса в расположении разных подземных сетей, к-рый так осложнил работы при сооружении первых сводчатых туннелей М. в Лондоне. В Париже принята система общесплавной канализации, т. е. в канализационные трубы попадают и домовые и ливневые воды и этим трубам всюду даны значительные размеры, дающие возможность прохода по ним людей. Трубы эти, овальн. сечения (на больших улицах), проходят по одной с каждой стороны улицы под мостовой рядом с тротуарами и в них обычно расположены все водопроводные, газовые, воздухопроводные и иные трубы и всякого рода кабели. Т. о. середина улицы в Париже, как и в Берлине, за немногими исключениями свободна от подземных сооружений. Но прокладке туннелей М. непосредственно под мостовой мешали бы трубопроводы канализации встречных поперечных улиц. Трубопроводы эти в отличие от берлинских настолько велики сами по себе, что переустройство их (дюкера и пр.) для пропуска линий М. вызвало бы большие затруднения и главное осложнило бы всю хорошо налаженную систему городского хозяйства. Поэтому парижские инженеры, как общее правило, проводят линии своего М., не углубляясь далеко, но все же несколько ниже сети канализации. Грунт в Париже за исключением высот Монмартра, Бельвиля и пр. в верхних своих слоях состоит из аллювиальных отложений р. Сены (и впадающих в нее речек), преимущественно мелкопесчаных, глинистых и илистых, но менее пропитанных водой, чем в Берлине. Аллювии эти покрыты слоем насыпного грунта, достигшего местами за более чем двухтысячелетнее существование Парижа значительной толщины. М. прокладывался гл. обр. в верхних слоях аллювия или в насыпном грунте. Проход щитом в таких грунтах хотя и возможен, но представляет известные затруднения при небольшой глубине заложения туннеля, так что в Париже после многих опытов вообще отказались от способа щитовой разработки для М., сохранив этот способ только для прохождения под реками или же на большой глубине. Устройство плоских перекрытий на сравнительно уже большой глубине, по сравнению с принятой для М. Берлина, было бы неэкономично и нерационально. Т. о. парижские инженеры при сооружении своего М. остановились на сводчатом типе туннеля, разрабатываемом обычным туннельным способом, на деревянных крепях. Очень благоприятствовало такому решению еще и то обстоятельство, что техника туннельного городского дела была доведена в Париже до высокой степени совершенства еще задолго до сооружения М. при постройке подземных каналов, больших коллекторов для канализации и т. п. При прокладке этих туннелей парижские инженеры выработали мало-по-малу легкие, очень экономичные, изящные по форме и в то же время вполне отвечающие требованиям прочности типы. Кроме Парижа сводчатое перекрытие для подземного М. получило почти исключительное распространение в Мадриде и Барселоне и применялось частично почти во всех городах.

Подземные М., в противоположность надземным, почти не оказывают влияния на общую архитектуру города, и только наружные входы и выходы с павильонами или балюстрадами вносят нечто новое в архитектурный ансамбль улиц и площадей и потому требуют известной архитектурной обработки. Иногда же эти выходы и входы устраиваются в первом этаже ближайших домов, наподобие магазинных входов или в виде лоджий, и ничем кроме надписей на

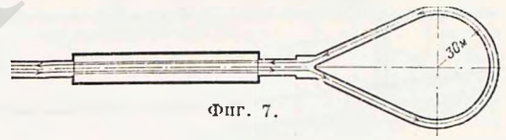
улице не выделяются. Такое устройство особенно часто встречается в Лондоне (вкл. лист, *6*). Подземные станции, где пассажиры в ожидании поезда проводят нек-рое время, должны также иметь известную архитектурную обработку, хотя они и скрыты под землей. Они д. б. ярко освещены и снабжены ясными, четкими надписями с названием станций и с указаниями входов, выходов, пересадок, направлений, дающими пассажиру возможность быстро и безошибочно ориентироваться. Примеры обработки наружных входов на станции и самих станций даны на вкл. л., *7—10*.

Необычайная по сравнению с движением на других ж. д. частота отправлений поездов М. обусловливает собою совершенно иное расположение путей, чем на железных дорогах. На М. не допускается пересечение разных линий на одном уровне, а они проводятся одна над другой во избежание столкновений поездов. При разветвлении линии (что многими авторитетами также не рекомендуется) пути располагают т. о., что возможность столкновения прибывающих на станцию поездов совершенно исключается; наблюдение д. б. сосредоточено только на поездах, отправляющихся со станции, причем стрелки располагаются непосредственно за станцией, как показано схематически на фиг. 6; по этой схеме поезд, прибываю-



Фиг. 6.

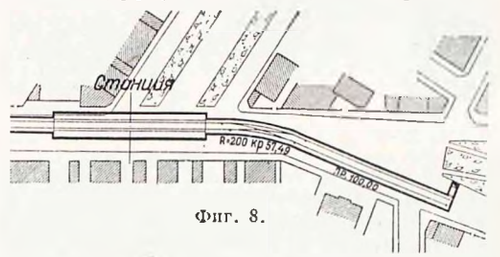
щий слева по пути *a*, останавливается у перрона *A* и идет дальше, смотря по назначению, по пути *a* или по пути *a'*. Ошибка (к тому же мало вероятная) в переводе стрелки не вызовет никакой катастрофы. Справа поезда могут подходить либо по пути *b* либо по пути *b'*, причем путь *b'* проходит над или под путями *a* и *b*, не пересекаясь с ними на одном уровне. Оба поезда могут т. о. подойти к станции без малейшего риска столкновения и остановиться по обе стороны перрона *B*. Дальше за станцией пути *b* и *b'* сливаются в один путь *b*, но шансы столкновения и в данном случае почти исключены. Прежде всего начальник станции, имея перед глазами оба поезда в одном и том же направлении, не может дать сигнала к отправлению одновременно двух поездов. Затем, если бы такой сигнал и был дан, то вожатые обоих поездов, видя друг друга и направляясь к одной точке, не могли бы не заметить ошибки, роковые последствия к-рой сказались бы прежде всего на них самих. Возможность столкновения предупреждается еще и автоматич. сигнализацией: при подаче сигнала к отправлению для одного поезда сигнал на пути другого поезда автоматически показывает остановку, при проходе поезда по одному пути проход по другому закрывается сигналами и автостопами, автоматически выключающими ток в этом поезде и приводящими в действие тормоза, если поезд минует сигнал. Указанное расположение путей при пересечении и разветвлении линий М. должно строго проводиться при проектировании М. Иначе, как бы ни была усовершенствована сигнализация и как бы ни был дисциплинирован служебный персонал, шансы катастроф далеко не исключаются и отступления, даже временные, от указанных правил ведут к тяжелым последствиям. Достаточно сослаться на катастрофу на берлинском М.,



Фиг. 7.

где один поезд врезался на стрелке в бок другого, или на недавнюю катастрофу на нью-йоркском М., происшедшую вследствие ошибочного перевода стрелки. В конечных пунктах, для возможной обратной подачи составов, линии М. устраивают в виде петель (фиг. 7) или оба пути продолжаются за станцию (фиг. 8). и маневры поездов происходят по стрелкам, как показано на схеме. В первом случае перевод составов с пути прибытия на путь отправления происходит без замедления при любой частоте отправления поездов и в условиях полной безопасности, но устройство петли в туннеле или на эстакаде обходится дорого. Второе решение более экономично, но представляет известную долю опасности столкновения (хотя и порожних составов) и кроме того маневры по стрелкам требуют известного времени, которое ограничивает частоту отправления поездов.

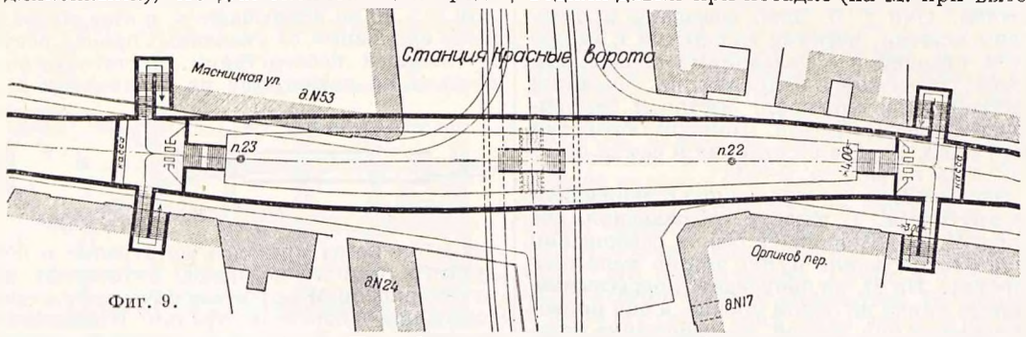
Перроны на станциях М. устраиваются или островными (фиг. 9) или боковыми (фиг. 10). Островные перроны облегчают устройство входов и выходов со станции, особенно в тех случаях, когда входы в М. могут быть расположены посредине улицы. Особенно удобны островные перроны при наличии двух станций, расположенных одна над другой, для установления пересадок с одной линии на другую. Но станции с островными



Фиг. 8.

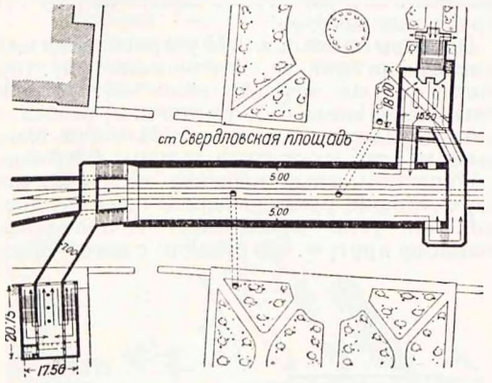
перронами обходятся сравнительно дорого гл. обр. потому, что для помещения перрона между путями последние приходится раздвигать еще задолго до подхода к станции (фиг. 9) и соответственно с этим устраивать с каждой стороны особые переходные раструбы от обыкновенного туннеля до туннеля станции, что обходится дорого. Кроме того станция в таком случае должна сразу же строиться на полную длину, какую можно предвидеть в будущем при развитии движения, т. к. при малейшем удлинении в будущем станции необходимо ломать весь рас-

труб и вновь строить его дальше от станции на полную длину его. Наконец при островных перронах пути подходят к станциям по S-образным кривым, обычно малых радиусов (иначе раструбы получаются чрезмерно удлиненными), что для эксплоатации пред-



Фиг. 9.

ставляет известное неудобство. При боковых же перронах станционные пути являются прямым продолжением путей на перроне, без S-образных искривлений. Станционный тип сооружения сразу отчетливо и резко обрывается, как только кончается перрон, заменяясь нормальным типом сооружения без всяких промежуточных типов, что удешевляет общее устройство станции. Длина станции при постройке м. б. установлена в соответствии с требованиями движения в первое время, так как в будущем ее можно легко удлинить (над туннелем за станцией в таком случае строится станционный тунель бо́льших размеров, после чего



Фиг. 10.

первый тунель разбирается). Наконец некоторым удобством боковых перронов является и то, что пассажир, пройдя на нужный ему перрон, уже не может ошибиться и сесть на поезд, идущий в обратном направлении, что может случиться при островных перронах.

Длина станций соответствует длине максимального поезда с запасом около 10 *м* на установку поезда. Ширина перронов при боковом расположении колеблется в пределах от 3,5 до 5 *м*, а при островном—от 6 до 10 *м* (иногда и больше). Ширина перронов должна соответствовать числу пассажиров, ожидающих поезд, вместе с пассажирами, к-рые могут выйти из этого поезда. При большом наплыве публики, на перрон допускается (Париж) только такое количество пассажиров, какое может вместить первый подходящий поезд, для того чтобы пассажиры, ожидающие на перроне, могли быть уверены, что они попадут в вагоны, и не проводили давки при посадке (на М. при высоких перронах беспорядки при посадке много опаснее, чем на трамвае). С таким расчетом должна назначаться и ширина перронов. Скорость прохода пассажиров по перронам (по данным Комиссии товарных и пассаж. станций при Америк. ж.-д. ассоциации) на М. составляет 1,7 *м/сек*, а если пассажиры идут толпой, то 1,55 *м/сек*. Пропускная способность лестниц уменьшается с высотой. При высоте в 6 *м* она составляет на М. 66 чел. в минуту на 1 *м* ширины лестницы (там же). На парижском М., при высоте от перрона до мостовой более 12 *м*, обязательно устройство лифтов или эскалаторов для публики. Америк. инженеры считают нецелесообразным устраивать механические приспособления при высоте 7,5 *м* и менее.

Вагоны М. должны удовлетворять двум основным требованиям: 1) опорожнение и заполнение их публикой при остановке на станции должно производиться возможно быстрее, т. к. при частых остановках коммерч. скорость на М. сильно зависит от времени стоянки на станциях; 2) вместимость вагонов д. б. максимальной. Первое условие удовлетворяется устройством в вагоне большого числа (от 3 до 4 с каждой стороны) широких дверей, дающих непосредственный выход, без ступеней, из вагона прямо на перрон, поднятый для этого высоко (почти до уровня пола вагона). При таких условиях на выход и вход пассажиров обычно тратится на станции не более 20—30 ск. (по данным Комиссии товарных и пассаж. станций при Америк. ж.-д. ассоциации на выход одного пассажира при ширине двери 1 *м* тратится в среднем ок. 1 ск.) Второе условие — увеличение вместимости вагонов — достигается особым расположением скамей, дающим больше мест для стояния, чем для сидения.

Короткая база тележек вагонов М. (около 2 *м*) дает возможность прохода по довольно крутым кривым. Эта возможность, при затруднении трасировки линий М. по городским улицам, в известных случаях широко используется, допуская на М. кривые с радиусом 60—75 *м* для главных линий и 30—40 *м* для служебных путей. Неизбежность встречи туннеля М. с другими подземными сооружениями, пересечение их

друг с другом, а также переход от надземного типа М. к подземному заставляют при проектировании в профиле применять довольно крутые уклоны, до 0,040—0,050, соответственно с чем д. б. рассчитаны моторы вагонов и тормозные приспособления.

Особое внимание на М. обращается на освещение туннелей. Катастрофа в Париже на ст. Куронн в 1903 г. показывает, какую панику и какие ужасные последствия может вызвать внезапное погружение туннеля в темноту. Поэтому теперь осветительную сеть М. делают совершенно независимой от тракционных проводов. Кроме того на всем своем протяжении туннель должен освещаться двумя независимыми друг от друга сетями с питанием из разных источников, так что в случае аварии на одной сети освещение туннеля все же будет наполовину обеспечено. Сверх этого питание электрическим током части лампочек, а также освещение всех световых надписей на станции с указанием выходов, пересадок и пр., должно быть обеспечено дополнительно, особыми аккумуляторными батареями.

На некоторых М. воздух в туннелях очень тяжел для пребывающих в нем (например в Париже на некоторых линиях). Явление это однако вполне устранимо (и в настоящее время устраняется) при надлежащем устройстве одной только естественной вентиляции. Как показал опыт, для этого достаточно вывести из туннеля до поверхности земли, через 150—200 *м* друг от друга, вытяжные шахты с площадью поперечного сечения ок. 4 $м^2$. Поезд при проходе действует в туннеле как поршень и выдавливает перед собою воздух через шахту. В нек-рых случаях (Нью Йорк) теплота, выделяемая моторами быстро следующих друг за другом поездов, настолько поднимает $t°$ воздуха в туннеле, что одной естественной вентиляции оказывается недостаточно и приходится в вытяжных шахтах устанавливать особые эксгаустеры. Озонирование туннелей М. пока не дало благоприятных результатов. Приходилось даже иногда вследствие жалоб служащих, принужденных долго дышать озоном, снимать установленные озонаторы. (О вентиляции М. см. *Туннели городские*.) На парижском М. усиленно применяется дезинфекция туннелей: три раза в день, после наплыва публики, перроны, а также лестницы и переходы на станциях обливают особым раствором (1 *г* хлорной извести на 1 *л* жавелевой воды консистенции 3 : 1 000 по объему). Даже балласт пути на всем протяжении ежедневно обливают раствором из смеси обыкновенной извести с хлорной известью (25 *г* на 1 *л* воды). Вагоны М. ежедневно, б. ч. почью, подвергают осмотру, чистят, моют и дезинфицируют. Через 4—7 дней их обязательно подвергают подробному дневному осмотру и, если нужно, мелкому и среднему ремонту. После 25 000—30 000 *км* пробега для моторных и 50 000—70 000 *км* пробега для прицепных вагонов они поступают в капитальный ремонт.

Так как М. обслуживает гл. обр. густо населенные части города, где подыскание площади для постройки депо в соответствии с полным инвентарным количеством вагонов вызывает известные затруднения, то часто на М. в депо посылают вагоны только для дневного осмотра и мелкого ремонта, производимого через 4—7 дней, бо́льшую же часть вагонов осматривают, моют, дезинфицируют и оставляют на ночь в туннелях, на гаражных путях, снабженных смотровыми ямами. На этих же путях вагоны ожидают в спокойные часы выхода на линию для усиления движения при наплыве публики (с соблюдением указанных выше предосторожностей). При таком использовании туннелей для стоянки и осмотра вагонов площадь депо М. на поверхности сокращается в 4—7 раз. Количество вагонов М., находящихся в капитальном ремонте в мастерских, колеблется в пределах от 7 до 10% инвентарного количества сети. Расположение парковых путей, депо и мастерских, а также конструкция их на М. очень разнообразны, но в общем по типам не отличаются сильно от установившихся на трамваях и электрифицированных железных дорогах.

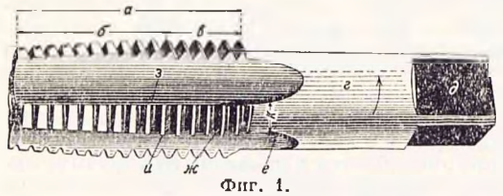
Лит.: Гирвисон Г., Городские дороги большой скорости, т. 1—2, СПБ, 1900 и 1901; Пеглин-ский К., Метрополитены Берлина и Парижа, СПБ, 1910; Основн. положения проекта сооруж. в г. Москве внеуличных дорог большой скорости и электрификации магистральных ж. д. в районе пригор. сообщения, М., 1913; Шереметевский М. П., Основные приемы расчета движения по проектируемым линиям метрополитена, «Ж.-д. дело», М., 1915; По вопросу о сооружении метрополитена и развитии сети гор. ж. д. в г. Петрограде, П., 1917; Большие города З. Европы, М., 1926; Гербко А. В., Московский метрополитен, М., 1927; Матвеев И. П. и Розанов С. П., Парижский метрополитен после мировой войны, «Коммун. х-во», М., 1927; Розанов С. П., Метрополитен и пригородное сообщение в больших городах, там же; его же, Вопросы метрополитена, «СП», М., 1928; Wittig P., Die Weltstädte u. d. elektrische Schnellverkehr, B., 1909; Gerlach Fr., Die elektrische Untergrundbahn d. Stadt Schöneberg, B., 1911; Schimpf C., Wirtschaftliche Betrachtung über Stadt- u. Vorortbahnen, Berlin, 1913; Musil F., Die elektrischen Stadtschnellbahnen d. Vereinigten Staaten v. Nordamerika, B., 1913; Macholl A., Die Profilgestaltung d. Untergrundbahnen, Mch.—B., 1914; Giese E., Die im Betrieb u. Bau befindlichen Schnellbahnen in Gross-Berlin, B., 1915; Giese E., Schnellstrassenbahnen, B., 1917; Wittig P., Die Architektur der Hoch- u. Untergrundbahn in Berlin, B., 1922; Kipnasse E., Die Hamburger Hochbahn-Actiengesellschaft in verkehrspolitischer und sozialpolitischer Beziehung, B., 1925; Hervieu J., Le chemin de fer Métropolitain municipal de Paris, t. 1—2, P., 1903—1908; Biette L., Les chemins de fer urbains parisiens, Paris, 1928; Gilbert H. a. others, The Subways a. Tunnels of New York, New York, 1912; Thomas J. P., Handling London's Underground Traffic, London, 1928; Otamendi M., Metropolitano Alphonso XIII, Madrid, 1921—1924.

С. Розанов.

МЕТЧИК, инструмент, который служит для нарезания внутренней винтовой резьбы в предварительно просверленных отверстиях самоходом, т. е. таким образом, что М. сам вырабатывает в стенках отверстия необходимые для его работы винтовые направляющие. Следовательно М. не нуждается в механизме, сообщающем ему при нарезании резьбы осевую подачу, как напр. гребенки и т. п. винторезные инструменты, а единственной задачей приводящего его в движение рабочего или станка будет вращать М., не мешая ему в то же время двигаться аксиально.

В основном М. представляет собой цилиндрический стержень с нарезанной на нем резьбой, к-рая разбита на отдельные поля, или гребенки, рядом канавок. В дальнейшем принимаем следующие обозначения (фиг. 1): нарезанный участок *a* стержня в целом—

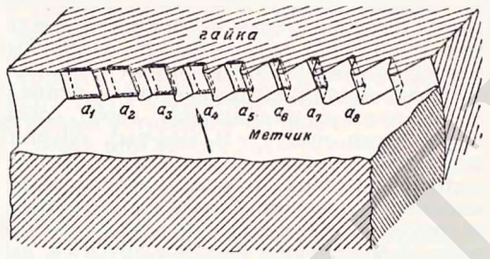
резьбовой стержень; передняя, заточенная на конус часть его *б*—приемный, или заборный конус; остальная часть *в* резьбового стрежня—направляющий, или калибрующий, цилиндр; задняя, лишенная нарезки часть М., *г*—шейка; верхняя часть шейки *д*—головка, или квадрат; углубления *е*, выфрезованные в резьбовом стержне,—канавки;



Фиг. 1.

остающиеся между канавками части резьбы *зс*—гребенки, или поля; кромка или грань гребенки, лежащая по направлению рабочего движения М., *з*—рабочая, или режущая кромка или грань (грудь); противоположная ей *и*—задняя кромка или грань; размер *к*—ширина поля. По роду совершаемой ими работы М. разделяются на: 1) слесарные, или ручные, М.—нормальные цилиндрич. М., служащие не только для нарезания дыр вручную, но и для нарезания на станках глухих отверстий; 2) гаечные М., ручные и машинные,—применяемые для нарезки гаек в один проход от руки или на особых станках; 3) машинные М. — для нарезки резьбы на токарных или сверлильных станках, а также на револьверных станках и автоматах; 4) газовые (трубные) М.—для нарезания газовой (трубной) резьбы на трубах и арматуре; эти метчики делают как цилиндрическими, так и коническими; 5) котельные М.—для нарезки резьбы в стенках паровых котлов; они делаются несколько меньшего диаметра, чем нормальные М., для достижения паронепроницаемости винтового соединения; 6) кузнечные М.—сходны со слесарными, но с бо́льшими допусками и более грубой работы; 7) анкерные М.—для одновременной нарезки отверстий под анкера в обеих стенках огневых коробок паровозных котлов; 8) шкивные М.—с особенно длинной шейкой для нарезки отверстий под установочный болт во втулках ременных шкивов небольшого диаметра; 9) пробочные М.—специальные конич. М. для нарезки отверстий под пробки в паровозных котлах и химич. аппаратуре; 10) экипажные М. (амбарные М.)—М. с большими допусками для гаек, применяемых в экипажном и плотничном деле; 11) плашечные М.—для нарезания плашек для клуппов; 12) лерочные, или прогоночные, М.—для нарезания лерок (цельных плашек); 13) машинно-плашечные М.—для нарезания гребенок винторезных головок; 14) лерочные калибровочные М.—для зачистки резьбы в лерках после проделывания в них канавок (см. *Плашки*). По роду нарезаемой резьбы М. делятся на два больших класса: для треугольной нарезки и для трапецоидальной или квадратной нарезки. По устройству различают постоянные М. (нормальные, огромное большинство), переставные М.—с диаметром, изменяемым в небольших пределах, и раздвижные М., применяемые на револьверных станках и автоматах, устроенные по типу раздвижных винторезных головок типа Геометрик или Ландис.

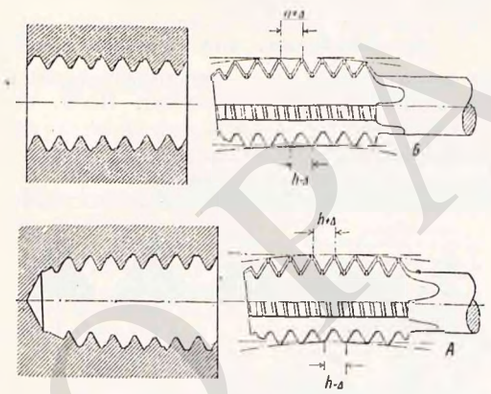
Основные принципы конструкции М. Способ работы М. схематически изображен на фиг. 2: зубцы, расположенные на заборном конусе, вследствие конич. формы этой части М. в каждой следующей (по направлению, обратному движению М.) гребенке немного выступают по сравнению с предыдущими, так что каждый зубец снимает тонкую, трапецевидную стружку $a_1, a_2, \ldots, a_8$. Зубцы направляющего цилиндра не должны производить работы резания и служат исключительно для сообщения М. необходимого для его работы осевого движения. Высказанное требование, предъявляемое к зубцам направляющего цилиндра, будет однако выполнено лишь в том случае, если ось М. представляет собой прямую линию, если шаг нарезки М. постоянен как от одной нитки к другой, так и по длине каждой нитки (т. е. постоянен угол подъема винтовой линии) и если средний диаметр нарезки цилиндра остается постоянным по длине его или немного уменьшается по направлению к



Фиг. 2.

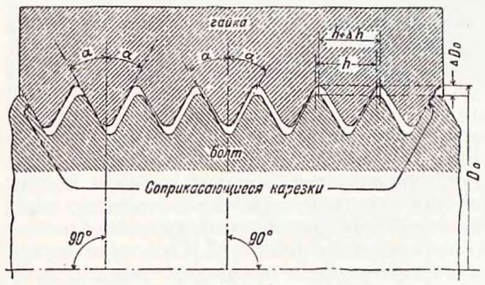
шейке; при невыполнении этих условий зубцы направляющего цилиндра будут также участвовать в резании. При работе метчика окончательная форма нарезки получается после того, как нитка будет пройдена последним зубцом заборного конуса,—всякие дальнейшие изменения формы нарезки будут ее лишь портить; поэтому требование, чтобы цилиндрическая часть не участвовала в резании, является существенно важным для получения правильной нарезки. Необходимо однако отметить, что на практике это требование м. б. выполнено лишь при работе М., изготовленными из специальной некоробящейся при закалке стали или отшлифованными в резьбовой части после закалки. М. из обыкновенной стали коробятся при закалке; наиболее часто встречается изгиб оси М. и изменение его размеров, причем у М. из углеродистой стали происходит увеличение диаметра, сопровождаемое укорочением всего М., а у М. из легированных сталей часто наблюдается обратное. Форма нарезки, получающейся при работе кривым М., изображена на фиг. 3; при этом у М. шаг h становится меняющимся по длине нитки, а именно: он увеличен $(h + \Delta)$ с

выпуклой и уменьшен $(h - \Delta)$ с вогнутой стороны. Резьба, нарезанная таким метчиком, имеет различный характер в глухих и сквозных отверстиях; в первых (фиг. 3, *А*) она имеет коническую, расширяющуюся кнаружи, общую форму и нарезку меняющегося



Фиг. 3.

по длине профиля, менее искаженного в глубине и более у края отверстия; в сквозном отверстии (фиг. 3, *Б*) основная форма нарезки получается цилиндрической, но большего диаметра, чем сам М., и с испорченным профилем резьбы. Одним из паллиативных способов, применяемых для компенсирования искажения шага нарезки М. при закалке, является увеличение диаметра метчика; на фиг. 4 изображена посадка правильного винта и гайки с нарезкой правильной формы, но с шагом, слегка отличным от шага винта; для того чтобы соединение вообще могло иметь место, необходимо, чтобы средний диаметр нарезки D_0 гайки был на ΔD_0 больше, чем таковой же винта. Обозначая



Фиг. 4.

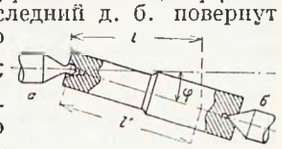
n—число ниток в гайке, h—ход винта, Δh—разницу в ходе на одну нитку, 2α—угол при вершине нарезки, L—длину гайки, и полагая, что первая и последняя нитки плотно соприкасаются, имеем:

$$\Delta D_0 = \frac{n\Delta h}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{L}{\operatorname{tg}\alpha}\cdot\frac{\Delta h}{h};\quad \frac{\Delta D_0}{D_0} = \frac{\Delta h}{h}\cdot\frac{L}{D_0}\cdot\frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}. \quad (1)$$

У углеродистой стали $\frac{\Delta h}{h}$ порядка 0,15—0,2%; у употребительных нарезок $2\alpha = 55 \div 60°$, т. е. в среднем $\operatorname{tg}\alpha \cong 0{,}55$; $\frac{L}{D_0}$ обычно равно 1; так. обр. для нормальных условий имеем:

$$\frac{\Delta D_0}{D_0} = 0{,}28 \div 0{,}36\%.$$

Мера эта однако ни в коем случае не может быть признана достигающей своей цели; действительно, наощупь гайка сидит без игры прочно на винте, но при действии нагрузки будет работать лишь одна нитка, а следующие лишь тогда придут в соприкосновение, когда деформация сдвига первой нитки $\frac{\Delta h}{h}$ будет больше соответственной игры, т. е. $\geq 0{,}0015$—$0{,}0020$, чему соответствует напряжение сдвига $\tau = 1\,200 \div 1\,600$ *кг/см²*, т. е. лежащее на границе допустимого; кроме того конечно эти напряжения возрастают по мере увеличения нагрузки, когда начинают работать третья, четвертая и т. д. нитки. Второй способ компенсации изменения длины М. при закалке состоит в нарезании резьбы с соответственно удлиненным или укороченным шагом. Теоретически против этого способа компенсации ничего возразить нельзя; на практике однако осуществление его наталкивается на ряд затруднений: 1) закалочная усадка меняется даже в пределах одного бруска и может разниться довольно значительно в образцах, взятых из различных брусков одной плавки; 2) нарезание на метчике резьбы шага, мало отличающегося от нормального, на обыкновенном токарном станке затруднительно. Обычным способом нарезания удлиненной резьбы является смещение центра рейштока (фиг. 5); при этом центр бабки *а* д. б. снабжен вместо острия шариком, равно как и центр рейштока, или же последний д. б. повернут (*б*) по направлению оси обтачиваемого М. Называя через l и l' пути, проходимые суппортом относительно станка и резцом относительно М., α и



Фиг. 5.

ω_1 — угол поворота и угловую скорость шпинделя передней бабки, ω_2—соответственную угловую скорость М., ведомого поводком, и φ—угол между осями бабки и М., имеем:

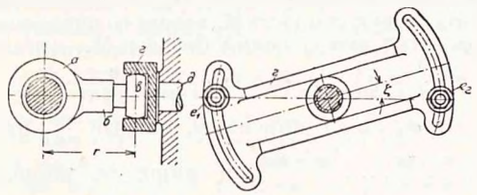
$$\frac{l'}{l} = \frac{1}{\cos\alpha} \text{ и } \omega_2 = \omega_1\cdot\frac{\cos\alpha}{1-\sin^2\varphi\sin^2\alpha},$$

т. е. ω_2 имеет максимум, равный $\frac{\omega_1}{\cos\alpha}$ при $\varphi = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \ldots, \frac{(2n+1)\pi}{2}$, и минимум, равный $\omega_1\cos\alpha$ при $\varphi = 0, \pi, 2\pi, \ldots, n\pi$; отсюда получаем $\frac{\omega_{2max}}{\omega_{2min}} = \frac{1}{\cos^2\varphi}$. Так как поступательная скорость движения суппорта с резцом зависит лишь от угловой скорости шпинделя и при $\omega_1 = \text{Const}$ постоянна, а скорость вращения М. изменяется, то нарезаемая при этом резьба будет иметь переменный угол подъема винтовой нарезки χ. к-рый дважды за один оборот нитки будет иметь максимальное и минимальное значения, причем относительная окружная ошибка угла подъема будет равна $\Delta\chi = 1 - \frac{1}{\cos^2\alpha}$. Обозначая через $\frac{\Delta l}{l} = \Delta h = \frac{l'-l}{l}$ осевую коррекцию шага, имеем:

$$\Delta\chi = 2\Delta h + (\Delta h)^2, \quad (2)$$

т. е., исправляя шаг в осевом направлении, мы вводим более чем вдвое бо́льшую ошибку в угле подъема нарезки по окружности

витка. Второй, значительно более совершенный способ коррекции шага состоит в подборе шестерен, дающих требуемый, отличающийся от нормального на величину усадки шаг. Этот способ однако в виду незначительной разницы между нарезаемым и нормальным шагом приводит обыкновенно к весьма крупным несократимым числам зубцов передаточных шестерен. Подбирая последние методом непрерывных дробей, удается иногда получить весьма близко подходящее к истинному приближенное передаточное число, к-рое однако м. б. осуществлено обычно лишь при условии изготовления одной или двух шестеренок перебора с необычными числами зубцов. Этот способ имеет еще и то неудобство, что, раз открывши замок ходового винта, очень трудно попасть опять на нитку, так что приходится обратное движение супорта производить вращением в обратную сторону шпинделя, не нарушая связи между ним и ходовым винтом. Наилучшим способом является третий, требующий однако некоторых изменений в конструкции станка: гайка ходового винта (фиг. 6, *а*) сделана неразъемной и установлена в супорте в подшипниках, позволяющих ей вращаться вокруг оси винта, но не дающих ей аксиальной свободы перемещения относительно супорта. Тело гайки снабжено приливом *б*, к к-рому прикреплен ролик *в*, обделанный по наружной поверхности в форме шарового пояса; ролик этот ходит без игры в вырезе линейки *г*, могущей вращаться вокруг оси *д* и закрепляемой под любым углом ζ к оси винта при посредстве гаек e_1 и e_2. При движении супорта ролик *в*, перемещаясь по линейке *г*, поворачивает в ту или другую сторону гайку винта и тем увеличивает или уменьшает действительное перемещение l супорта по сравнению с теоретическим, получаемым из числа



Фиг. 6.

n оборотов ходового винта и его хода h_1 и равным nh_1. Относительное удлинение (+) и укорочение (−) нарезаемой резьбы

$$\Delta h = \frac{l - nh_1}{nh} = h_1 \frac{\operatorname{tg}\zeta}{2\pi r}, \qquad (3)$$

откуда

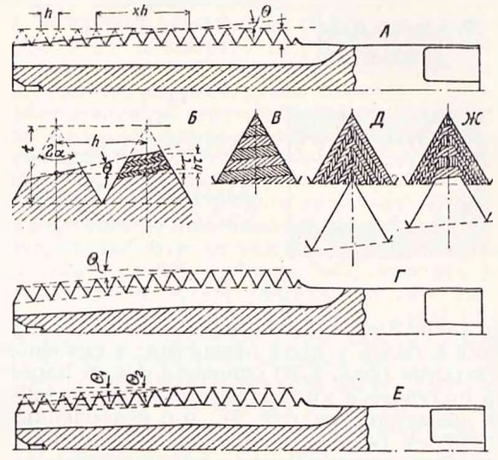
$$\operatorname{tg}\zeta = \frac{2\pi r \Delta h}{h_1}. \qquad (4)$$

Знаки + и − действительны для ходового винта с правой резьбой и нормального тригонометрич. правила знаков для угла ζ.

Распределение снимаемой стружки на отдельные зубцы М. зависит от формы заборного конуса и числа канавок. На фиг. 7, *А* изображена гребенка метчика нормального типа с цилиндрич. резьбой и заточенным заборным конусом длиной l с углом образующей θ. Углубление нарезки между двумя соседними зубцами гребенки представлено на фиг. 7, *Б*, заштрихованной более густо площадкой; так как эта работа при правильной конич. заточке заборного конуса распределяется равномерными слоями между n зубцами (n — число канавок), то общая высота стружки, снятой между двумя соседними зубцами одной гребенки

$$\tau_1 = h \operatorname{tg}\theta = n\tau, \text{ или } \operatorname{tg}\theta = \frac{n\tau}{h}, \qquad (5)$$

где h—ход винта, а τ—толщина стружки, приходящейся на один зубец. Ясно, что



Фиг. 7.

для снятия всей высоты l винтовой нарезки необходимо, чтобы в заборном конусе заключалось m ниток:

$$m = \frac{l}{n\tau}, \quad l = mh = \frac{t}{\operatorname{tg}\theta}.$$

Порядок последовательного выполнения нарезки при этом способе заточки конуса изображен схематически на фиг. 7, *В*. Ясно, что малейшая неточность одного из зубцов вызовет неминуемо порчу стороны нарезки, т. е. ее главной несущей части. Кардинально отличается от указанного способ устройства заборного конуса, изображенный на фиг. 7, *Г*: здесь сама резьба на этой части М. выполнена конической, причем в переднем конце М. наружный диаметр нарезки равен внутреннему диам. готовой резьбы. Распределение стружек, снимаемых между соседними зубцами одной гребенки, изображено схематически на фиг. 7, *Д*. При предыдущем способе заточки, в основном, каждый зубец резал своей плоской стороной, здесь же он режет своими боковыми гранями; следствием этого является то, что хотя в этом случае исключена до известной степени возможность порчи боков нарезки, но условия схода стружки с режущих кромок получаются весьма невыгодными. На фиг. 7, *Е* изображена гребенка М., заточенного по комбинированному способу: резьба имеет конусность с углом θ_1, и кроме того верхушки сняты по конусу с углом θ_2; последовательность снятия стружек представляет собой объединение обоих первых типов (фиг. 7, *Ж*). Первый тип М. снимает каждым зубцом стружку площадью

$$\sigma_1 = 2x n \tau^2 \operatorname{tg}\alpha = \frac{2h^2 \operatorname{tg}\alpha}{n} x \operatorname{tg}^2\theta, \qquad (6)$$

где x—номер зубца, считая от цилиндрич. части М. Площадь стружки, снимаемой зубцом М. второго типа, м. б. выражена ф-лой

$$\sigma_2 = h\tau - 2xn\tau^2 \operatorname{tg}\alpha = \frac{2h^2 \operatorname{tg}\alpha}{n} \operatorname{tg}\theta \left(\frac{1}{2\operatorname{tg}\alpha} - x \operatorname{tg}\theta\right), \qquad (7)$$

тогда как в третьем случае стружка, снимаемая одним зубцом, имеет площадь

$$\sigma_3 = \frac{2h^2 \operatorname{tg}\alpha}{n} \left[\frac{\operatorname{tg}\theta_1}{2\operatorname{tg}\alpha} + x(\operatorname{tg}^2\theta_2 - \operatorname{tg}^2\theta_1)\right] \qquad (8)$$

Как видно из этих формул, в М. первого типа площадь стружки на один зубец постепенно уменьшается от переднего, резьбового торца и цилиндрич. части, во втором сечение стружки в том же направлении увеличивается, а в третьем увеличивается или уменьшается в зависимости от знака разности $\operatorname{tg}^2\theta_2 - \operatorname{tg}^2\theta_1$; в том случае, когда $\theta_1 = \theta_2 = \theta$, площадь стружки остается постоянной по всей длине М., равной:

$$\sigma'_3 = \frac{h^2}{n} \operatorname{tg}\theta. \qquad (9)$$

Недостатком первого типа метчика является слабость направляющего ребрышка в начале нарезания резьбы, т. е. как раз в момент снятия наиболее крупной стружки; поэтому метчики этого типа часто, в особенности в хрупком материале (чугун, латунь), работают вначале просто как развертки, пока им искусственно не дадут нужного поступательного движения и нарезка не заберет хода. М. второго типа, наоборот, в начале нарезания имеют минимальную площадь стружки и поэтому сразу забирают ход; недостатком, мешающим применению их в пластич. материалах (мягкое железо, медь), является неудобство схода стружки с резца, затруднительность точки и сложность производства. Идеальной формой нарезки М. является комбинированная при соответственном подборе углов θ_1 и θ_2; единственным, правда крупным, недостатком ее является затруднительность нарезания самого М. в процессе производства.

Толщина τ стружки, снимаемой одним зубцом, зависит от шага резьбы, нарезаемого материала и системы М. Толщина изменяется прямо пропорционально шагу, так что отношение $\frac{\tau}{h} = c_1$ представляет собой для данных условий постоянную величину. В европейской практике для c_1 приняты следующие средние значения (по Туссену)

Ручные М.	0,01 —0,012
Машинные М.	0,004 —0.006
Плашечные и лерочные М.	0,002—0,003

По данным америк. практики эта постоянная имеет значения, указанные в табл. 1.

Последний тип М. (лерочные) сконструирован по другому методу, а именно, у него не $\frac{\tau}{h} = \text{Const}$, а сама толщина снимаемой стружки почти не зависит от диаметра М. и изменяется от 0,000125 *мм* до 0.000165 *мм* при изменении диам. от $\frac{1}{4}''$ до $1\frac{1}{2}''$.

Ручные слесарные М. обычно изготовляются наборами по три, из к-рых первый — начальный, или черновой, служит для предварительной нарезки, а второй — средний, или получистовой, служит для окончательной нарезки сквозных отверстий или для получистовой нарезки глухих дыр, тогда как отделочный, или чистовой, М. применяется для окончательной отделки глухих нарезанных отверстий. Распределение стружки на отдельные М. набора м. б. сделано двумя различными способами. Первый, применяемый главным образом для проходных М., изображен на фиг. 8а; в наборе этого типа все три М. имеют одинаковую основную нарезку, различие заключается только в форме заборного конуса. У чернового метчика конус имеет длину, определенную по условию $c_1 = 0{,}0135$, т. е. в витвортовых М., напр. с глубиной нарезки, равной $0{,}65h$, длина заборного конуса

$$l_1 = \frac{48}{n} h; \text{ при } n = 4,\ l_1 = 12\,h,$$
$$\operatorname{tg}\theta_1 = 0{,}0512,\ \theta_1 = 3°\,6';$$

длина заборного конуса среднего М.:

$$l_2 = \frac{20}{n} h; \text{ при } n = 4,\ l_2 = 5\,h,$$
$$\operatorname{tg}\theta_2 = 0{,}1300,\ \theta_2 = 7°\,25';$$

длина заборного конуса чистового М.:

$$l_3 = \frac{6}{n} h; \text{ при } n = 4,\ l_3 = 1{,}5\,h,$$
$$\operatorname{tg}\theta_3 = 0{,}4325,\ \theta_3 = 23°\,23'.$$

Для метрич. М. с глубиной нарезки, равной $0{,}695h$, длины конусов соответственно равны:

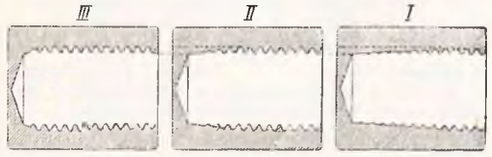
$$l_1 = \frac{51{,}4}{n} h \text{ (при } n = 4,\ l_1 = 12{.}8\,h);$$
$$l_2 = \frac{21{,}4}{n} h \text{ (при } n = 4,\ l_2 = 5{,}35\,h);$$
$$l_3 = \frac{6{,}4}{n} h \text{ (при } n = 4,\ l_3 = 1{,}6\,h).$$

Табл. 1.—Значения постоянной c_1 для М. различных типов.

Типы М.	Среднее значение	Для нарезки $\frac{1}{4}''$	$\frac{3}{4}''$	$1\frac{1}{2}''$	$1\frac{3}{4}''$
Ручные	0,0135	—	—	—	—
Гаечные ручные	0,005	0,00515	0,00595	0,0049	—
Машинные гаечные	0,006	0,0059	0,0065	0,00515	—
Анкерные	0,0324	—	—	—	—
Кузнечные	0,01	0,0118	0,0091	0,0083	—
Прямые котельные ручные	0,0075	—	0,0108	0,0078	0,0052
Плашечные	0,0036	0,0049	0,00384	0,00313	0,00314
Машинные плашечные	0,0036	0,0032	0,00406	0,0036	—
Лерочные	—	0,0025	0,0019	0,00099	—

Фиг. 8а.

Иногда в метрич. М. оставляют те же длины конусов, что и для витвортовских, тогда углы θ принимают соответственно след. значения: $\theta_1 = 3°20'$, $\theta_2 = 7°55'$, $\theta_3 = 24°50'$. При этой системе набора на практике обычно черновому метчику дают недомерок по среднему диаметру нарезки, равный от 0,05 до 0,08t; тогда нарезка в сквозном отверстии после прохода ее средним М. будет иметь правильные размеры; чистовой метчик в этом наборе применяется лишь для нарезания резьбы до дна в глухих отверстиях (на фиг. 8б, *I*, *II* и *III* показана нарезка после прохода ее черновым, средним и чистовым М.). Крупным недостатком этого способа распределения работы по отдельным М. набора, исключающим возможность применения М. этого типа для точной нарезки, является то обстоятельство, что неравномерная закалочная усадка хотя бы одного из трех М. вызывает порчу нарезаемой

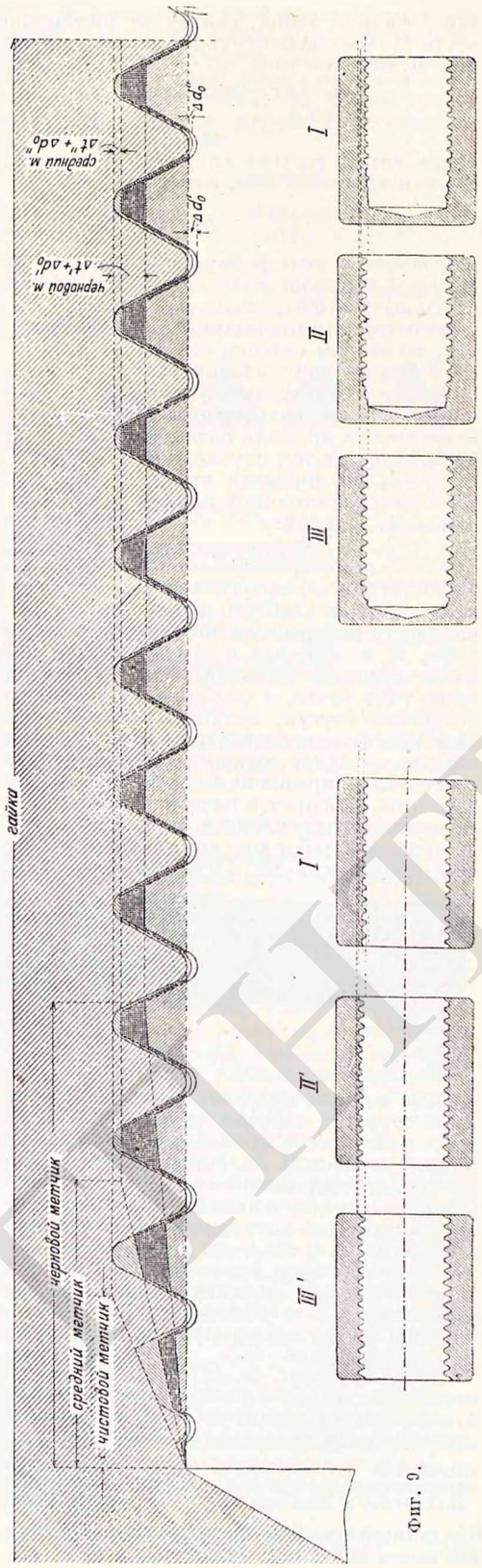


Фиг. 8б.

резьбы. Избежать неравномерной усадки, по крайней мере при нормальных сортах стали, невозможно; поэтому для нарезания точной резьбы применяют распределение снимаемой стружки на отдельные М. по способу, схематически показанному на фиг. 9. При этом способе работа более равномерно распределяется на все три М. набора, причем следует стремиться, чтобы черновой М. совершал примерно 0,6 всей работы, средний—0,3, а чистовой—0,1. Для уничтожения влияния закалочной усадки все три М. делают различного среднего диаметра. Величина разности диам. двух соседних М.—Δd д. б. достаточно большой, чтобы следующий М. наверняка срезал все неправильности нарезки, возникшие вследствие закалочной усадки предыдущего. Как было выведено выше,

$$\frac{\Delta d_0}{d_0} = \frac{\Delta h}{h} \cdot \frac{L}{d_0} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}.$$

Закалочная усадка колеблется в пределах 0,135—0,15—0,18% для метчика нормальной длины и 0,25—0,28% для особо длинных (анкерных) М.; L принимают равным d и $\frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} \cong 1{,}74$ и 1,93; следовательно для коротких метрических М. $\frac{\Delta d_0}{d_0} = 0{,}235 \div 0{,}261 \div \div 0{,}313\%$, для длинных метрических М.—$0{,}435 \div 0{,}488\%$; для коротких витвортовских соответственно $0{,}26 \div 0{,}29 \div 0{,}348\%$ и $0{,}483 \div 9{,}54\%$. Обычно однако Δd_0 выражают не в долях диам., а относят его к глубине нарезки t. Отношение $\frac{d_0}{t}$ не остается постоянным для винтов различных диам. и систем *нарезок* (см.) и изменяется в пределах 5,9—14,1 для винтов от $^1/_{16}$ до 2 дм. с нарезкой Витворта, от 6,2 до 13,8—для тех же пределов американ. стандартной нарезки (Селлерса) и от 6,30 до 14,6 для метрич.



Фиг. 9.

нарезки; среднее значение $\frac{d_0}{t}$ в этих пределах равно 10,6. Т. о. получаем для $\frac{\Delta d_0}{t}$ в среднем значения ~ 3% для коротких и 5% для длинных М. Как видно из рис. 9, у М. кроме уменьшения средних диаметров еще срезана часть нарезки по всей длине М. для распределения работы резания на отдельные М. набора по приведенной выше раскладке. Величина $\frac{\Delta t}{t}$—уменьшения глубины нарезки данного М. по сравнению с глубиной окончательной нарезки определяется опытным путем и зависит кроме рода нарезаемого материала также от углов резания, задней заточки и формы режущего острия М. Различные авторы дают значения $\frac{\Delta d_0}{t}$ и $\frac{\Delta t}{t}$, приведенные в табл. 2.

Табл. 2.—Величины недомеров диаметров М.

Источник	$\Delta d_0 : t = c_2$		$\Delta t : t = c_3$	
	Черновой М.	Средний М.	Черновой М.	Средний М.
Валентин для нарезки Селлерса	0,246	0,123	0,277	0,038
Валентин для нарезки Витворта	0,246	0,123	0,284	0,064
Туссен	0,20	0,10	0,50	0,20
Иогансен	0,30	0,15	0,35	0,14

Machinery's Handbook дает следующие значения для $\frac{\Delta d_0 - 2\Delta t}{2t}$: для черновых М.—0,50, для средних 0,167; точных данных о значении величины $\frac{\Delta d_0}{2t}$ в этом источнике не имеется.

Наружный диаметр метчика

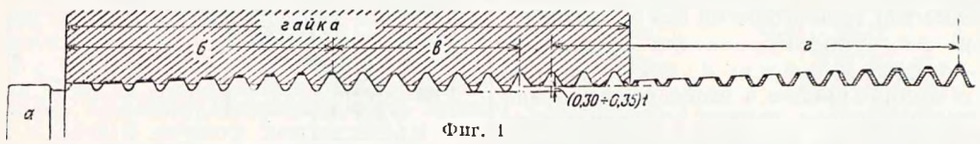
$$D_a = d_a - (c_2 + 2c_3)t,$$

где d_a—наружный диам. соответствующей нарезки. Длина заборного конуса в М. второго типа делается укороченной, т. к. работа резания, приходящаяся на каждый М. набора, уменьшена по сравнению с М. первого типа: длина конуса чернового М. может быть определена как у цилиндрич. М., исходя из действительной высоты нарезки, подлежащей срезыванию при работе данным М.; высота эта равна $t(1-0{,}5c_2-c_3)$; т. о. получаем длину заборного конуса чернового М.

$$l = \frac{ht(1-0{,}5c_2-c_3)}{n\tau} = \frac{t}{n} \cdot \frac{1-0{,}5c_2-c_3}{c_1},$$

напр. для размеров чернового М., рекомендованных Туссеном, получаем $l = (5{,}75 \div \div 7{,}0)h$; этот же автор рекомендует для среднего М. делать длину конуса равной $0{,}5l$. По данным америк. практики длину заборного конуса делают однако меньшей, а именно $l_1 = 4h$, $l_2 = 2{,}5h$ и $l_3 = 1{,}5h$, чему соответствуют углы наклона образующей конуса для нарезок: Витворта соответственно 5° 60′, 12°38′ и 23°6′; Селлерса (USST или AST)—5°34′, 13°10′ и 23°23′; метрической (при недомерах по Туссену)—4° 14′, 12° 31′ и 26° 15′. На фиг. 9 изображены последовательные стадии нарезания глухого (*I*, *II* и *III*) и сквозного (*I′*, *II′* и *III′*) отверстия набором метчиков этого типа. Для отличия обоих типов наборов их иногда называют: первые—конич. слесарными М., а вторые—цилиндрическими.

Для нарезания на станках точной сквозной нарезки за один проход сконструированы т. н. М.-тендем, представляющие собой два последовательно включенных М., разделенных цилиндрической нарезанной частью (фиг. 10, *в*); из них первый делается на 0,6—$0{,}7t$ меньшего диаметра, чем второй, играющий роль чистового. Длина заборного конуса (*б*) первого метчика делается равной $9h$, второго (*г*)—$13h$, что соответствует одинаковому для обеих частей углу наклона образующей конуса, равному 2° 50′. Распределение снимаемой стружки по обеим частям метчика видно из фиг. 10 (стружка, снятая каждым зубцом, зачернена; у чистовой половины М. заштрихована площадь, снятая этой частью). М.-тендем обычно снабжается направляющей частью *а*, отшлифованной с небольшим отрицательным допуском по калибру отверстия под резьбу; длину цилиндрич. промежуточной части *b* делают достаточной для того, чтобы чистовая часть начинала резать не раньше, чем черновая начнет выходить из отверстия. Во всяком случае для достаточно надежного направления чистовой части необходима длина цилиндрич. пояса не менее $5—7h$. Преимуществом этого М. перед обыкновенным машинным является более правильное распределение стружки на отдельные зубцы и кроме того надежное направление в начале нарезки, в виду более широких остающихся на стенках отверстия ниток и менее широких первых режущих кромок гребенки. Особенно неблагоприятны условия схода стружки и работы М. вообще при нарезании трапецоидальной и квадратной резьб. Большое количество подлежащего снятию металла и затрудняющая сход стружки малая величина угла α заставляет распределять работу нарезания между 3—5 и более отдельными М.

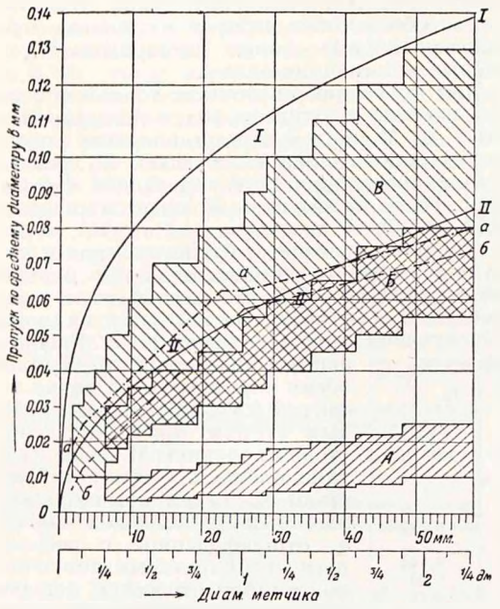


Фиг. 1

Наружный диаметр всех чистовых М. (за исключением котельных и анкерных) делается несколько больше требуемого диаметра окончательной нарезки. Делается это по двум соображениям: 1) полученная М. нарезка всегда несколько меньше диаметром, чем сам М., вследствие упругости нарезаемого материала, и 2) естественный износ М., особенно сильный в первое время работы его (вследствие присутствия на поверхности М.

ОСОАВИАХИМ

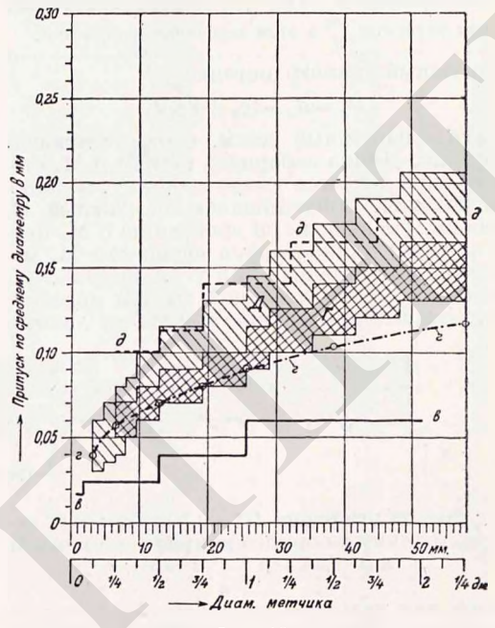
обычно очень тонкого, мягкого, обезуглероженного слоя стали), довел бы очень скоро диаметр нового и в остальном исправного М. до размеров ниже допустимых. Величина



Фиг. 11.

этого припуска изменяется в зависимости от рода М. и способа их изготовления. На фиг. 11 и 12 даны диаграммы, указывающие величину припусков различных родов М. в зависимости от наружного (номинального) диам. М. На фиг. 11 обозначают: *А*—допуски слесарных М. высшей степени точности, *Б*—то же, но для более свободной посадки, *В*—то же для метчиков обычной степени точности (нижний предел допуска для *Б* и *В* один); кривая *I* дает величину припусков для ручных гаечных М.; аналитически она выражается ф-лой $\Delta d_0 = 0{,}036\sqrt[3]{d_a}$ *мм*, если d_a в *мм*, и $\Delta d_0 = 0{,}1066\sqrt[3]{d_a}$ *мм*, если d_a в дм.; кривая *II* относится к припускам слесарных и газовых М.; аналитически она выражается ф-лой $\Delta d_0 = 0{,}0111\sqrt{d_a}$ *мм* для d_a в *мм* и $\Delta d_0 = 0{,}0558\sqrt{d_a}$ *мм* для d_a в дм.; на той же диаграмме кривая *а* изображает величину припусков для ручных слесарных метчиков, принятых руководящими производственными фирмами США; кривая *б* относится к припускам, принятым в США для лерочных калибровочных М. На фиг. 12 обозначают: *Г*—допуски для машинных гаечных метчиков высокой степени точности, *Д*—то же, но для нормальной степени точности; кривая *в* указывает величину припусков машинных гаечных М. до закалки, а *д*—то же, но после закалки и правки; кривая *г*, выражаемая ф-лой $\Delta d_0 = 0{,}0504\sqrt{h}$ *мм* или $\Delta d_0 = \frac{0{,}254}{z}$, где z — число ниток на 1 дм., дает величину припусков готовых метчиков, принимаемую на з-дах Westinghouse El. & Mfg. Co. в США.

В виду своей упругости материал гайки, после того как резьба нарезана заборной частью, продолжает давить на поверхность зубцов гребенок цилиндрич. части М., поскольку их диаметр не меньше, чем у последнего зубца заборного конуса. Давление это пропорционально площади соприкосновения сторон нарезки на гребенках со стенками нарезанного отверстия, и следовательно вредный момент сопротивления, вызываемый трением гребенок, пропорционален также этой площади. Существуют два способа для уменьшения этого вредного сопротивления: задняя заточка зубцов гребенок и обратная конусность направляющего цилиндра М. Второй способ наиболее простой; он состоит в приданни направляющему цилиндру небольшой конусности по направлению к хвостовой части М., так что средний диаметр нарезки около шейки на 0,005—0,008 *мм* меньше, чем в месте перехода заборного конуса в направляющий цилиндр; тангенс угла наклона образующей цилиндра к оси берется ок. 0,0005. Способ этот д. б. признан весьма несовершенным, так как при нем направляющая часть М., за исключением нескольких первых витков, не соприкасается со стенками нарезки по всей окружности, вследствие чего страдает правильность нарезаемой резьбы. Первый способ более совершенен, однако требует для своего исполнения снятия затылков гребенок на *затылочных станках* (см.) или на специальных шлифовальных машинах.



Фиг. 12.

Задняя заточка зубьев (фиг. 13), выполняется обычно по дугам эксцентрических окружностей; характерными размерами являются: расстояние *а* между центрами окружностей—основной и задней заточки, угол ε, составляемый линией центров (метчика O и окружности задней заточки O_1) с продолжением радиуса переднего ребра

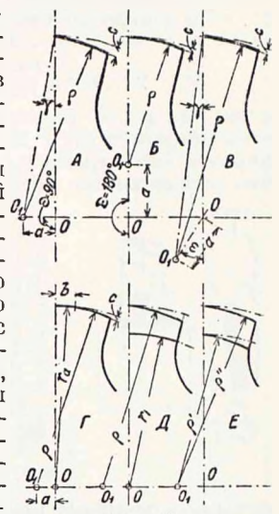
гребенки. Для работы М. важными величинами являются: угол задней заточки γ, т. е. угол между касательными к окружности диаметра М. и к поверхности затылка зубца в его острие, и просвет на затылке зубца *с*. С возрастанием γ до известных пределов, уменьшается сопротивление резанию, просвет же *с* у М. для нарезания глухих отверстий и вообще у всех М., вывинчиваемых из нарезанного отверстия обратно, д. б. возможно малым, т. к. при вывинчивании М. в этот зазор попадают стружки и, заклиниваясь в нем, портят готовую нарезку. На фиг. 13 приведены 4 различных способа образования задней заточки. Данные об элементах заточки при каждом из этих способов приведены в табл. 3.

Табл. 3.—Элементы задних заточек М.

Фиг. 13	γ	ε	$a : d_a$	$c : d_a$
Б	0°	180°	0,100	0,0156
		180°	0,150	0,0264
А	6°	90°	0,0526	0,0262
В		45°	0,082	0,0178
		30°	0,126	0,0136
		20°	0,210	0,0073
А	10°	90°	0,088	0,0176
В		45°	0,150	0,0312
		30°	0,250	0,0230
		20°	0,480	0,0115
А	15°	90°	0,134	0,061
В		45°	0,255	0,045
		30°	0.49	0,034
Г	0°	90°	0,0625	0,0192

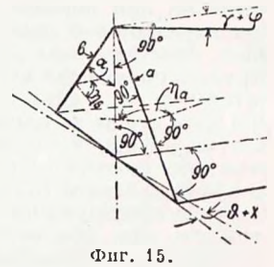
Цилиндрич. направляющая часть М., как было указано, не должна принимать участия в резании, поэтому наиболее пригодными для нее методами задней заточки являются обозначенные на фиг. 13 буквами *Б* и *Г*; из них наиболее совершенной является *Г*—т. н. «конэксцентрическая» задняя заточка, при которой передняя часть зубца на $b = 0{,}08\,d$ остается нетронутой, а задняя часть снимается по окружности, элементы которой указаны в табл. 3. Оба упомянутых способа, наоборот, совершенно непригодны для заточки режущих зубцов заборного конуса. Единственными применимыми здесь методами являются *А* и *В*; из них последнему, в особенности при угле $\varepsilon = 20°$, д. б. отдано предпочтение, т. к. при одинаковом угле γ в этом случае получаются наименьшие значения для *с*. Конэксцентрич. задняя заточка дает возможность на одном станке за один зажим произвести заднюю заточку наиболее выгодным для М. в целом способом, а именно по *Г* в цилиндрической его части и, немного подав резец вперед, по *А* на заборном конусе. Иногда заднюю заточку ограничивают снятием линь верхушек гребней (фиг. 13, *Д*), что является недопустимым в режущей и бесполезным в направляющей части М.; в первой задняя заточка должна быть выполнена по *Е*, т. е. заточен весь профиль в целом.

Следующим весьма важным элементом конструкции М. являются канавки. Назначение канавок двоякого рода: 1) образовать режущие передние грани зубцов и 2) служить для помещения и отвода образующейся стружки. Форма канавки определяется формой ее поперечного сечения и углом, образуемым ею с образующими основного цилиндра М. Обычно же М. выполняются с прямыми, т. е. параллельными оси М., канавками; этот тип канавок вполне пригоден для направляющей части, в режущей же части он нежелателен при большом наклоне ниток (при грубой нарезке или многоходовых винтах) или при малом угле режущей грани (см. ниже), т. к. в этих случаях углы резания на обеих сторонах одного зубца получаются неравными—один больше, а другой меньше прямого. Обозначим: φ—угол груди зубца (фиг. 14), γ—угол задней заточки верхней грани зубца, χ—угол подъема винтовой нарезки, ϑ—угол спирали канавки с образующей цилиндра, причем оба последние угла считаем положительными для правых винтов (спиралей). Тогда η — истинный угол лезвия (фиг. 15), т. е. угол между плоскостями, касательными к по-



Фиг. 13.

Фиг. 14.



Фиг. 15.

верхностям зубца на его режущей боковой кромке, получим (при выводе тангенсы заменены дугами в виду малости углов γ, φ, ϑ и χ) из ур-ий:

$$\eta_a = 90° - \frac{\sin 2a}{2}(\gamma+\varphi) - (\vartheta+\chi)\cos^2 a \quad (11)$$

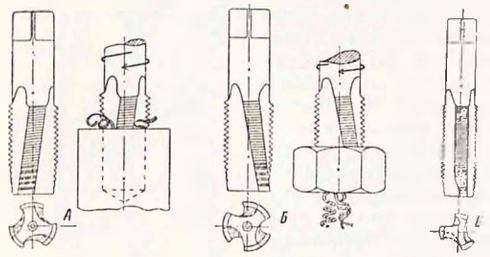
$$\eta_b = 90° - \frac{\sin 2a}{2}(\gamma+\varphi) + (\vartheta+\chi)\cos^2 a, \quad (12)$$

где η_a и η_b—углы передней (*а*) и задней (*b*) режущих кромок (считая по направлению поступательного движения М. при резании).

Второй член ур-ий обращается в нуль при $\vartheta = -\chi$, т. е. когда канавкам придают уклон, равный по величине, но направления противоположного углу подъема нарезки; в этом случае оба угла η равны между собой, и при конечных значениях γ и φ меньше 90°, т. е. лезвие в этом случае режет, а не скоблит. При канавках, параллельных оси М., угол переднего лезвия всегда <90°, а угол заднего до тех пор < 90°, пока

$$\gamma + \varphi > \chi \frac{2\cos^2 a}{\sin 2a} \cong 1{,}73\,\chi, \qquad (13)$$

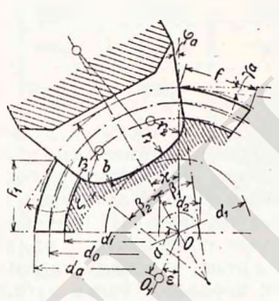
а так как χ для нарезки Витворта изменяется например от 3° 40′—2° 50′—2° 25′ для нарезок диаметрами $^1/_8$—$^1/_2$—$^3/_4$ дм., то ясно, что обыкновенно придаваемые φ и γ вели-



Фиг. 16.

чины обеспечивают правильное резание обеих кромок зубца. Однако в случаях, когда необходимо получить особо точную нарезку, желательно придание канавкам спирального направления с углом $\vartheta = -\chi$, так как при неравенстве углов обоих лезвий имеющее меньший угол врезается в металл несколько глубже другого, что приводит к некоторому (весьма незначительному) искажению нарезки. Направление канавок имеет еще важное значение для вывода стружек: спираль одинакового направления с нарезкой подает стружку по направлению, обратному поступательному движению М. (фиг. 16, *А*), что выгодно при нарезке глухих отверстий; спираль обратного направления (фиг. 16, *Б*) оказывает противоположное действие, почему и применяется исключительно при нарезке сквозных отверстий сравнительно небольшой длины. Следует однако отметить, что действительный вывод стружки получается лишь при довольно значительном угле спирали—порядка 15—25°; при этом зубцы на направляющем цилиндре получают с одной стороны настолько острый угол, что приобретают стремление врезаться в металл и портить т. о. готовую нарезку. Удачной конструкцией для сквозных отверстий, гл. обр. для нарезки гаек, является поэтому М., изображенный на фиг. 16, *В*: у него спиральной сделана только режущая грань на протяжении заборного конуса; одновременно достигается углубление канавки, особенно важное в этой части, что позволяет делать ее в остальной части М. менее глубокой, чем обычно, и следовательно усиливает М. в целом.

Форма поперечного сечения канавок имеет также немаловажное значение для правильной работы М. К форме канавок м. б. предъявлены следующие требования: 1) она должна обеспечивать достаточной величины угол груди φ (фиг. 17) и притом не только φ_a (фиг. 18) на наружном диаметре d_a нарезки, но и φ_0 и φ_i на среднем d_0 и внутреннем d_i диаметрах; 2) она должна предоставлять достаточную площадь F для прохода стружек (площадь F считаем до внутреннего диаметра—см. фиг. 19,*а*); 3) формы груди зубца должны обеспечивать свободный сход стружки; 4) ширина f гребенки д. б. достаточной для надежного направления М. ($nf \cong d_a$, где n — число гребенок); 5) для М., вывертываемых из отверстий по окончании нарезки, угол ζ задней стороны зубца не д. б. много больше 90°, для предупреждения заклинивания стружек; 6) толщина гребенок в наиболее тонком месте д. б. достаточной как с точки зрения прочности, так и принимая во внимание ведение при закалке; 7) диаметр d_1 части М., лежащей между днами канавок, д. б. возможно бо́льшим для наибольшей прочности всего М. в целом; точнее, желательно максимальное значение момента сопротивления кручению остающейся части стержня М. На фиг. 17 и 18, кроме упомянутых выше обозначений имеем: d_2—диам. окружности, касательной к продолжению прямолинейного профиля груди; γ_a, γ_0, γ_i—углы задней заточки на наружном, среднем или внутреннем диам., при условии заточки из центра O_1, отстоящего на a от центра М. O по направлению, составляющему угол ε с продолжением начального радиуса данного зубца; f_1—касательная вышина поля; χ—угол установки плоскости вращения фрезера к плоскости начального радиуса; β_1 и β_2, r_1 и r_2—углы и радиусы, характеризующие форму режущей кромки фрезера. В том случае, когда подача фрезера по глубине не м. б. просто измерена по радиусу или когда по соображениям наивыгоднейшего распределения стружки по кромкам фрезера его средняя плоскость не проходит через ось М., положение фрезера определяется кроме угла χ еще расстоянием e его средней плоскости от оси М.; глубина канавки b при этом измеряется по направлению, параллельному средней плоскости фрезера (фиг. 19, *е*, *к*, *л*). На фиг. 19 и в табл. 4 приведены все элементы наиболее употребительных форм канавок, вычисленные в предположении $d_0 = 0{,}9d_a$ и $d_i = 0{,}8d_a$; все линейные размеры выражены в долях d_a, а свободная площадь сечения канавки F отнесена к полной площади сечения внутренней окружности нарезки $F_0 = \frac{\pi d_i^2}{4}$. М. типа *а* и *б* хороши для нарезки



Фиг. 17.

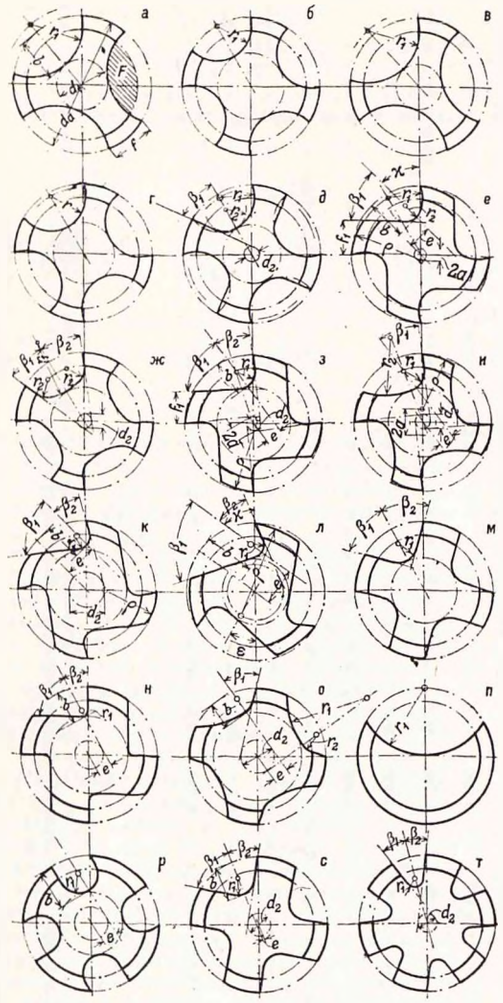
Фиг. 18.

Таблица 4.—Элементы М. для канавок различных типов (фиг. 17, 18, 19).

Тип (фиг. 19)	φ_a	φ_0	φ_i	f	f_1	r_1	r_2	b	F/F_0%	$\varkappa$	β_1	β_2	nf	e	ζ
а	11°23′	4°32′	−3°02′	0,330	—	0,375	—	0,3125	46,5	40°48′	—	—	0,99	—	78°37′
б	14°29′	3°49′	−7°54′	0,275	—	0,25	—	0,250	31,8	28°57′	—	—	1,10	—	75°31′
в	15°53′	7°11′	0°0′	0,32	—	0,375	—	0,327	50,6	41°37′	—	—	0,96	—	74°07′
г	21°06′	10°51′	0°0′	0,265	—	0,25	—	0,276	41,8	29°39′	—	—	1,06	—	68°54′
д	21°06′	10°54′	0°0′	0,268	—	0,25	0,181	0,278	41,5	29°33′	35°0′	—	1,07	—	95°45′
е	21°05′	10°54′	0°0′	0,259	0,25	0,25	0,125	0,280	25,5	45°0′	45°0′	—	1,04	0,185	120°0′
ж/*з*	5°0′	5°33′	6°15′	0,250	—	0,40	0,123	0,250	35,7	30°0′	25°0′	25°0′	1,04	—	85°0′
и	5°0′	5°33′	6°15′	0,250	0,25	0,125	—	0,245	22,8	35°0′	50°0′	35°0′	1,04	0,135	121°0′
*к**1	5°0′	5°33′	6°15′	0,24	—	0,50	0,15	0,263	34,0	35°0′	30°0′	—	0,96	0,101	96°50′
*к**2	15°0′	16°39′	−3°0′*3	0,233	—	0,125	—	0,254	19,5	45°0′	55°0′	30°0′	0,932	0,208	127°0′
л	10°0′	11°06′	12°29′	0,238	—	0,125	—	0,260	24,0	40°0′	55°0′	30°0′	0,952	0,157	122°30′
м	25°0′	27°35′	31°36′	0,317	—	0,125	—	0,370	38,7	55°0′	55°0′	30°0′	0,950	0,247	117°0′
н	−14°21′	−16°08′	−18°12′	0,250	—	0,08	—	0,290	33,0	30°31′	45°0′	45°0′	1,00	—	104°29′
п	0°0′	0°0′	0°0′	0,270	0,26	0,08	—	0,246	22,8	30°0′	60°0′	30°0′	1,08	0,1007	121°20′
о	−14°36′	−16°16′	−18°14′	0,230	—	0,60	0,125	0,180	14,8	35°0′	40°30′	—	0,94	0,125	114°10′
п	36°0′	36°45′	23°35′	2,09	—	0,50	—	0,500	41,4	60°0′	—	—	2,09	—	60°0′
р	36°5′	41°14′	18°07′	0,45	—	0,15	—	0,300	33,2	13°40′	—	—	1,80	0,150	90°0′
с	−5°21′	−15°14′	−11°29′	0,259	0,25	0,125	—	0,242	20,9	20°45′	55°0′	30°0′	1,04	−0,115	116°0′

*1 Первый вариант с диам. $d_1 = 0{,}60\,d_a$ и углом $\varphi_0 = 15°0'$. *2 Второй вариант с диам. $d_1 = 0{,}55\,d_a$ и углом $\varphi_0 = 10°0'$. *3 Вследствие слишком большого значения радиуса r_2, выбранного в данном типе канавки, *4 Задняя заточка выполнена лишь по гребню зубца, т. е. по d_a.

резьбы в вязкой стали и мягком железе; их недостатком является отрицательный угол груди зубца в глубине нарезки; этот недостаток устранен в М. *в* и *г*, где угол $\varphi_1 = 0°$, что достигнуто незначительным углублением канавки (с 0,25 до 0,278 в четырехканавочном М.). М. этого типа пользуются значительным распространением, в особенности для глухих отверстий, и выказали себя

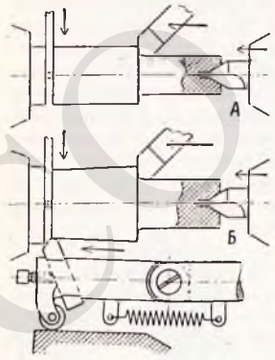


Фиг. 19.

с весьма хорошей стороны. На фиг. 19, *о* изображен М., отличающийся от предыдущих видоизмененной формой задней грани гребенки; сделано это в целях упрочнения зубцов не меняя основной формы канавки. Эта форма канавок превосходна для М. общего назначения, работающих в вязких, но не мажущихся (медь, алюминий) материалах. Тип *е* разработан для работы в тех же условиях, но для проходных, т. е. главным образом гаечных, М., к-рые пропускаются через нарезанное отверстие, а не вывертываются из него обратно; М. с канавками этого типа соединяют в себе прочность гребенок и малую склонность к короблению с хорошей формой груди зубца. Изображенная на фиг. 19, *ж* герм. форма М. имеет симметрич. сечение канавки и пригодна для М. общего назначения, преимущественно для глухих отверстий; недостатком этого типа является очень слабая ножка гребенок. Тип *з* имеет те же основные элементы, что и предыдущий, но предназначается для нарезания сквозных отверстий. Тип *и* является типом универсального М., с удобством применяемого для работы в твердых и вязких, а также и хрупких материалах (бронза, латунь, чугун); для работы в этих последних вообще нежелательны значительная величина угла φ и криволинейное очертание груди зубца. Формы канавок, изображенные на фиг. 19, *к* и *л*, часто применяются в америк. практике, гл. обр. из-за дешевизны и простоты изготовления фрезера, причем одним фрезером можно вдобавок нарезать М. различных диаметров. Форма эта является весьма мало удовлетворительной в виду малой свободной площади для прохода стружки и значительного сопротивления, оказываемого грудью зубца сходящей с зубца стружке вследствие слишком малого радиуса закругления дна канавки. М. этих типов непригодны для нарезания глухих отверстий. Форма М., изображенная на фиг. 19, *м* пригодна для нарезания материалов с хрупкой стружкой, чугуна, латуни; для нормального применения, в виду отрицательного угла φ, этот тип М. непригоден. Формы канавок *н* и *о* предложены америк. заводом Brown & Sharpe Mfg. Co.; из них форма зубцов с радиальным направлением груди (*н*) пригодна для нарезания резьбы в маловязких материалах, хотя недостатком этих канавок и является слишком большой угол ζ, что делает М. этого типа непригодным для нарезания несквозных отверстий. Для нарезания резьбы в меди и других очень мягких материалах, применяют М. типа *п* и *р*, отличающиеся большими размерами канавок и большими углами груди зубца; наиболее распространен тип *п*, особенно удобный в виду надежности направления. Для нарезки резьбы в латуни и аналогичных хрупких и не твердых материалах применяют М. типа *с*, канавки которого м. б. нарезаны фрезером, применяемым для фрезерования канавок типа *к* или *з*, меняется лишь установка фрезера относительно оси М. Совершенно особая форма канавок применяется для калибровочных лерочных М. (фиг. 19, *г*), к-рые не должны резать, а лишь шабрить и сглаживать нарезанную перед этим резьбу. М. этого типа нарезаются с бо́льшим числом канавок, чем нормальные равного диаметра; фрезер имеет для всех диаметров постоянный угол $\beta_1 + \beta_2 = 50°$ со слегка скругленной вершиной ($r_1 = 0{,}6 \div 1{,}5$ *мм*).

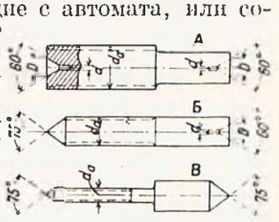
Производство М. Материалом для М. служит инструментальная сталь — углеродистая или легированная. Для обыкновенных рыночных М. берут углеродистую сталь с содержанием 1,10—1,25% C, 0,15—0,35% Mn, 0,10—0,4% Si, ≤ 0,015% P и ≤ 0,02% S. (Для особо крупных М. берут более вязкую сталь с 1,0—1,15% C.) Для обыкновенных М. высшего качества берут углеродистую

тигельную или электросталь, которая обладает преимуществом более однородной структуры и равномерной закалочной усадки; лучшие сорта английской и шведской инструментальной стали получают при закалке удлинение порядка 0,02—0,03%. Для нарезки же резьбы в хрупких материалах (чугун, латунь) хорошо себя зарекомендовала вольфрамовая сталь с 2—3% W и 1,10—1,25% C; она очень однородна, и закалочная усадка ее почти не отличается от нелегированной стали (~ 0,2%). Для нарезки резьбы в стали очень хороша ванадиевая сталь с 0,25—1,0% V; ее недостатком является непостоянство закалочной усадки, которая варьирует между ± 0,2%. Для машинных М. часто применяют быстрорежущие стали, из к-рых для этой цели особенно подходящи хромо-вольфрамовая с содержанием 18% W, 3,85% Cr, 0,8—1,0% V, 0,65—0,78% C. Т. к. однако высокая температурная устойчивость этой стали лишь редко м. б. полностью использована в М., то для последних достаточно применение быстрорежущей стали с меньшим содержанием вольфрама; так напр., употребительна сталь состава: 4,8—5% W, 0,7—1,0% Cr, 0,9—0,95% C, 0,25—0,30% Mn, 0,10—0,20% Si, ≤ 0,015% P, ≤ 0,015% S.



Фиг. 20.

Производство М. распадается на следующие операции: производство заготовки, нарезка резьбы, фрезеровка квадрата, фрезеровка канавок, образование заборного конуса и снятие затылков, маркировка, закалка, шлифовка, полировка и контроль. Получаемый обычно в прокатанном в круглые прутки и отожженном виде материал отрезается на круговой пиле или механич. ножовке; при этом необходимо проводить прорез насквозь, а не отламывать надрезанных пилою стержней. После отрезки заготовки подвергают отжигу при соответствующей составу стали $t°$. При изготовлении М. одиночным порядком заготовку берут большего размера, чем внешний диам. готового М., а именно: на 1,5—2 *мм* для $d_a < 6$ *мм*, 2,5—3 *мм* для $d_a = 6 \div 40$ *мм* и 4—6 *мм* для $d_a > 40$ *мм*; делается это для того, чтобы при обработке наверняка снять обезуглероженный внешний слой металла. При массовой фабрикации М. рыночного качества этим б. ч. пренебрегают и заготовку для М. до $1^1/_4$ дм., или 32 *мм*, вытачивают на автоматах (фиг. 20, А) прямо из холоднокатаного пруткового материала, диам. $d_a + (0{,}1 \div 0{,}15)$ *мм*; для М. большего размера ее изготовляют тем же способом, только вместо холоднокатаных прутков точного размера берут черный прутковый материал с припуском в 0,8—1,0 *мм*. Конич. М. вытачиваются также из прутков на автоматах, снабженных фасонным резцом или направляющей линейкой (фиг. 20, Б) для обточки конусной части М. Перед нарезанием резьбы заготовки обычно отжигают; наилучшим способом является нагревание в чугунных ящиках, наполненных чугунными опилками и закрытых чугунными же крышками; $t°$ и продолжительность отжига зависят от сорта стали,— обычно ящики держат около 10 ч. при надлежащей $t°$ и оставляют остыть вместе с печью. Заготовки, выходящие с автомата, или совершенно не имеют центровых отверстий или имеют его только с одной стороны; следующей операцией является поэтому сверление центрового отверстия на центровочном станке, после предварительного шлифовывания выступа, остающегося на конце заготовки после отрезки. Величина центрового отверстия имеет весьма существенное значение для последующих операций: употребительные размеры центровых отверстий приведены в табл. 5 (см. фиг. 21).

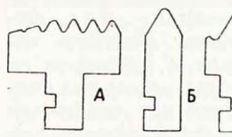


Фиг. 21.

Табл. 5.—Употребительные размеры центровых отверстий.

Нормальная резьба				Газовая резьба		
Диам. метчика		d мм	D мм	Номин. диам М., дм.	d мм	D мм
дм.	мм					
$^1/_4$—$^{11}/_{32}$	6—9	1,6	2,5	$^1/_8$	1,6	3,0
$^9/_{32}$—$^{15}/_{32}$	9,1—12	1,6	3,0	$^1/_4$	2,0	3,3
$^1/_2$	12,1—13,5	2,0	3,5	$^3/_8$	2,0	4,0
$^9/_{16}$	13,6—15	2,0	3,8	$^1/_2$	2,0	4,3
$^5/_8$—$^{11}/_{16}$	15,1—18	2,0	4,0	$^5/_8$	2,0	4,8
$^3/_4$—$^{13}/_{16}$	18,1—21	2,0	4,3	$^3/_4$—$^7/_8$	2,0	5,0
$^7/_8$—$^{15}/_{16}$	21,1—24	2,0	4,8	1	2,5	5,3
1—$1^1/_8$	24,1—28	2,0	5,0	$1^1/_8$	2,5	5,6
$1^1/_4$—$1^3/_8$	28,1—36	2,5	5,3	$1^1/_4$	2,5	6,1
$1^1/_2$	36,1—39	2,5	5,6	$1^3/_8$	2,5	6,6
$1^5/_8$	39,1—43	2,5	6,0	$1^1/_2$	2,5	7,1
$1^3/_4$	43,1—46	2,5	6,6	$1^5/_8$—$2^1/_8$	3,2	7,4
$1^7/_{16}$	46,1—50	2,5	7,0	$2^1/_4$—$2^5/_8$	4,0	9,0
2—$2^1/_2$	50,1—65	3,2	7,5	$2^3/_4$—3	4,0	9,6
$2^3/_4$—3	65,1—75	4,0	9,0	$3^1/_4$—$3^1/_2$	4,0	10,4
$3^1/_4$—$3^1/_2$	75,1—90	4,0	9,7	$3^3/_4$—4	4,8	10,8
$3^3/_4$—4	90,1—103	4,0	10,5			

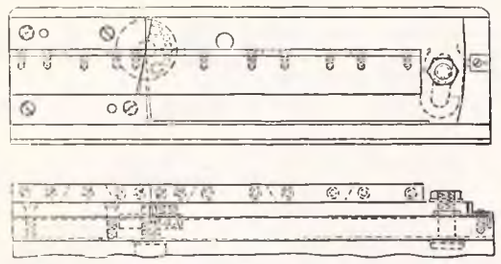
Форма заготовки для М., диам. больше $^3/_8$ дм. или 10 *мм*, показана на фиг. 21, А; заготовки, диам. меньше $^3/_8$ дм., или 10 *мм* и до $^1/_8$ дм., или 3,2 *мм*, снабжают центровочным отверстием только со стороны шейки, другую же сторону затачивают на конус (фиг. 21, Б); М., диам. меньше $^1/_8$ дм., или 3,2 *мм* (фиг. 21, В), снабжают с обоих концов конусами (центрами).



Фиг. 22.

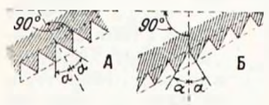
Весьма ответственной является следующая затем операция нарезания резьбы М. Она производится двумя различными способами: на токарных станках или винторезными головками. Первый способ дает более точные М., но значительно дороже второго. Относительно способов нарезания резьбы шага, слегка отличающегося от нормального, было уже сказано выше. При нарезании резьбы М. на токарных станках с выгодой применя-

ют тангенциальные *резцы* (см.), причем для предварительной обточки пригодны многозубцовые резцы профиля, изображенного на фиг. 22, А; для окончательной чистовой обточки однако следует пользоваться лишь однозубыми резцами в виду их большей точности: по профилю фиг. 22, Б—для нарезок, не имеющих закругления в углублении гаечной нитки, и по фиг. 22, В—для



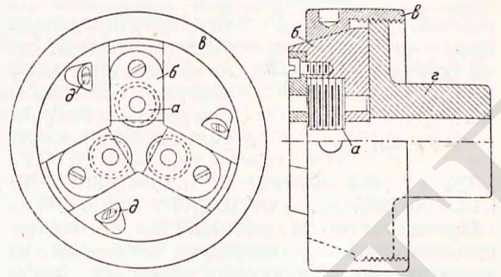
Фиг. 23.

нарезок с закруглением. Рекомендуется для последней стружки применять резцы из стеллита в виду его малой изнашиваемости. В качестве охлаждающей жидкости для черновых пассов можно брать прозрачную масляную эмульсию (так наз. «растворимые масла»), а для чистовой обработки обязательна подача сильной струи хорошего животного или растительного масла (олео-маргарин, спермацетовое или сурепное масло). Нарезку резьбы винторезными головками производят на горизонтальных (для малых метчиков—до ~ 10 *мм*) винторезных станках или на специальных вертикальных станках типа сверлильного с уравновешенным пружиной или грузами шпинделем и небольшим круглым столом, к к-рому прикрепляется неподвижная винторезная головка. Последняя отличается от головок, применяемых в болторезном деле, большей простотой и жесткостью конструкции: она не имеет устройства для открывания, и резцы (тангенциальные, со шлифованной фасонной поверхностью) типа Ландис устанавливаются каждый порознь при посредстве винтов с мелкой нарезкой. После прохода через головку нарезанный М. падает вниз, что возможно конечно лишь у М., начиная с $d_0 > (8 \div 10)$ *мм*, т. к. у более тонких М. шейка толще внутреннего диам. нарезки. Поэтому малые М. нарезают на горизонтальных винторезных станочках с нормальными раскрывающимися головками большой точности. Резцы отличаются от нормальных лишь длиной конической режущей части, к-рая больше нормальной. В зависимости от размера М. пропускают через головки последовательно уменьшающегося диам. 2 или 3 раза, за исключением анкерных М., к-рые пропускают лишь 1 раз при уменьшенной скорости. Во время работы необходимо обильное подведение охлаждающей жидкости упомянутого выше типа. Этот способ отличается значительной производительностью; так напр., М. $^7/_8$ дм. с длиной нарезанной части в 120 *мм* нарезается



Фиг. 24.

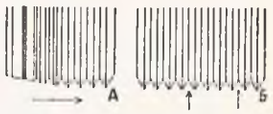
начисто в 3 прохода в течение трех минут; анкерный М. с длиной нарезной части ок. 600 *мм*—в 5 мин. Для нарезания конич. М. на токарных станках пользуются *копировальными станками* (см.); на этих же станках нарезают цилиндрич. М. с конич. передней частью нарезки. В этом последнем случае шаблон делают состоящим из двух прямолинейных линеек, поставленных под требуемым углом; хорошая конструкция переставного шаблона изображена на фиг. 23; устройство его понятно из чертежа; обязательным условием является совпадение оси поворотной цапфы с ребром угла, образуемого линейками. Напомним, что в витвортовской конич. нарезке, резец устанавливается перпендикулярно образующей конуса (фиг. 24, А), в прочих нарезках — перпендикулярно оси М. (Б). В последнее время для нарезания резьбы на М. начали с успехом применять винторезные *фрезеровальные станки* (см.), в к-рых для менее точных работ применяют многониточные фрезера, а для более точных—дисковые с одной ниткой. Для производства особо точных М. однако фрезерование неприменимо в виду неточности, свойственной самому способу (фрезер является режущим телом вращения, а не



Фиг. 25.

режущей плоскостью, как резец, а поэтому при наклоне к оси М. неравном 90° режет не в одной лишь плоскости, проходящей через ось М. и центр фрезера, а и в соседних участках готовой уже нарезки, меняя т. о. ее профиль). Фрезерование нарезки применяется с успехом для конич. М., к-рые в этом случае снабжаются канавками до нарезания резьбы. Фрезер применяют цилиндрический многониточный, длиной равный длине нарезанной части М.; операция нарезания требует лишь два полных оборота М.—один для черновой и один для чистовой фрезеровки; одновременно снимаются затылки зубцов путем перемещения оси фрезера или самого М. Для мелких М., у к-рых невозможна отделка нарезки шлифованием, и для крупных М., у к-рых зубцы не снабжены задней заточкой, в США применяют в последнее время уплотнение поверхности наклепом при помощи прокатывания нарезки особыми уплотнителями (фиг. 25); рабочей частью являются ролики из особо твердой стали a, a, снабженные рядом канавок, профиль к-рых в точности соответствует профилю нарезки; оси роликов наклонены под углом подъема нарезки М. к оси прибора, а расположение канавок на отдельных роликах сдвинуто на $^1/_3$ хода винта (при трех роликах); кроме того ролики имеют, для возможности самоустанавливания, небольшую игру вдоль по оси. Ролики укреплены в кулачках *б*, помещающихся в вырезах тела головки *г* и устанавливаемых при помощи конического нарезанного кольца *в*; раз установленные кулачки удерживаются стопорными винтами *д*. Нарезанный с небольшим припуском М. пропускают 1 или 2 раза через вращающуюся головку, причем поверхностный слой его уплотняется и одновременно полируется и приобретает правильную форму. В америк. технич. литературе имеются указания, что такие уплотненные М. нарезают до пяти раз большее число отверстий, прежде чем притти в негодность, по сравнению с обычными. В последнее время начинает входить в употребление нарезание резьбы на снабженных уже канавками и закаленных заготовках при помощи шлифования. Способ этот в особенности ценен: 1) для нарезания резьбы М. меньше $^3/_4$ дм., или 18 *мм*, диам., у к-рых нарезание на токарном станке продолжается дольше, чем шлифование из целого; 2) для М. из быстрорежущей стали, у к-рых в виду высокой $t°$ закалки пережигаются гребни нарезок, 3) у очень длинных (анкерных) М., закалочная усадка которых может оказаться настолько значительной, что нарезка не сможет быть выправлена никакой последующей обработкой. Рабочим инструментом специальных резьбовых шлифовальных станков служит профилированный многоканавочный наждачный диск, имеющий, смотря по способу работы, профиль по фиг. 26, А (при продольной подаче для длинных М. и крупной нарезки) или по фиг. 26, Б (при поперечной подаче). При втором способе работы нарезка вышлифовывается из целого за один поворот М.; продолжительность всей операции составляет 1,3—2 мин., для М. диам. $^1/_4$—$^3/_4$ дм. Способ этот применим для всяких треугольных нарезок (с округленными или срезанными по прямой гребнями и углублениями) с шагом, лежащим в пределах 28—8 ниток на 1 дм. для витвортовской резьбы и 1.25—3 *мм* для метрич. нарезки. Главная трудность заключается понятно в профилировании наждачного диска. Профилирование производится по методу выдавливания или выкрашивания зерен абразионного материала при посредстве вращающегося профилирующего ролика, нажимаемого на шлифовальный круг. Профилирование нового круга продолжается 5—10 мин., правка утерявшего правильный профиль (производящаяся тем же способом)—3—4 мин. Число М., к-рые можно снабдить нарезкой прежде чем колесо потребует правки, колеблется, в зависимости от шага и качества круга, в пределах 10—80 шт. Профилирующие ролики доставляются всегда парами: после того как один из них станет неточным (что случается после шлифования 500—1 500 шт. метчиков), правят диск запасным роликом и тем же диском шлифуют испортившийся ролик.

После нарезания резьбы у М. фрезеруют квадраты на концах шеек. Эта операция совершается при помощи набора дисковых фрезеров, обрабатывающих одновременно обе противолежащие плоскости у целого ряда М.; последние зажимают в многократное поворотное *приспособление* (см.), позволяющее, не вынимая их по окончании одного прохода, повернуть все М. на 90° и отфрезеровать другие две стороны квадрата. При производстве машинных М. однако предпочитают фрезеровать только одну сторону квадрата за один проход, ставя М. на центры и поворачивая его каждый раз на 90°, т. к.



Фиг. 26.

при первом способе трудно достигнуть центрального положения квадрата относительно оси М. Иногда операция фрезеровки квадрата предшествует нарезанию резьбы.

После обработки квадрата М. поступают на фрезеровальный станок для выборки канавок. При одиночном производстве пользуются обыкновенным или универсальным *фрезеровальным станком* (см.) с делительной головкой (см. *Делительные аппараты*); при массовом же производстве выгоднее пользоваться автоматическими фрезеровальными станками с многократными автоматическими же делительными головками. Форма фрезера д. б. точной, а установка его относительно оси—особо тщательной, в виду влияния, оказываемого формой канавки на качества М. Для возможности точной установки фрезера по высоте в табл. 6 приведены значения b глубины канавки, считая по направлению плоскости вращения фрезера от высшей точки наружного диаметра М. и до низшей точки профиля фрезера. Для возможности правильной боковой установки фрезеров, в последних всегда д. б. известно отстояние от одной из боковых плоскостей фрезера центральной плоскости, под к-рой мы всегда подразумеваем плоскость, параллельную плоскости вращения и проходящую через центр окружности нижнего закругления, т. е. центр кривизны наиболее удаленной от оси фрезера точки его профиля. Формы профилей сечения фрезеров, с указанием всех элементов в зависимости от диаметра нарезки М. и размеров b и e, необходимых для его правильной ориентации, приведены в табл. 6.

Получающийся после фрезерования канавок на гребнях М. грат удаляют, пропуская М. через калибровочную лерку с тупыми углами у вершин канавок (чтобы не портили готовой нарезки).

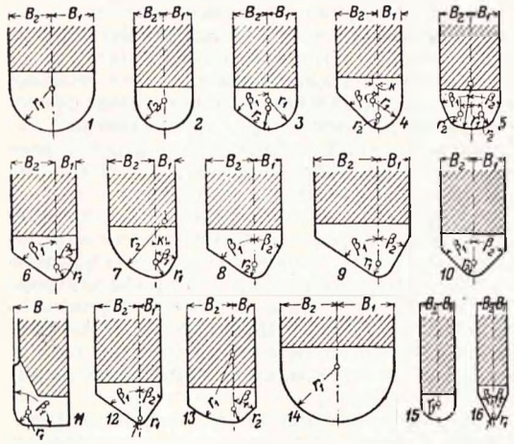
Следующей операцией является снятие затылков зубцов заборного конуса, что обычно производится путем фрезерования конусным фрезером соответственной конусности, причем необходимый угол задней заточки достигается либо вращением М. при фрезеровании одного поля, вокруг оси, не совпадающей с осью самого М., либо путем приближения бабки с зажатым в центрах М. к фрезеру при помощи особого кулачкового механизма, аналогично применяемому в *затылочных станках* (см.). На этом механич. обработка обыкновенных рыночных М. заканчивается. М., снабженные задней заточкой на всей длине или лишь на заборном конусе, поступают после фрезеровки заборного конуса на затылочный станок, где и

Табл. 6.—Форма сечения фрезеров и установочные данные (фиг. 27 и 28).

Форма канавок (см. фиг. 19)	Тип фрезера	β_1	β_2	r_1	r_2	B_1	B_2	B_1+B_2	b	e	k
а	1	—	—	0,375	—	0,375	0,375	0,75	0,3125	—	—
б	2	—	—	0,250	—	0,250	0,250	0,50	0,250	—	—
в	1	—	—	0,375	—	0,375	0,375	0,75	0,327	—	—
г	2	—	—	0,250	—	0,250	0,250	0,50	0,278	—	—
д	3	35°0′	—	0,250	0,181	0,250	0,300	0,55	0,278	—	—
е	4	45°0′	—	0,125	0,125	0,190	0,360	0,55	0,280	0,185	0,06
жс	5	25°0′	25°0′	0,400	0,123	0,275	0,275	0,55	0,250	—	0,0917
з	6	56°0′	30°0′	0,125	—	0,180	0,380	0,56	0,245	0,125	—
и	7	30°0′	—	0,150	0,500	0,180	0,400	0,58	0,263	0,101	0,093
*к**1	8	55°0′	30°0′	0,125	—	0,250	0,400	0,65	0,254	0,208	—
*к**2	8	55°0′	30°0′	0,125	—	0,250	0,400	0,65	0,260	0,157	—
л	9	55°0′	30°0′	0,125	—	0,300	0,550	0,85	0,370	0,247	—
м	10	45°0′	45°0′	0,125	—	0,275	0,275	0,55	0,290	—	—
	11	90°0′	—	0,125	—	0,240	0,240	0,48	0,375	0,365	0,115
н	12	30°0′	60°0′	0,080	—	0,200	0,380	0,58	0,246	0,101	—
о	13	49°0′	—	0,600	0,125	0,200	0,460	0,600	0,180	0,125	—
п	14	—	—	0,500	—	0,500	0,500	1,000	0,500	—	—
р	15	—	—	0,150	—	0,150	0,150	0,300	0,300	0,150	—
с	6	56°0′	30°0′	0,125	—	0,180	0,380	0,56	0,242	0,0152	—
*т**3	16	25°0′	25°0′	0,8—1,0 *мм*	—	—	—	8—15 *мм*	8,2—12 *мм*	—	—

*1 Первый вариант (см. табл. 3). *2 Второй вариант (см. табл. 3). *3 Глубина фрезерования берется 8.2—12 *мм*, число канавок выбирается с таким расчетом, чтобы ширина гребенок получалась равной ~4,5÷6 *мм*.

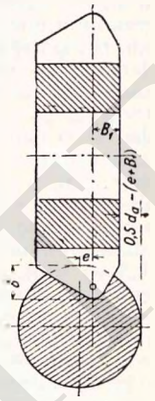
происходит снятие затылков зубцов. В том случае, если М. после калки не шлифуются, эта операция является отделочной, и поэтому для нее применяют наиболее точные стан-



Фиг. 27.

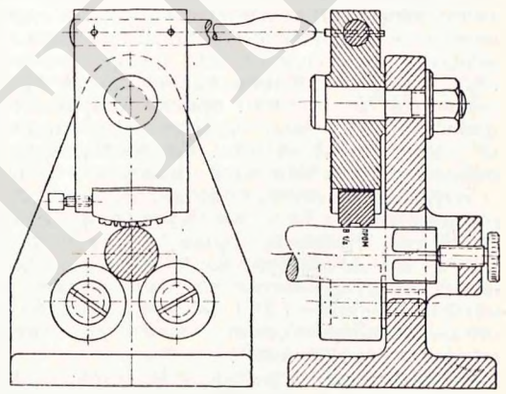
ки и аккуратно изготовленные инструменты. Весьма полезно бывает снимать на затылочном станке последнюю чистовую стружку не только с части М., снабженной задней заточкой, но и с цилиндрич. части его, выключив конечно затылочное движение резца; таким образом вся нарезка М. будет пройдена одним резцом за один проход, так что небольшие неточности в установке резца на затылочном станке не отзовутся на форме нарезки.

По окончании всей механич. обработки, предшествующей закалке, М. клеймятся в специальных приспособлениях, аналогичных изображенному на фиг. 29, действие к-рого ясно из чертежа; установка по диам. шейки производится сменой роликов и подкладкой тонких листов латуни под штамп. При массовом производстве применяют маркировальную машину, изображенную на фиг. 30; штамп *а* с вырезанной надписью зажат в ползуне *б*, перемещаемом при помощи шестерни и зубчатой рейки рукояткой *в*; длина хода устанавливается винтом *г*. Подставка *д* (стальная плоская плита) прикрепляется к подъемному столу *е*; подъем производится педалью *жс*, высота его устанавливается винтовым шпинделем *з* и ограничивается упоркой *к*. Маркируемый М. *л* кладется на подставку *д*, прижимается к штампу и последний рукояткой *в* прокатывается по М., отпечатывая на нем требуемую маркировку.



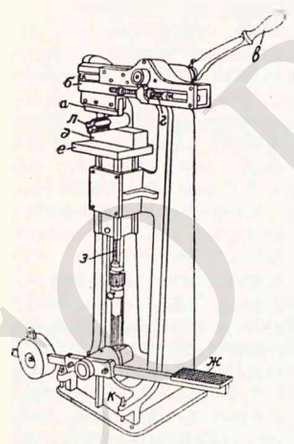
Фиг. 28.

Закалка М., в виду сложности формы и затруднительности последующей правки



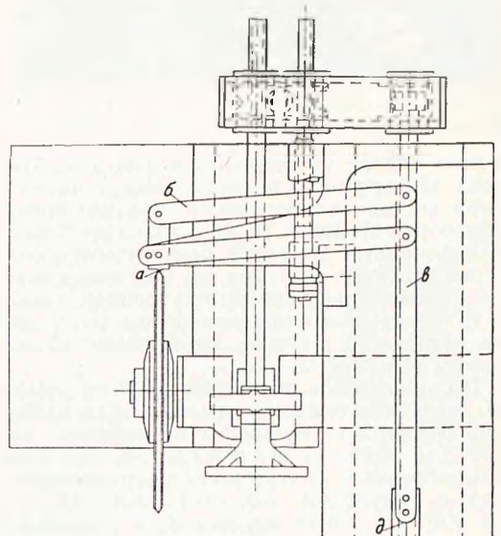
Фиг. 29.

их, должна производиться с особой тщательностью. Из печей для нагревания М. пригодны угольные и коксовые муфельные печи, газовые и нефтяные безмуфельные (поверхностное окисление устраняется установкой количества горючего в смеси, обеспечивающего восстановительное пламя) электрич. печи (удобны, но дороги в эксплоатации), и весьма удобны и экономичны печи со свинцовой или соляной ванной; первая применима лишь для закалки углеродистых сталей, вторая—также и для быстрорежущих. Ванны из хлористого бария и смеси его с KCl и NaCl мало пригодны для нагревания метчика в виду образования тонкого слоя обезуглероженного металла; при последующей шлифовке однако это особого значения не имеет. При нагревании в свинцовой ванне необходимо предварительное покрытие М. слоем, защищающим его от прилипания свинца, так как капли последнего при закалке затрудняют отвод тепла, вследствие чего соответственные участки М. остаются слабо закаленными и увеличивается опасность перекоса всего М. Темп-ра нагрева должна соответствовать сорту стали и проверяться пирометром (см. *Термическая обработка* стали). Закалку М. из углеродистой и низколегированной стали производят в воде, имеющей *t*° 18—20°, покрытой слоем масла. Опускают М. в охлаждающую жидкость вертикально нарезанным концом вниз, причем погружают лишь последний и двигают М. горизонтальными кругообразными движениями; после того как метчик потемнеет, его кладут в масляную ванну, где он и охлаждается окончательно. Вслед за закалкой следует отпуск М., к-рый производится в песчаной или масляной бане. Особо длинные М. после закалки отпускают нагревая их в масле до температуры 240° и затем выпрямляют под ручным прессом. Квадрат отжигают, погружая его в ванну из расплавленного свинца.



Фиг. 30.

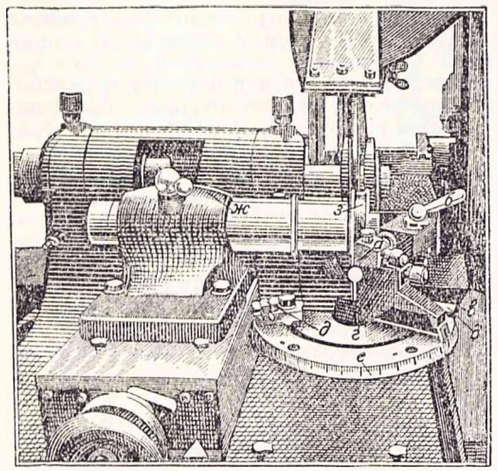
После закалки точные М. подвергают шлифовке по профилю нарезки. Операция эта совершается на специальных *шлифовальных станках* (см.), причем главным отличием их является аппарат для выверки и поддержания правильного профиля шлифовального круга. Обточка круга совершается алмазом; механизм, который перемещает этот алмаз, строится: 1) по принципу пантографа (фиг. 31), причем державка с алмазом *а* прикрепляется к короткому плечу пантографа *б*, длинное плечо к-рого *в* скользит по шаблону *г*, изображающему в соответственно увеличенном (в 20—25 раз) масштабе профиль нарезки; насадка *д* представляет увеличенную в том же масштабе форму алмазного острия; 2) обычного типа со сложным движением алмаза по двум прямым и одной круговой линии (фиг. 32). Державка с алмазом укреплена в ползуне *а*, который может перемещаться в стойке *г* при посредстве рейки и шестеренки, приводимой в движение рукояткой *б*; этот алмаз служит для обточки боковых поверхностей круга при соответственных положениях стойки *г*; угол поворота последней ограничен упорами *дд*, устанавливаемыми на разделенном на градусы круге *е* (точность установки ± 10′), закругление обтачивается при повороте стойки другим алмазом, укрепленным в державке *в*. Практика показала, что закругления у краев наждачного круга для шлифовки верхних гребней нарезки, как это показано на шаблоне фиг. 31, плохо держатся и скоро выкрашиваются, поэтому в шлифовальном станке описывае-



Фиг. 31.

мой конструкции вершины зубцов шлифуются особым кругом, снабженным желобком. Придание формы и правка этого желобка производятся при посредстве особого ролика *з* из твердого сплава, снабженного двумя соответственно сформированными кольцевыми выступами и укрепленного на прочном шпинделе в особой бабке *жс*. Обточка производится простым нажатием этого ролика на круг; после того как один выступ ролика потеряет правильную форму, ролик передвигают, обтачивают канавку другим правильным выступом, после чего подводят первый выступ и, приведя ролик в медленное вращение, обтачивают его до получения правильной формы. Обточку наждачного колеса необходимо производить через каждые 20 — 30 вышлифованных метчиков средней величины. Для шлифования метчиков с зубцами, снабженными задней заточкой, бабка, несущая метчик, может несколько придви-

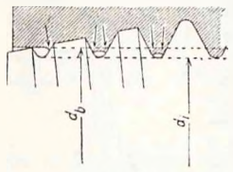
гаться к диску и отходить от него при проходе диска мимо канавки; для ускорения работы угловая скорость вращения метчика



Фиг. 32.

в этот момент увеличивается в 15 раз. Подача М., круговая и продольная, совершаются вполне автоматически, так что время обработки М. диам. 16 *мм* составляет 3 мин. Шлифованные М. могут быть изготовлены с допусками ± 0,01 *мм* на среднем диам., ±0,02 *мм* на наружном и внутреннем диам., ± 10′ угла профиля нарезки и ± 0,005 *мм* на неточность шага на протяжении 25 *мм* длины нарезки М.

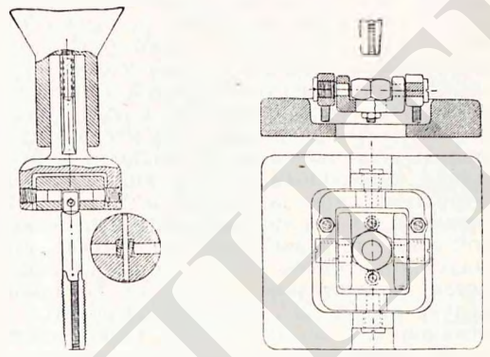
По окончании обработки рабочей части М. подвергаются ряду операций для удаления окалины и улучшения их внешнего вида. Для этого: 1) шлифуют шейку на обыкновенных кругло-шлифовальных станках с допусками +0, −0,12 *мм* для $d_a <$ 25 *мм*; +0, −0,18 *мм* для $d_a = 25 \div 50$ *мм* и +0, −0,23 *мм* для $d_a > 50$ *мм*; 2) полируют канавки при помощи резинового круга соответствующего профиля, смазываемого для начальной полировки маслом с мелким наждаком, а для тонкой — трепелом или крокусом; 3) полируют торцовые поверхности М. на плоско-шлифовальных ручных станках с дисками или лентами из наждачного полотна; 4) очищают вращающимися медными щетками всю грязь, приставшую к М., и наконец смазывают его маслом, погружая М., в него, после чего последнее оставляют стечь или отцентрифуговывают избыток его. У М. с нешлифованной нарезкой иногда полируют последнюю, помещая М. между центрами, медленно вращая его и протирая в то же время нарезку вручную смазанным тонким наждачным порошком полировальщиком соответственного профиля из мягкого железа.



Фиг. 33.

Работа М. Для работы М. необходимо наличие предварительно просверленного отверстия; диам. последнего сильно влияет на потребляемую М. для нарезания, мощность и качество полученной резьбы. Для получения правильной, полной нарезки без рваных гребней витков и без излишнего расхода энергии диам. отверстия д. б. несколько меньше, чем внутренний диам. нарезки в виду того, что М., врезаясь в пластичный материал, вытесняет часть металла по бокам нарезки в виде грата (фиг. 33, направление течения металла изображено стрелками). Насколько сильно перенапрягается материал М. при недостаточном диам. отверстия под нарезку, видно из следующего примера: крутящий момент, разрушающий обыкновенный 1/2-дюймовый М., равен ~ 8 *кгм*; рабочий момент при нарезании резьбы в отверстии, имевшем внутренний диаметр $d_a - 1{,}5t$, $d_a - 1{,}8t$ и $d_a - 2{,}0t$, был соответственно равен 2,3 *кгм*, 4,2 *кгм* и 6,6 *кгм*. С другой стороны значительная точность внутреннего диаметра нарезки излишня, т. к. не приносит существенных выгод в винтах скрепления. Америк. опыты показали, что 0,5 нормальной глубины нарезки в гайке высотой d_a вполне достаточно и что в этих условиях болт никогда не срывает нарезки, а рвется сам; нарезка с 0,75 глубины лишь на 20% прочнее предыдущей и обладает практически одинаковой прочностью с нарезкой, имеющей полную глубину. Диаметры отверстий d_b под нарезку наружного диаметра d_a приведены в табл. 7.

Указанные в табл. 7 диам. отверстий под нарезку рассчитаны на средневязкий материал (литая мягкая сталь, бронза); для очень вязких, как медь, очень мягкое сварочное железо, диам. м. б. увеличены на $0{,}1 \div 0{,}15\,t$, для хрупких (чугун, латунь) немного уменьшены. Также можно немного уменьшить диаметр при ручной нарезке. Однако, как было уже сказано, действительной выгоды уменьшение диам. не дает. При нарезании в машине необходимо следить за тем, чтобы М. не бил, чтобы ось М. и нарезаемого отверстия лежали на одной прямой и чтобы М. или нарезаемый предмет имели нек-рую свободу для возможности самоустановки. Подкладка для нарезаемых гаек и державка для М., выполняющие это требование, изображены на фиг. 34; в состав обеих входит шарнир Гука, дающий им желаемую степень свободы.

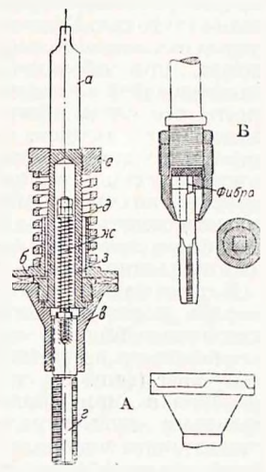


Фиг. 34.

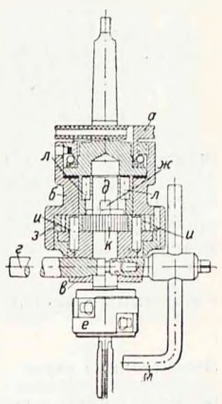
Табл. 7.—Диаметры отверстий под нарезку.

Витвортовская нарезка				Метрич. нарезка				Америк. стандартная нарезка Селлерса				Газовая нарезка Витворта		Газовая нарезка Бриггса	
d_a дм.	d_b мм	d_a дм.	d_b мм	d_a мм	d_b мм	d_a мм	d_b мм	d_a дм.	d_b мм	d_a дм.	d_b мм	d_a дм.	d_b мм	d_a дм.	d_b мм
1/16	1,15	11/16	15,0	1	0,8	11	9,4	1/4	5,2	1 1/8	25,0	1/8	7,9	1/8	8,3
3/32	1,85	3/4	16,4	1,2	1,0	12	10,0	5/16	6,35	1 3/16	26,6	1/4	10,7	1/4	11,5
1/8	2,6	13/16	18,0	1,4	1,15	14	11,7	3/8	7,9	1 1/4	28,2	3/8	14,3	3/8	15,1
5/32	3,2	7/8	19,3	1,7	1,35	16	13,7	7/16	9,1	1 5/16	29,8	1/2	17,5	1/2	18,3
3/16	3,7	1	22,0	2	1,6	18	15,1	1/2	10,7	1 3/8	31,0	5/8	19,8	5/8	23,8
7/32	4,5	1 1/8	24,7	2,3	1,9	20	17,1	9/16	11,9	1 1/2	34,1	3/4	23,0	1	30,2
1/4	5,0	1 1/4	28,0	2,6	2,15	22	19,1	5/8	13,5	1 5/8	36,5	7/8	27,0	1 1/4	37,3
5/16	6,5	1 3/8	30,5	3	2,5	24	20,5	11/16	15,1	1 3/4	39,3	1	28,6	1 1/2	43,7
3/8	7,9	1 1/2	33,5	3,5	2,9	27	23,5	3/4	16,3	1 7/8	42,5	1 1/4	37,3	2	55,6
7/16	9,2	1 5/8	36,0	4	3,3	30	26,0	13/16	17,9	2	45,2	1 1/2	45,2	2 1/2	68,3
1/2	10,5	1 3/4	39,0	4,5	3,7	33	29,0	7/8	19,4	2 1/4	51,6	1 3/4	49,2	3	84,1
9/16	12,0	1 7/8	41,5	5	4,2	36	31,5	15/16	21,0	2 1/2	57,2	2	54,8	3 1/2	96,8
5/8	13,5	2	45,0	5,5	4,5	39	34,5	1	22,2	2 3/4	63,5	2 1/4	61,1	4	106,4
				6	5,0	42	37,0	1 1/16	23,8			2 1/2	70,6	4 1/2	119,1
				7	6,0	45	40,0					2 3/4	77,0	5	133,3
				8	6,7	48	42,0					3	83,3	6	160,3
				9	7,7	52	46,0					3 1/4	88,0		
				10	8,4							3 1/2	95,2		

Для того чтобы избежать частых поломок М. при машинной нарезке, вследствие их перенапряжения, и дать возможность М. совершать требуемую осевую подачу независимо от правильности подачи шпинделя сверлильной машины, применяют различные фрикционные муфты; наиболее распространенный тип изображен на фиг. 35, А. Приспособление состоит из вставляемого в гнездо шпинделя сверлильного станка, конуса *а*, соединенного на скользящей шпонке с верхней половиной кулачковой муфты *б*, и детали *в*, несущей метчик *г* и соединенной с нижней половиной той же муфты *б*; верхняя половина муфты прижимается к нижней пружиной *д*, натяжение к-рой регулируется гайкой *е*. М. удерживается в своем гнезде от вращения скользящей шпонкой, а от выпадения—ввернутой в его головку тягой *жс*, поддерживаемой пружиной *з*. Когда метчик забрал нарезку, он продолжает при вращении двигаться поступательно, независимо от подачи шпинделя, скользя в гнезде детали *в*; если крутящий момент превышает допустимый для М. данного диаметра, то муфта начинает проскакивать и М. останавливается. На фиг. 35, Б показан разрез фрикционной муфты более простой конструкции. Для массового нарезания глухих отверстий применяются реверсивные муфты, которые при неизменном направлении вращения шпинделя сверлильного станка по достижении М. определенной глубины изменяют направление его вращения на обратное и вывертывают его т. о. из отверстия. Одна из конструкций реверсивной муфты приведена на фиг. 36; верхняя часть представляет собой фрикционную муфту, регулируемую винтом *а*; таким образом являющийся нижней половиной фрикционной муфты кожух *б* непрерывно вращается вместе со шпинделем сверлильного станка. Нижняя часть *в* муфты удерживается от вращения стержнем *г*, который опирается на станину станка; в муфте свободно ходит шпиндель *д* патрона *е*, имеющий в верхней части выступ *жс*. В муфте *б* укреплена зубчатка *з* с внутренним зацеплением, сцепляющаяся с двумя планетарными шестеренками *и*, *и*, сидящими на осях, укрепленных в неподвижной части муфты *в*; таким обр. шестеренки вращают с увеличенной приблизительно вдвое скоростью зубчатое колесо *к*, снабженное кулачками и свободно надетое на шпиндель *д* патрона. Пока всю муфту подают вниз, она находит на шпиндель *д* и, захватывая его выступ *жс* шпонками *л*, приводит М. во вращение в рабочем направлении; как только однако упорка *м* дойдет до поверхности нарезаемого предмета, муфта *б* должна будет остановиться в своем поступательном движении, а т. к. М. продолжает вращаться и следовательно двигается попрежнему вперед, то он, увлекая за собой патрон со шпинделем *д*, выведет последний из зацепления с муфтой *б*, вследствие чего метчик остановится. Если теперь начать поднимать муфту *б* (вместе со шпинделем сверлильного станка), то выступ *жс* будет захвачен вращающимся в обратную сторону колесом *к*, которое и начнет вывинчивать М. из отверстия.



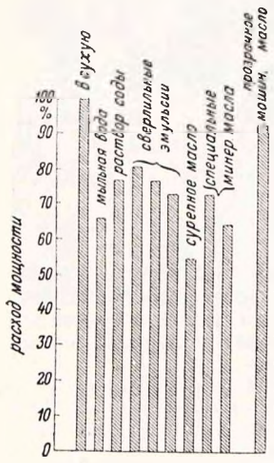
Фиг. 35.



Фиг. 36.

Важным фактором при нарезании резьбы М. является качество охлаждающей жидкости. Произведенные в Германии, Англии и США многочисленные опыты с несомнен-

ностью установили, что обычное машинное масло совершенно непригодно для охлаждения М. Сверлильные эмульсии (так наз. «растворимые сверлильные масла») хотя и лучше смазочного масла, но также не дают полного эффекта; наиболее подходящими являются жирные растительные и животные масла (например полученный из свиного сала олео-маргарин, спермацетовое масло, сурепное масло); применение смеси этих масел с обработанными особенным способом минеральными маслами (так. назыв. «искусственные лярдовые масла») дает различные результаты, в зависимости от ее состава. Диаграмма фиг. 37 показывает относительную мощность, затраченную на нарезание отверстия, в % от мощности при нарезании всухую. При этом необходимо принять во внимание, что при охлаждении жирными маслами и отчасти эмульсией не только понижается расход мощности, но и увеличивается срок службы М. и улучшается качество нарезки. Для нарезания М. резьбы в различных материалах могут быть рекомендованы следующие охлаждающие жидкости:



Фиг. 37.

Мягкая сталь, железо	Эмульсия, сурепное масло, литопон + сурепное масло, олеин
Инструментальн. сталь	Сурепное, спермацетовое масла, ворвань, вареное свиное сало, олеин, олео-маргарин
Легированные стали	Бензол, скипидар + керосин (5+1), олео-маргарин
Стальное литье, ковкий чугун	Эмульсия, литопон+сурепное масло
Чугун	Всухую, литопон+сурепное масло, керосин, графит с бычьим салом
Латунь, томпак	Всухую, при работе на автоматах—сурепное масло
Бронза	Всухую, сурепное масло
Медь	Всухую, сурепное масло, шерстный жир
Никель	Эмульсия
Нейзильбер	Всухую или эмульсия
Цинк	Эмульсия
Алюминий	Всухую, керосин, эмульсия
Дуралюмин	Сурепное масло
Электрон	Всухую или 4%-ный водный раствор фтористого натрия

Охлаждающая жидкость должна подаваться в нарезаемое отверстие сильной струей с таким расчетом, чтобы вымывать оттуда стружки. При машинной нарезке М. резьбы могут быть применяемы скорости резания, указанные в табл. 8.

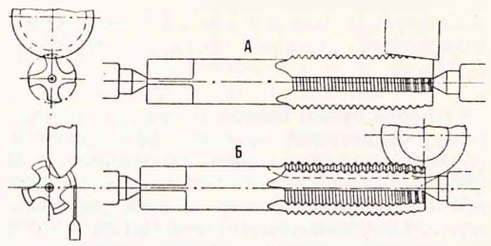
Фиг. 38.

М. начинает тупиться обычно в приемном конусе, причем сильнее всего тупится задняя половина последнего, как показано на

Табл. 8.—Скорость резания при машинной нарезке.

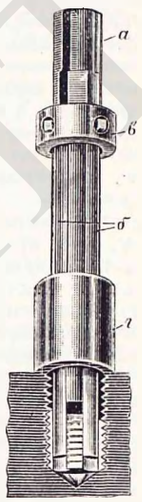
Материал	Для М. из инструм. стали в *м/мин*	Для М. из быстрорежущей стали в *м/мин*
Чугун, отверстия малого диам (≤12 *мм*)	6	10—12
Чугун, отверстия большого диам (>12 *мм*)	5	8—10
Сталь мягкая	4—4,5	12—15
» инструментальная	3	6—7,5
» легированная		4—5
Латунь, алюминий	12—15	20—25

фиг. 38 стрелками у А. Поэтому рекомендуемая иногда система точки М. по поверхности груди подобно фасонным фрезерам



Фиг. 39.

безусловно неправильна. Правильный способ точки изображен на фиг. 39, А: шлифовальный круг должен быть сточен на конус соответственного угла; М. ставят на центры бабки, снабженной делительным и затылочным приспособлениями; последнее условие совершенно необходимо, т. к. иначе М. не получит необходимой в конич. части задней заточки. После того как рядом последовательных проходов, при обильной подаче охлаждающей жидкости, будут сняты все следы притупления на заборном конусе, осматривают режущие кромки на последнем и лишь в том случае, если они не совсем остры, слегка затачивают грудь гребенок фасонным наждачным кругом, как показано на фиг. 39, Б.



Фиг. 40.

В заключение упомянем о весьма полезном инструменте для извлечения из отверстий сломавшихся в них М. Инструмент этот (фиг. 40) состоит из стержня *а* диам. равного внутреннему диаметру нарезки, снабженного четырьмя канавками, аналогичными таковым М.; по канавкам ходят четыре (для четырехканавочных М.) фасонных шпонки *б*, объединенных скользящим по стержню кольцом *в*; скользящее свободно по стержню кольцо *г* имеет целью удержать шпонки в канавке. Способ действия инструмента ясен из фиг. 40.

Лит.: Гузевич Д. Г., Метчик, Элементы, форма, конструкция, Л., 1927; его же, Как работать метчиком, Л., 1926; Туссен Е., Винторезный инструмент, пер. с нем., Л., 1928; Валентине А. Л., Метчики, пер. с англ., М.—Л., 1930; Семенченко

И., Метчики, М., 1926; Spanabhebende Werkzeuge für die Metallbearbeitung u. ihre Hilfseinrichtungen, Schriften d. Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure, B. 3, hrsg. v. J. Reindl, B., 1925; «DIN»-Taschenbücher, Werkzeuge, B., 1928, *6*; Technisches Hilfsbuch, hrsg. v. Schuchardt u. Schütte, 7 Aufl., B., 1928; De Leeuw A. L., Metall Cutting Tools, N. Y., 1922; Machinery's Encyclopedia, N. Y., vol. 1—7, N. Y., 1917—25; Machinery's Handbook, 7 ed., N. Y., 1928; Gottwein K. Kühlen u. Schmieren b. d. Metallbearbeitung, 2 Auflage, Berlin, 1928; Valentine A. L., Design a. Construction of Taps, «Machinery», L., 1927, v. 30, pp. 139, 240, 363, 489, 577, 705; Valentine A. L., Securing Best Results in Tapping, ibid., 1927—28, v. 31, pp. 537; Valentine A. L., Devices for Thread Measurements, ibid., 1927—28, v. 31, pp. 418, 476; Valentine A. L., Lubricants for Tapping, «Machinery», N. Y., 1927—28, v. 34, *6*, p. 418; The Lindner Thread a. Tap Grinding Machine, «Machinery», L., 1928, v. 32, p. 669; Étude sur la génération des filets à vis, «Machine moderne», P., 1927, v. 21, p. 417; Schleifen v. Schraubengewinden, «Z. d. VDI», 1929, B. 73, *37*, p. 1327; Screw Taps, «Machinery», L., 1928, v. 32, *843*; Kurrein M., Die Prüfung d. Gewindebohrer, «Werkstattstechnik», B., 1925, H. 17; Dierauer G., Über Konstruktion v. Gewidebohrer, ibid., 1919, H. 20, p. 305; Feigenspan H., Konstruktion v. Gewindebohrer, ibid., 1920, H. 4, p. 112; Berk, «Praktischer Maschinenkonstrukteur», Lpz., 1921, *25*.

Л. Павлушков.

МЕХАНИЗАЦИЯ ГОРНЫХ РАБОТ, применение машин и механических приспособлений для замены мускульного труда при производстве разного рода работ в горном деле. М. г. р. по сравнению с ручным трудом дает следующие преимущества: 1) возможность увеличения производительности предприятия без дополнительного развития подземных выработок; 2) облегчение условий труда и повышение его производительности; 3) сокращение рабочей силы и в связи с этим уменьшение расходов по ее содержанию; 4) уменьшение стоимости продукции благодаря возможности наиболее полно провести рационализацию процессов производства. Главные условия рациональной организации горных работ при механизации их следующие: 1) увязка всех производственных процессов т. о., чтобы темп одного из видов работ соответствовал темпу другого связанного с ним вида работ; при отсутствии этого условия, если одни виды работ будут механизированы полностью, а другие связанные с ними процессы работ будут вестись при помощи мускульной силы рабочих, то эффект такой механизации будет значительно понижен, так как машины не м. б. полностью использованы; 2) концентрация подземных работ на возможно меньшем числе участков; 3) все связанные один с другим процессы работ, как зарубка, отбойка, доставка ископаемого, крепление забоя и пр., должны производиться в одно и то же время, по крайней мере цикл всех работ д. б. уложен в одну смену. При соблюдении этих условий помимо лучшего использования машин достигается: а) сокращение числа пунктов добычи, что связано с уменьшением длины подготовительных выработок и расходов по их проведению и поддержанию; б) увеличение скорости подвигания очистки забоев, что влечет за собой понижение давления пород в очистных выработках и в связи с этим понижение расходов по креплению их и уменьшение опасности от обвалов; в) сокращение общего расстояния доставки ископаемого от очистных забоев до ствола шахты и сосредоточение грузов, что позволяет применить мощные транспортные средства (выгодные только при большой их производительности); г) улучшение вентиляции выработок благодаря меньшим потерям воздуха; д) сокращение персонала по надзору за работами. Наиболее рациональной в современных условиях признается такая организация производства, при которой работа ведется непрерывным потоком; при этом достигаются максимальное использование всего оборудования предприятия и наибольшая производительность труда. Однако такая организация работ в горном деле не м. б. осуществлена полностью в виду специфич. условий работы под землей и отсутствия достаточно совершенных машин, к-рые позволили бы полностью механизировать все виды подземных работ.

1. Проходка выработок. Работы по проходке выработок сводятся главн. обр. к бурению шпуров, уборке и доставке породы из забоя на поверхность. При бурении шпуров в породах средней и большой крепости наиболее целесообразным является применение пневматических бурильных молотков. Обычно применяются молотки весом от 10 до 25 *кг*. При бурении вертикальных, направленных вниз. шпуров более выгодны тяжелые буровые молотки, т. к.

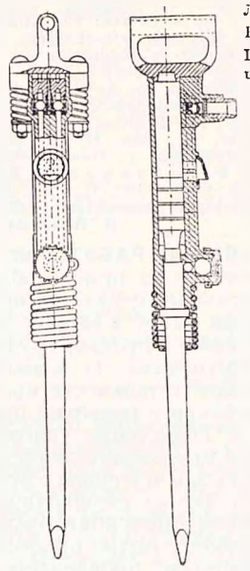
Фиг. 1.

Фиг. 2.

увеличение веса молотка повышает производительность его. При бурении горизонтально расположенных или наклонных шпуров, в случае применения тяжелых буровых молотков (свыше 15—16 *кг*), их приходится устанавливать на подставках (фиг. 1), укрепляемых на колонках или кронштейнах, что связано с затратой лишнего времени и увеличением стоимости проходческого оборудования. Поэтому применение тяжелых бурильных молотков при бурении горизонтально расположенных или наклонных шпуров оправдывается лишь при работе по крепким породам или в случае длинных шпуров. При бурении шпуров, направленных вверх, для поддержания бурового молота обычно применяют специальные подставки (фиг. 2), к-рые при помощи сжатого воздуха производят нажим бура на дно скважин и сообщают буровому молотку поступательное движение вверх. Важным вопросом при бурении является удаление буровой пыли из шпура. При вертикальных шпурах, направленных вверх, пыль во время работ удаляется под давлением собственного веса; при горизонтальных и слабо наклонных шпурах удаление пыли достигается путем применения буров с винтовой поверхностью; при вертикаль-

ных, направленных вниз и сильно наклонных шпурах удаление пыли производят или путем продувки шпуров сжатым воздухом (специальный тип бурового молотка — с продувкой) или путем промывки их водой под давлением. Применение последнего способа ограничено наличием водопровода. Неудобство продувки шпуров—появление облаков каменной пыли, вредно действующей (особенно, если она содержит значительный процент кремнекислоты) на дыхательные органы рабочих. Производительность пневматич. бурильных молотков колеблется в широких пределах в зависимости от крепости породы, веса бурильного молотка и других условий работы. Для молотков среднего веса (15—16 *кг*), при диаметре горизонтальных шпуров в 32 *см* при очень крепких породах (кварцевые порфиры, граниты и т. п.) скорость бурения составляет 3—8 *см/мин*. при бурении в крепких породах (песчаники)—5—12 *см/мин*. в породах средней крепости (сланцы, мягкие песчаники)—10—25 *см/мин*, а в более мягких породах—до 80 *см/мин*. Скорость бурения вертикальных, вниз направленных шпуров обычно на 10—25% больше, чем горизонтальных. Скорость механич. бурения почти в 10 раз больше, чем скорость ручного бурения. Расход сжатого воздуха на 1 молоток в среднем ок. 1,6 $м^3/мин$. что соответствует расходу энергии ок. 7 kWh. В случае бурения в породах незначительной крепости (уголь, соль и т. п.) вместо пневматич. ударных бурильных молотков часто применяют коловратные перфораторы с ручным, пневматич. или электрич. приводом (электрич. сверла). При проходке выработок по мягким и трещиноватым породам, когда *взрывные работы* (см.) не дают положительных результатов, часто применяются отбойные пневматические молотки (фиг. 3) или пневматические лопаты (фиг. 4). Механизация работ, при рациональной организации их, в 2—3 раза повышает скорость проходки по сравнению с ручной работой.

2. Очистные работы. Механизация работ в горной промышленности, особенно в каменноугольной, имеет особо важное значение для очистных работ, поэтому применение машин в этих работах достигло наибольшего развития. В зависимости от характера полезного ископаемого и условий его разработки виды механизированной добычи и типы применяемых машин значительно разнятся между собой. При разработке каменноугольных пластов средней и большой крепости наибольшее значение имеет работа по производству вруба и отбойке угля. Для производства вруба обычно пользуются *врубовыми машинами* (см.) легкого и тяжелого типа (весом от 2 до 3 *т*) с электрич. и пневматич. моторами. Применение врубовых машин при разработке других полезных ископаемых ограничивается отдельными случаями. Работы же по отбойке угля имеют много общего с аналогичными работами при добыче полезных ископаемых. При значительной крепости ископаемого наиболее целесообразным способом отбойки нужно считать взрывные работы, при которых механизация сводится к применению бурильных пневматич. молотков или коловратных перфораторов (сверл). При средней и малой крепости ископаемого часто для отбойки его применяют пневматич. отбойные молотки и лопаты. Особенное распространение получили пневматич. отбойные молотки в каменноугольной промышленности. Условия, при которых с выгодой м. б. применимы отбойные молотки, следующие: 1) незначительная крепость угля и ясно выраженный кливаж его; 2) значительная мощность пласта; 3) крутое падение пласта; 4) неровная почва пласта и наличие геологических нарушений; 5) слабая кровля пласта; 6) наличие в пласте пустой



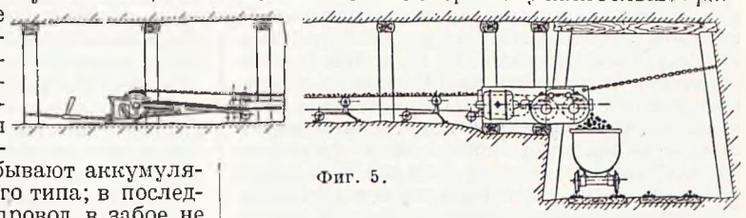
Фиг. 3.

Фиг. 4.

породы, которая загрязняет уголь при отбойке его взрывчатыми веществами; 7) высокая заработная плата. Отбойные молотки в очистных работах обычно применяются там, где не требуется предварительная зарубка угля или где применение врубовой машины затруднено. Но в некоторых случаях отбойку угля пневматич. молотками производят после предварительной зарубки пласта врубовой машиной, когда взрывные работы по тем или иным причинам нецелесообразны (напр. при значительном выделении метана). Вес отбойных молотков, применяемых в очистных работах, зависит от условий залегания, мощности и характера пласта угля, а также — от способов ведения очистных работ. В тех случаях когда при работе отбойным молотком его приходится держать вертикально или наклонно вниз (на круто падающих пластах) и при значительной крепости угля применяют молотки тяжелого типа весом 10—13 *кг*. Расход воздуха на такой молоток составляет ок. 1 $м^3/мин$. При полого падающих пластах и сравнительно мягких углях вес молотка берется от 5 до 8,5 *кг*; расход воздуха на такой молоток составляет от 0,5 до 0,8 $м^3/мин$. Производительность отбойного молотка при средней крепости угля обычно равна 8—12 *т* в смену (2—3 *т* на час непрерывной работы). При мягких углях производительность отбойного молотка повышается до 15 *т* в смену. Производительность забойщика,

работающего пневматич. отбойным молотком, выше производительности его при ручной работе обычно в 2, иногда даже в 4 раза. Преимущества пневматич. отбойных молотков по сравнению с врубовой машиной следующие: а) удобство в обращении, простота пользования и отсутствие необходимости иметь специально подготовленный кадр рабочих; б) возможность применения при всяких условиях залегания пластов угля и при любых свойствах их, даже при нарушенных окружающих породах; в) незначительные первоначальные затраты; г) больший выход коммерч. сортов угля и меньше загрязнение его породой из прослойков; д) отсутствие необходимости пользоваться взрывчатыми веществами и в связи с этим бо́льшая безопасность работ, особенно в опасных по газу и пыли шахтах. Во многих случаях эксплоатационные расходы, приходящиеся на 1 *т* добытого угля, при работе отбойными молотками бывают значительно ниже, чем при работе врубовыми машинами с отбойкой угля взрывчатыми веществами. Однако отбойный молоток не дает по существу полной механизации работы, так как она при этом связана с применением мускульной силы; притом работа отбойным молотком утомляет рабочего больше, чем при применении обычных ручных инструментов. Кроме отбойных молотков при отбойке угля и других ископаемых применяются пневматич. лопаты, к-рые употребляются при добыче очень мягких и вязких материалов, и отбойные гидравлические машины, к-рые отбивают уголь под давлением воды, нагнетаемой особым насосом. Однако применение этих машин весьма ограничено.

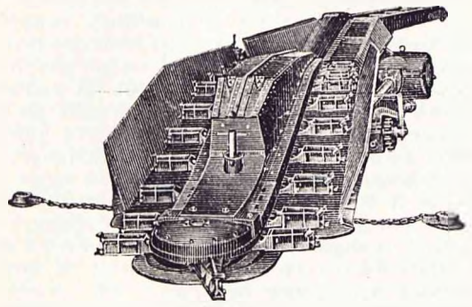
3. Доставка в очистных забоях. Механизация работ по доставке ископаемого (см. *Доставка рудничная*) из забоя до откаточного штрека в простейшем ее виде осуществляется путем применения механической тяги к вагонеткам, санкам и скреперам. Подача вагонеток в забой может производиться посредством головного и хвостового канатов, или посредством бесконечного каната, или наконец при помощи электровозов. В случае применения головного и хвостового канатов тяговая лебедка ставится у откаточного штрека. Рельсовый путь, прокладываемый в забое, обычно ординарный, как и при откатке бесконечным канатом; в последнем случае порожние вагонетки приходится подавать по верхнему вентиляционному штреку. При доставке санками и скреперами применяются тягальные лебедки с головным и хвостовым канатами. Электровозы, которые служат для подачи вагонеток в очистной забой, обыкновенно бывают аккумуляторные или же троллейного типа; в последнем случае троллейный провод в забое не прокладывается, подача же электрического тока к электровозу производится при помощи кабеля, протягиваемого от штрека; этот кабель наматывается на барабан, который помещают на самом электровозе. Доставка ископаемого в очистном забое при помощи вагонеток может осуществляться с успехом только в том случае, если почва забоя является достаточно ровной и имеет незначительный угол наклона. При разработке пластовых залежей доставка в вагонетках применима только при достаточной мощности пласта (свыше 1,2 *м*). Механич. санки и скреперы могут работать и в менее мощных пластах, но они также требуют ровной почвы в забое; особенно это касается скрепера. Недостаток доставки при помощи вагонеток, санок и скреперов заключается в невозможности осуществить беспрерывную выдачу ископаемого из забоя. При большой длине забоя добываемый материал выдается из забоя неравномерно; происходит скопление его в отдельных частях забоя, что влечет за собой задержку работ по выемке ископаемого. Применением *конвейеров* (см.) устраняется этот недостаток. Наиболее распространенным типом конвейера, применяемого в очистных забоях, является качающийся конвейер пропеллерного типа. Такие конвейеры могут применяться при любой длине забоя (устанавливается несколько секций с самостоятельными приводами, каждая секция длиною 80—120 *м*). Однако производительность качающихся конвейеров является в значительной степени ограниченной, обыкновенно не превышающей 60 *т/ч*, при горизонтальном же или слабо наклонном положении конвейера производительность его ограничивается 40—50 *т* угля в час. Более мощные качающиеся конвейеры в виду их громоздкости не применяются. К недостаткам качающихся конвейеров, в условиях работы их в очистных забоях, нужно отнести также: а) затруднения в пользовании ими при волнистой почве забоя и б) невозможность доставки ими на подъем свыше 5°. При современных системах работ в каменноугольной промышленности длина забоя достигает иногда 300 *м*, а количество угля, добываемого в смену в таком забое,—700 *т* и более. Единственными транспортными средствами, способными справиться с такой добычей, являются ленточные и скребковые конвейеры. К недостаткам последних относятся их громоздкость (особенно при большой производительности и длине их) и дороговизна установки и содержания их, дробление угля при доставке и шум при работе. Длина их обычно ограничивается 60—80 *м*. Скребковые конвейеры распространены главн. обр. в США. Ленточные конвейеры получили большее распространение, чем скребковые. Лента обычно резиновая; форма несущей поверхности ленты чаще плоская, реже лотковая. На фиг. 5 изображена установка ленточного конвейера в забое. Ленточные конвейеры по сравнению с качающимися имеют следующие преимущества: а) применимость при большой



Фиг. 5.

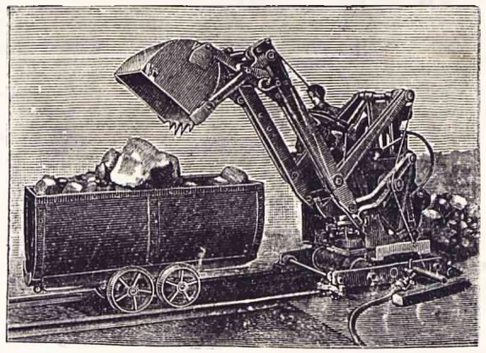
производительности забоя (100 *т/ч* и более), при волнистой почве забоя, при доставке по восстанию под углом свыше 5°; б) меньший расход энергии; в) меньшие расходы по обслуживанию, особенно при значительной длине забоя, когда качающийся конвейер должен иметь несколько приводов, ленточный же конвейер до 300 *м* длины может иметь один привод; г) отсутствие шума при работе; д) возможность производить сортировку материала в забое на ходу ленты, если скорость последней незначительна. Отрицательным качеством ленточного конвейера является его высокая стоимость, превосходящая в 5—6 раз стоимость качающегося конвейера. Перестановка ленточного конвейера в забое занимает обычно столько же времени и рабочих рук, сколько и перестановка качающегося конвейера. Стоимость доставки ленточными конвейерами в забоях при производительности 40—60 *т/ч* и длине конвейера 150—200 *м* почти одинакова со стоимостью доставки качающимися конвейерами и составляет обыкновенно 20—40 к. на 1 *т* угля.

При механизации доставки в забое важное значение приобретает вопрос о погрузке ископаемого на конвейер или в вагонетки. В США имеют значительное применение погрузочные машины со скребками (фиг. 6), ленточные конвейеры передвижного типа в соединении со скребками и т. п., а также маленькие ковшевые погрузочные машины экскаваторного типа и пр. Эти машины являются однако сравнительно дорогими, а



Фиг. 6.

главное громоздкими, что исключает применение их при разработке пластов незначительной мощности, при слабой кровле и т. п. Более компактной и удобной для подземных работ является грузочная машина, изображенная на фиг. 7. Эта машина м. б. установлена в выработках высотой от 2,2 *м*. Особым преимуществом ее является способность поворачиваться на 180° вокруг вертикальной оси при неподвижно установленной тележке. Более простой погрузочной машиной, с успехом применяемой в угольных забоях, является т. н. утиный нос, производительность которого может достигать 40—60 *т/ч*. Однако применение этой машины оправдывается только в том случае, если забой имеет незначительную длину (до 10 *м*); обычно он применяется при камерно-столбовой системе выемок и при системе работ заходками. В тех случаях, когда материал, доставляемый из забоя, приходится разгружать на почве выработки, для погрузки его в вагонетку или конвейер (служащие для доставки по штрекам) с успехом применяются погрузочные машины в виде передвижного ленточного конвейера, устанавливаемого на платформе, передвигаемой по рельсовым путям. При доставке материала по штрекам конвейерами особенно удобна телескопическая погрузочная машина («гусиная шея»), которая позволяет грузить



Фиг. 7.

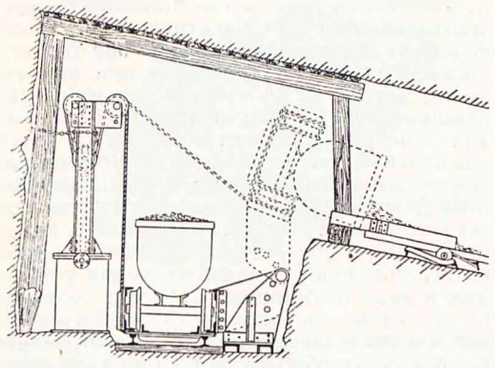
материал на конвейер при значительном удалении последнего от забоя; при этом нет необходимости наращивать конвейер через короткие промежутки времени.

4. Доставка по штрекам и квершлагам. Механизация работ при доставке материала по штрекам, квершлагам и т. п. в случае применения вагонеток осуществляется при помощи канатной или цепной тяги или при помощи локомотивов: электровозов, воздуховозов или бензиновозов. Канатная откатка является наиболее простой и требует меньших первоначальных затрат. При небольших расстояниях доставки и при небольшой добыче с успехом может применяться откатка концевым канатом или откатка головным и хвостовым канатами. При значительных расстояниях доставки и при большой производительности применяется откатка бесконечным канатом или цепью. Главным недостатком откатки при помощи канатов и цепей в условиях рудника являются: а) ограниченная производительность такого рода откатки; б) затруднения в работе при меняющемся уклоне выработок и при искривлении их; в) потребность в значительном парке вагонеток; г) затруднения в пользовании вагонетками большого тоннажа (свыше 1,5 *т*) при маневрах их. Откатка по подвесной дороге (с жестким несущим рельсом) может применяться в подземных выработках только в исключительных случаях, при очень больших расстояниях доставки и при наличии выработок большого поперечного сечения. При откатке на значительное расстояние (свыше 1 *км*), особенно при большой производительности рудника, с выгодой м. б. применены локомотивы. Электровозы, особенно контактовые, имеют преимущественное распространение, т. к. стоимость откатки ими на 1 *ткм* обычно ниже по сравнению с другими типами рудничных локомотивов. При производительности откатки 100 *т/ч* и выше стоимость подземной откатки троллейными электровозами обычно составляет 12—15 к. на 1 *ткм*. Главным недостатком троллейного электровоза является невозможность откатки им при значительных уклонах выработок (свыше 4°). Далее, такие электровозы не могут применяться в выработках, где имеется присутствие рудничного газа, так как искры, образующиеся в контакте с проводом, могут воспламенить газ. Наличие голого провода с высоким напряжением электрического тока также представляет опасность. Совершенно безопасными в этом отношении являются аккумуляторные электровозы. Они с успехом могут применяться при откатке на сравнительно небольшие расстояния в качестве сборных локомотивов для подачи вагонеток в забой и т. п. Однако первоначальные затраты и стоимость откатки при применении аккумуляторных электровозов значительно выше, чем при троллейных электровозах (примерно в два раза). Что касается бензиновозов и воздуховозов, то применение их для подземной откатки может оправдываться только при отсутствии электроэнергии или при специфических условиях работы в руднике. При применении локомотивов предельная производительность откатки зависит от грузоподъемности вагонеток. Если расстояния откатки незначительны, то при большой производительности шахты во многих случаях вместо вагонной доставки по штрекам, уклонам, квершлагам и т. п. с успехом могут применяться конвейеры—качающиеся, ленточные, гусеничные и скребковые. При большой производительности (свыше 100 *т/ч*) или при уклонах, не допускающих применения электровоза, наиболее пригодными являются ленточные конвейеры. При ограниченной ширине выработок ленточные конвейеры могут дать такую производительность, какая немыслима при доставке другими способами. Так например, производительность конвейера с лентой шириной 1,2 *м* может достигать 1 500 *т/ч*. Стоимость доставки ленточными конвейерами зависит прежде всего от их производительности. При расстоянии доставки от 200 *м* и выше при производительности ленточного конвейера 100 *т/ч* стоимость доставки им составляет 30—45 к., а при производительности 300 *т/ч*—около 20 к. на 1 *ткм*. Особые выгоды по сравнению с вагонной доставкой при небольших расстояниях доставки дает применение ленточных конвейеров в тех случаях, когда приходится доставлять значительные массы материала с нескольких горизонтов по гезенкам на один квершлаг (штрек, штольню). В обычных условиях доставки по штрекам, бремсбергам и т. п. применение ленточных конвейеров дает следующие преимущества по сравнению с вагонной доставкой: 1) сокращается рабочая сила по обслуживанию транспортных средств; 2) уменьшается количество промежуточных выработок, сокращаются расходы по прохождению выработок и их поддержанию (выработки могут иметь меньшие размеры); 3) уменьшается число несчастных случаев. К недостаткам ленточных конвейеров нужно отнести: 1) высокую стоимость их; 2) невозможность доставлять по ним людей; 3) затруднения при доставке по ним громоздких

предметов; 4) необходимость иметь прямолинейные выработки по крайней мере на длину, соответствующую длине одного агрегата конвейера; 5) быструю порчу ленты в случае, если транспортируемый материал подается в кусках большого абсолютного и удельного веса с острыми гранями. Применение скребковых и гусеничных (со стальной лентой) конвейеров для подземной доставки по штрекам значительно ограничено благодаря более высокой стоимости их, громоздкости и более высоким эксплоатационным расходам по их содержанию по сравнению с ленточными конвейерами. Применение их обычно оправдывается в тех случаях, когда доставка ленточными конвейерами бывает затруднена.

5. М. г. р. на рудничном дворе и погрузочных пунктах. В случае применения клетьевого подъема эти операции сводятся к погрузке вагонеток в клеть, выгрузке их из клети и операции по маневрам вагонеток в рудничном дворе. Главные требования, предъявляемые к механизмам и приспособлениям, обслуживающим эти операции, заключаются в следующем: 1) наименьшая продолжительность операции, обеспечивающая максимальную производительность подъема и сокращение простоя вагонеток; 2) по возможности полная автоматизация всех операций с минимальным числом занятых при этом людей; 3) наибольшая простота механизмов и безопасность их. Простейшими механизмами, служащими для автоматич. подачи вагонеток в клеть, являются толкатели—пневматические, гидравлические или электрические. Такой толкатель, приводимый в действие рукоятчиком, при помощи стержня или захвата подает вагонетки в клеть и одновременно выталкивает стоящие в клети вагонетки. Для маневров вагонеток в рудничном дворе и на верхней приемной площадке применяются автоматические стрелки, к-рые распределяют движущиеся самокатом вагонетки по соответствующим путям. Для останова и распределения движущихся самокатом вагонеток применяют самодействующие устройства в виде пружинных буферов, тормозов и т. п., к-рые задерживают вагонетки в нужный момент и дают возможность направлять их по мере надобности на тот или иной путь. Если в рудничном дворе или на верхней приемной площадке движение вагонеток осуществляется самокатом, то приходится применять компенсаторы высоты, к-рые подают вагонетку на некотором участке пути вверх по восстанию. В качестве такого компенсатора высоты применяют обычно подвагонную цепь, по своему устройству приближающуюся к самокатке (см. *Конвейеры* скребковые). Такая цепь движется посредине рельсовой колеи на уровне последней. Прикрепленные к этой цепи захваты упираются в скат вагонетки и заставляют ее двигаться вместе с цепью. Такие подвагонные цепи применяются иногда для передвижения вагонеток и по горизонтальным путям в рудничном дворе и на верхней приемной площадке, а также для передачи вагонеток по наклонным путям с одного горизонта на другой, если рудничный двор и приемная

площадка имеют два горизонта (при многоэтажных клетях). В тех случаях, когда площадь рудничного двора или приемной площадки ограничена, передача вагонеток с одного горизонта на другой производится иногда при помощи специальных лифтов—пневматических, гидравлических или электрических. Такие лифты могут работать совершенно автоматически без участия людей, причем подача вагонеток и выдача последних из клетей производится при помощи автоматически действующих толкателей. К числу операций с вагонетками в шахте и на приемной площадке, требующих применения механизмов, нужно отнести также работу по разгрузке вагонеток над бункерами. Для этих целей служат или круговые вращающиеся опрокиды или приспособления, при помощи к-рых вагонетка опрокидывается на бок. Последние являются более простыми по своей конструкции, и их легче переносить с одного места на другое, но производительность их меньше, чем круговых опрокидов. Такие боковые опрокиды устанавливаются обыкновенно в подземных выработках в тех случаях, когда местонахождение бункера меняется или когда размеры выработок и их расположение затрудняют установку громоздких круговых опрокидов. Преимущественное применение боковые опрокиды имеют в случаях, когда материал приходится перегружать на конвейер, расположенный выше уровня рельсов; при этом вагонетка в момент опрокида приподнимается вверх, как показано на фиг. 8. Боковые

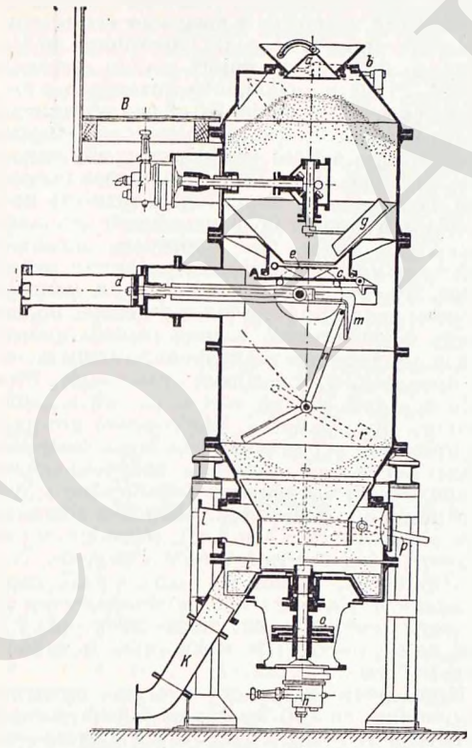


Фиг. 8.

опрокиды обычно действуют при помощи сжатого воздуха. При погрузке материала из бункера на конвейер или в вагонетки применяются механич. питатели различной конструкции и автоматически действующие дозаторы. При погрузке материала с конвейера или из бункера в вагонетку применяются механич. встряхиватели, действующие при помощи сжатого воздуха или электрич. тока и служащие для уплотнения нагружаемого в вагонетки материала. Такие встряхиватели представляют собой платформу, расположенную на уровне рельсового пути и снабженную толкателем, который сообщает платформе и помещенной на ней вагонетке колебательные движения вверх и вниз.

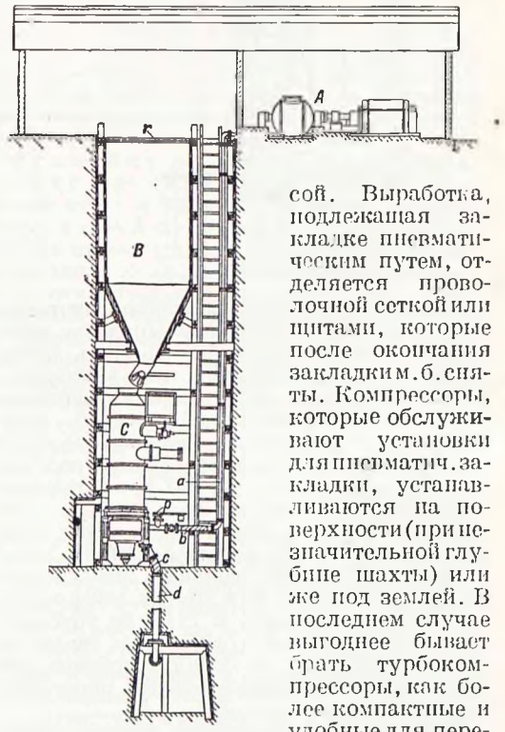
6. Закладка выработанного пространства. Закладка выработанного пространства в рудниках в условиях механизации главнейших видов подземных работ должна удовлетворять следующим основным условиям. 1) Закладка д. б. достаточно плотной, чтобы она допускала лишь минимальную осадку кровли очистных выработок. 2) Работы по закладке должны вестись так, чтобы они не задерживали добычи и допускали возможность максимальной концентрации очистных работ с быстрым подвиганием забоя. В этом отношении наиболее подходящим способом закладки является такой, при к-ром доставка закладочного материала в выработанное пространство и самый процесс закладки происходят независимо от работ по добыче и доставке ископаемого; при этом количество подаваемого закладочного материала и скорость процесса закладки должны соответствовать темпу очистн. работ. 3) Работы по закладке должны быть по возможности полностью механизированы, с минимальным числом занятых при этом людей. Из применяемых на практике современных способов закладки указанным условиям наиболее удовлетворяет пневматич. закладка. Этот способ состоит в том, что закладочный материал подается в трубопровод и увлекается движущимся по трубе с большой скоростью воздухом. Чтобы частицы материала могли двигаться по трубопроводу с минимальным сопротивлением, необходимо сообщить им такую скорость, при к-рой они располагались бы ближе к оси трубопровода и не касались стенок последнего. Такая скорость «парящего полета» частиц закладочного материала при размерах их от 30 до 50 *мм* в поперечнике и при уд. весе материала 2—2,5 должна составить в среднем ок. 45 *м/сек*, а для камней размером 80 *мм* в поперечнике—ок. 60 *м/сек*. С увеличением удельного и абсолютного веса частиц материала скорость их должна возрастать. Скорость воздуха в трубопроводе д. б. несколько больше скорости парящего полета частиц материала. Сжатый воздух подается в трубопровод от компрессора, производительность к-рого и давление воздуха в к-ром рассчитываются в зависимости от количества и характера транспортируемого по трубопроводу материала и сопротивления трубопровода. Обычно на 100 *м* трубопровода считают потерю давления в нем от сопротивлений в размере от 0,1 до 0,5 *ат*. Количество воздуха, поступающего в трубопровод, берется от 100 до 300 $м^3$ на 1 $м^3$ закладочного материала. Нормальная длина трубопровода—обычно 400—500 *м*; в отдельных случаях она достигает 800 и даже 1 000 *м*; при этом производительность установки обычно снижается против нормальной на 10—20%. Диаметр трубопровода берется от 15 до 30 *см*. Производительность установки обычно бывает в пределах от 25 до 75 $м^3$ закладочного материала в час. Трубы употребляются железные или стальные, реже—чугунные. Особенно сильному износу подвергаются части трубопровода в коленах. Поэтому последние устраивают сборными с внутренними вкладышами из твердой стали; эти вкладыши можно менять по мере их износа. Загрузка материала в трубопровод производится при помощи специальных закладочных

машин типа, изображенного на фиг. 9. Такая машина состоит из двух камер, между к-рыми помещается скользящая задвижка *c*,



Фиг. 9.

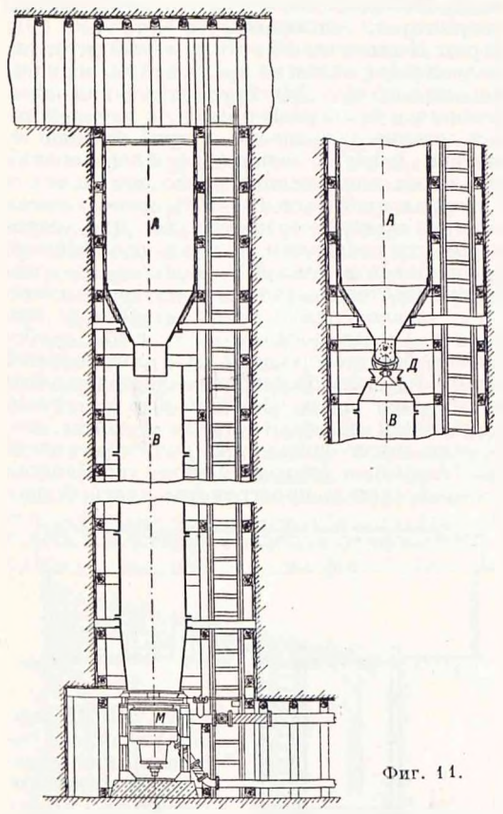
приводимая в действие поршнем *d*; в верхнюю камеру загружается закладочный материал при открытой загрузочной воронке, закрываемой конич. клапаном *a* при помощи действующего сжатым воздухом приспособления *b*; на это время нижняя камера отделяется от верхней при помощи особого клапана *e* и задвижки *c* так. обр., чтобы сжатый воздух не мог проникнуть в верхнюю камеру. Скребок *g*, приводимый в движение пневматич. мотором *f*, обеспечивает равномерную подачу закладочного материала и предотвращает образование пробки над клапаном. Такое же назначение имеет и скребок *n*, передвигаемый посредством поршня *d* и крюка *m* и возвращаемый в первоначальное положение противовесом *r*. После загрузки верхней камеры при закрытой загрузочной воронке материал пропускается в нижнюю камеру и здесь попадает на вращающийся диск *i*, снабженный перегородками. При вращении этого диска мотором *h* материал подается равномерно в трубопровод *k*, к которому присоединен воздухопровод *l* от компрессора. Валы диска *i* и мотора *h* соединяются фрикционной муфтой *o*; рычаг *p* служит для передвижения муфты, регулирующей поступление материала в подающий механизм. Машина управляется с мостика *B*. Корпус машины имеет ок. 1,2 *м* в поперечнике, а по высоте от 4,8 до 7,8 *м* в зависимости от производительности машины. Схема установки закладочной машины на поверхности показана на фиг. 10. Здесь *A*—компрессор; *a*—труба для подвода сжатого воздуха; *b*—гибкий металлический рукав; *p*—предохранительный клапан; *c*—резиновый патрубок; *d*—трубопровод; *B*—бункер для закладочного материала; *C*—закладочная машина; *r*—решетка, через к-рую проходит закладочный материал. Другой тип установки (под землей) показан на фиг. 11. Здесь *M*—нижняя камера закладочной машины; верхняя камера машины отсутствует; она заменяется металлич. бункером *B* высотою 15—20 *м*, к-рый д. б. наполнен материалом во время работы машины на всю высоту. Для предотвращения образования в бункере *B* пробок, в верхней части гезенка устраивают второй бункер *A*. Потеря воздуха вследствие просачивания его через слой закладочного материала в бункерах достигает 10—15% всего засасываемого компрессором воздуха. Для устранения просачивания воздуха оба бункера снабжают затворами *Д*. Трубопровод, по которому подается закладочный материал, обычно подвешивается к крепи выработок; при этом необходимо стремиться, чтобы трубопровод был расположен на строго прямой линии, избегать большого числа колен в нем и подъемов вверх. Закладочный материал, выходящий из трубопровода в конце его, обычно имеет громадную скорость полета (до 70 *м/сек*), и благодаря этому он ложится в выработанном пространстве плотной мас-



Фиг. 10.

сой. Выработка, подлежащая закладке пневматическим путем, отделяется проволочной сеткой или щитами, которые после окончания закладки м. б. сняты. Компрессоры, которые обслуживают установки для пневматич. закладки, устанавливаются на поверхности (при незначительной глубине шахты) или же под землей. В последнем случае выгоднее бывает брать турбокомпрессоры, как более компактные и удобные для перестановки с одного места на другое. Расход энергии при пневматической закладке составляет обычно ок. 6 kWh на 1 $м^3$ заложенного пространства. Для обслуживания 1 установки требуется обычно 4—6 чел. Общие расходы по пнев-

матической закладке составляют, по данным практики в Германии, от 1,0 до 1,8 мар. на 1 $м^3$ заложенного пространства, не считая стоимости закладочного материала и доставки его до бункера при закладочной машине. Пневматич. закладка, удовлетворяющая указанным выше основным требованиям, предъявляемым к механизированной закладке, имеет еще преимущество в том, что вентиляция



Фиг. 11.

подземных выработок, благодаря поступлению добавоч. воздуха из трубопровода, улучшается и повышается безопасность работ. Главные недостатки пневматич. закладки—высокая стоимость оборудования, значительный расход энергии и необходимость пользоваться специально подобранным закладочным материалом. Последний должен состоять из кусков не свыше 40—50 *мм* в поперечнике. Отдельные куски материала в количестве до 10—20% общей массы могут иметь размеры до 80 *мм* в поперечнике. Далее, материал не должен содержать значительного процента глины или других материалов, способных прилипать к стенкам трубопровода. При большом содержании таких материалов (свыше 15—20%), особенно если закладочный материал влажный, происходит закупорка трубопровода.

Другой тип закладочных машин, нашедших применение на практике,—п н е в м а т и ч е с к а я з а к л а д о ч н а я м а ш и н а э ж е к т о р н о г о т и п а. Эта машина состоит из присоединенной к качающемуся конвейеру трубы, в которую подается закладочный материал. Внутри трубы находится сопло, через которое поступает сжатый воздух, подводимый к машине по воздухопроводу. Выходящая из сопла струя сжатого воздуха увлекает с собой закладочный материал и выдувает его в выработанное пространство на расстояние до 4 *м*. Производительность таких машин составляет 20—25 $м^3$ закладочного материала в час; расход воздуха—около 400 $м^3$ на 1 $м^3$ закладочного материала при давлении около 2 *atm*. Для обслуживания установки требуется от 2 до 3 чел., не считая людей, занятых погрузкой материала на конвейер. Плотность производимой такого рода машинами закладки несколько ниже, чем плотность закладки описанными выше пневматическими машинами. По сравнению с последними машины эжекторного типа проще и дешевле, но они могут осуществлять только самый процесс закладки, доставка же материала к ним должна производиться особыми средствами. Имеется еще ряд машин для закладки выработанного пространства, применение которых на практике ограничивается пока опытами. Сюда относятся машины, забрасывающие закладочный материал в выработанное пространство под действием центробежной силы или удара (ш л о д е р ы), машины, к-рые подают материал при помощи жолоба, соединенного с тележкой (ш т о п ф е р ы), скреперы и т. п. Все эти машины обладают тем же недостатком, как и воздушные эжекторы, т. е. они не осуществляют полностью механизацию работы по закладке.

Применяемый много лет на практике гидравлич. способ закладки выработанного пространства—м о к р а я з а к л а д к а—состоит в том, что закладочный материал подается с поверхности по трубопроводу под действием потока воды в трубе. На 1 $м^3$ материала берут обычно от 1 до 2,5 $м^3$ воды. Смешивание материала с водой производится на поверхности у воронки трубопровода; последний прокладывается по шахте и далее по квершлагам и штрекам до забоя. Скорость движения материала в трубопроводе и расстояние, на которое м. б. подан закладочный материал по горизонтальным выработкам, зависят от длины вертикальной части трубопровода. Обычно максимальное расстояние подачи закладочного материала по горизонтали считают равным 8-кратной длине вертикальной части трубопровода. Средняя скорость движения материала в трубопроводе обычно составляет 3—3,5 *м/сек*; диам. трубопровода—150 *мм*; трубы—чугунные или железные. Подлежащее мокрой закладке выработанное пространство отделяется от остальных выработок перемычками. Вода удаляется из закладываемого пространства через фильтрующие устройства в перемычке. Материалом для мокрой закладки могут служить: песок, щебень из крепких неразмокаемых пород, топочные шлаки и т. п. Содержание глины в закладочном материале обычно берется не свыше 10—20%. При мокрой закладке, как и пневматической, процесс доставки закладочного материала до забоя осуществляется независимо от работы по доставке ископаемого. Плотность мокрой закладки выше, чем при ручной закладке, но ниже пневматической. Производительность мокрой закладки

при одном трубопроводе диам. 200 *мм* может достигать 100 *т/ч*. Стоимость закладки, по данным рудников Германии, колеблется от 0,4 до 2 мар. на 1 $м^3$ закладки. По сравнению с пневматич. закладкой мокрая закладка обладает следующими недостатками: 1) она может применяться только при значительной глубине разработки, когда можно получить достаточный напор воды трубопровода; 2) необходимость откачивать из шахты воду, подаваемую с поверхности по трубопроводу, при наличии затруднений в водоотливе в связи с загрязнением воды; 3) загрязнение выработок и большая влажность в руднике; 4) осложнения с устройством перемычек, которые д. б. очень прочными; 5) задержки в подвигании очистных забоев в связи с тем, что приходится выжидать окончания стока воды из закладки; 6) наличие затруднений при разработке пластов длинными забоями; 7) затруднения в операциях по загрузке трубопровода на поверхности при низкой $t°$.

Лит.: Ш е в я к о в Л. Д., Разработка месторождений полезных ископаемых, Харьков, 1928; Б а ж е н Г., Рудничная доставка по горизонтальным и наклонным путям, перевод с нем., Харьков, 1929; Сборник материалов по рационализации каменноуг. промышленности за границей, вып. 1 и 2, Харьков, 1929; Справочник по каменноуг. делу, составленный под ред. А. А. Скачинского, Харьков, 1929; Г о р б а ч е в К. И. и Г а р м а ш А. И., Закладка выработанного пространства на рудниках Германии, «ГиК», 1929, *8—9*; и х ж е, Ленточные транспортеры в применении для подземной доставки в рудниках, там же; С и д о р о в А. И., Мокрая закладка, Москва, 1929; H e i s e F. u. H e r b s t F., Lehrbuch d. Bergbaukunde, B. 1—2, B., 1923. **А. Гармаш.**

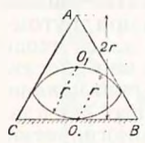
МЕХАНИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА, см. *Сельское хозяйство*.

МЕХАНИЗМЫ, системы тел, в которых перемещение одного тела (ведущего) вызывает совершенно определенные перемещения остальных тел системы. Одно из тел механизма рассматривается при этом как неподвижное и перемещения остальных тел определяются относительно этого неподвижного тела, называемого с т о й к о й; остальные тела М. называются з в е н ь я м и М. Обычно в состав М. входят твердые неизменяемые тела, но встречаются М., в состав к-рых входят растягиваемые гибкие тела (ремень, канат, цепь) или жидкости под давлением. Изучением состава М., путей различных точек их, скоростей и ускорений этих точек занимается прикладная механика в узком смысле этого слова, или кинематика М. Вместе с возникновением прикладной механики как науки (1800 г.) вырабатывается классификация М., основанная сначала на принципе «превращения движений и преобразования скоростей». В книге Виллиса [1] эта классификация получила свое завершение. К л а с с и ф и к а ц и я В и л л и с а сохраняется в нек-рых учебниках прикладной механики и до сих пор; в ее основу положена мысль о том, что назначением М. является преобразование величины или направления скорости движения, причем упускаются из виду остальные кинематич. элементы движения—путь и ускорение. Виллис различает три случая изменения соотношений величины и направления скорости ведущего и ведомого звена: 1) соотношение направлений и величин скоростей остается постоянным; 2) соотношение направлений остается постоянным, соотношение величин скоростей изменяется; 3) соотношение направлений движения М. изменяется, соотношение величин скоростей либо изменяется либо сохраняется постоянным. Соответственно этим трем случаям различаем 3 класса М.: 1-й класс—клин, винт, цилиндрич., конич. и гиперболоидальные зубчатые и фрикционные колеса, червячная передача, групповые приводы и эпициклические приводы зубчатых колес, передачи гибким телом (ременная, канатная и цепная), гидравлич. передача и т. п.; 2-й класс—некруглые зубчатые колеса, колеса с неполным числом зубцов, гуков шарнир, нек-рые шарнирные М., и пр.; 3-й класс—кулачные М. и большинство шарнирных М. Классификация Виллиса обладает значительными недостатками; в основу ее положен случайный признак — соотношение скоростей; один и тот же тип М., напр. шарнирный четырехзвенный М. при одном соотношении длин звеньев оказывается во 2-м, при другом—в 3-м классе; в один и тот же класс входят М. самой различной структуры как плоские, так и пространственные; научно-механич. исследование М., расположенных по классификации Виллиса, требует многократных повторений и вообще отличается бессистемностью; классификация Виллиса совершенно не приспособлена к исследованию более сложных М., например шарнирных с числом звеньев более четырех. Поэтому ее нужно считать устаревшей.

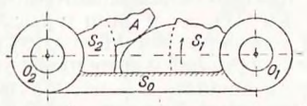
Труды Р е л о [2], особенно Б у р м е с т е р а [3], дали принятую в современной науке классификацию М., к-рая в основных чертах основывается на структуре М. Согласно этой классификации, кинематику М., как и всю теоретич. кинематику, разделяют на к и н е м а т и к у п л о с к и х М. и к и н е м а т и к у п р о с т р а н с т в е н н ы х М. Пути всех точек звеньев плоского М. располагаются в одной плоскости или в плоскостях взаимно параллельных, без искажения проектирующихся на плоскость чертежа; кроме того и относительная траектория, т. е. путь какой-нибудь точки одного подвижного звена относительно плоскости или пространства, неразрывно связанных с другим подвижным звеном, есть также плоская кривая, расположенная в плоскости чертежа. Пути точек пространственного М. могут быть плоскими или пространственными кривыми (напр. сферическими); во всяком случае пути эти не должны лежать во взаимно параллельных плоскостях или относительные траектории их не должны быть плоскими кривыми или располагаться во взаимно параллельных плоскостях. Примером пространственного М. может служить пара конических зубчатых колес; каждое колесо вращается вокруг своей оси и его движение—плоское, однако плоскости движения шестерни и зубчатки не параллельны между собою, а относительные траектории, на изучении которых основано правильное профилирование зубцов, суть сферич. кривые (см. *Зубчатые колеса*).

Первым этапом в изучении М. является знакомство с кинематич. парами, т. е. с простейшими к и н е м а т и ч е с к и м и с о ч л е н е н и я м и, к-рые разделяются на н и з ш и е и в ы с ш и е с о ч л е н е н и я. Низшие

сочленения плоских М. суть: цилиндрич. шарнир и ползун; низшие сочленения состоят из стойки и подвижного звена и обладают свойством обратимости; это значит, что если подвижное звено превратить в стойку, то от этого кинематич. характеристики (пути, скорости и пр.) не изменятся. Четыре звена, соединенные между собою шарнирами или ползунами, представляют собою простейший шарнирный М., известный под именем четырехзвенной цепи, или четырехзвенного М., или четырехшарнирного М., или шарнирного четырехугольника. Высшие сочленения плоских М. образуются непосредственным соприкосновением двух тел. Примером высшего сочленения двух тел является неприменяемое в машиностроении сочленение дугового двуугольника в равностороннем тр-ке (фиг. 1), обладающее одной степенью свободы, т. к. при

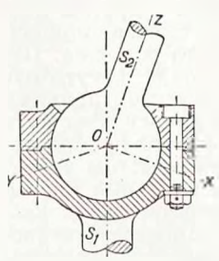


Фиг. 1.



Фиг. 2.

всяком положении двуугольника имеем три точки касания; чечевицеобразный вырезок OO_1, ограниченный двумя цилиндрич. поверхностями радиуса r, катится без скольжения по одной грани полой равносторонней призмы ABC, сечение к-рой имеет высоту $2r$, скользя ребрами по двум другим граням. В машиностроении распространено другое высшее сочленение (фиг. 2), состоящее из трех звеньев: стойки O_2O_1 с двумя цилиндрическими шарнирами и двух звеньев S_1 и S_2, к-рые совершают вращательные движения. Эти звенья соприкасаются в точке A, и ведущее звено, напр. S_1, заставляет двигаться ведомое непосредственным соприкосновением передающих движение профилей, причем один профиль скользит по другому; передача движения прекращается, когда профили перестанут соприкасаться; такое сочленение, или такая кинематич пара, в к-рой передача движения не вполне обеспечена, называется незамкнутым сочленением или парой с неполными связями. Для обеспечения принужденного движения д. б. приняты какие-либо меры для замыкания цепи; наиболее распространенным является замыкание силой, напр. для замыкания сочленения (фиг. 2) при ведущем звене S_1, вращающемся по часовой стрелке, достаточно снабдить звено S_2 цилиндрич. барабаном с намотанным на него гибким телом, к концу к-рого подвешена гиря, обеспечивающая прижимание S_2 к S_1. В кулачковых М. (см. *Кулак*) замыкание производится пружиной; в *зубчатых колесах* (см.) профили зубцов двусторонни, и, если сделать зазор достаточно малым, то

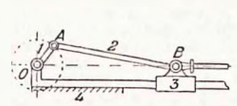


Фиг. 3.

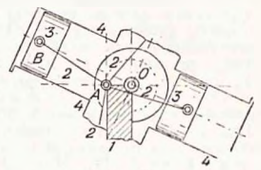
система имеет полные связи. Групповые приводы из зубчатых колес и эпициклич. приводы являются примерами сложных М., образованных из высших сочленений.

Для сочленения пространственных М. служат часто те же элементы, что и для плоских: цилиндрич. шарнир, ползун, передача непосредственным соприкосновением, но иногда применяются и особые пространственные сочленения: 1) цилиндрический ползун в полом цилиндре, имеющий две степени свободы—поступательное движение вдоль оси цилиндра и вращение вокруг нее; 2) шаровой шарнир (фиг. 3), имеющий три степени свободы—вращение вокруг неподвижной точки O, слагающееся из трех вращений вокруг взаимно перпендикулярных осей OX, OY, OZ; 3) винт и гайка (см. *Болт*)—сочленение, имеющее только одну степень свободы, обладающее свойством обратимости и потому относимое к низшим сочленениям.

Итак, при помощи соответственных сочленений можно получить простые М., плоские



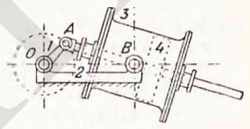
Фиг. 4.



Фиг. 5.

или пространственные. Из всего многообразия возможных при этом комбинаций Рело первый подметил общие черты при кажущемся разнообразии форм и этим указал простейшие пути образования новых М. без увеличения числа звеньев. Если изображать М. схематически, то часто два на вид различных М. имеют тождественные схемы и следовательно представляют собой один и тот же М. Отметим следующие часто встречающиеся методы преобразования М.

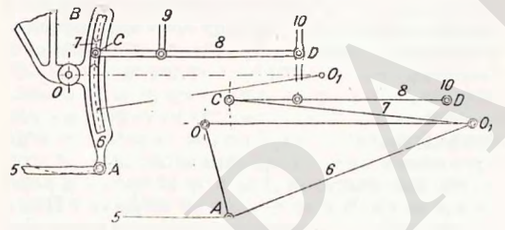
1) Изменение стойки. Как пример рассмотрим прежде всего схему М. зубчатого зацепления (фиг. 2); если неподвижно звено S_0, то имеем обычную зубчатую передачу; если сделать неподвижным одно из зубчатых колес S_1 или S_2, получим схему М. эпициклич. привода. Еще ярче можно иллюстрировать возможное разнообразие на кривошипном механизме (см. *Кривошипный механизм*). На фиг. 4 изображена схема кривошипного механизма обычной поршневой машины (двигателя или насоса) простого действия; стойкой служит звено 4 прямолинейной направляющей. На фиг. 5 изображен тот же кривошипный механизм в схеме авиационного двигателя «Гном» со звеном *1* в качестве стойки и с несколькими цилиндрами (изображено их схематично два), вращающимися вокруг оси O. Наконец в схеме пароходной машины с качающимся цилиндром *3* (фиг. 6) стойкой служит звено *2*, кривошип *1* попрежнему приводит во вращение коренной вал, а пор-



Фиг. 6.

шень 4 с поршневыми скалками совершает сложное движение.

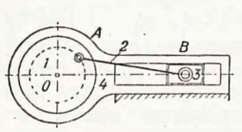
2) Замена коромысла кулисой и обратно. Всякое коромысло, т. е. звено, вращающееся вокруг неподвижной оси и совершающее неполный оборот, м. б. заменено



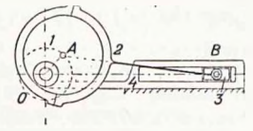
Фиг. 7.

кулисой, т. е. круговым ползуном,—отрезком цилиндрич. кольца, скользящим между двумя цилиндрич. поверхностями. Для примера на фиг. 7 кулиса OAB реверсивного парораспределения Гейзингера, очень распространенного в современных паровозах, с плотно ходящим в ней ползуном C заменена на схеме в нижней части фиг. 7 неизменяемым тр-ком AOO_1 (звено *6*), а ползун (камень 7) заменен звеном CO_1.

3) Уширение шипов и изменение размеров звеньев. Внешний вид М. может быть изменен до неузнаваемости изменением размеров звеньев. Так напр., если в кривошипном М. (фиг. 4) увеличить размер шипа O звена *1* настолько, чтобы его

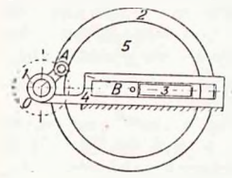


Фиг. 8.

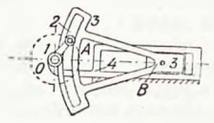


Фиг. 9.

радиус стал больше радиуса кривошипа, то получим М., изображенный на фиг. 8. Если подобным же образом увеличить размер шипа A, то получим изображенный на фиг. 9 эксцентриковый М., составляющий весьма важную часть большинства распределительных М. На фиг. 10 изображен ползун *3* и жестко связанный с ним диск *5*, центр к-рого находится в B; при движении ползуна по его направляющей центр B движется вместе с ползуном вдоль направляющей. Диск охвачен кольцом *2*, к-рое шарнирно сочленено с пальцем A кривошипа *1*, вращающегося вокруг неподвижной оси O. Этот М. получен следовательно увеличением размеров шипа B. На фиг. 11 изображен тот же



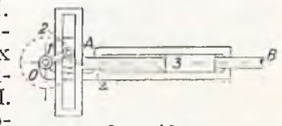
Фиг. 10.



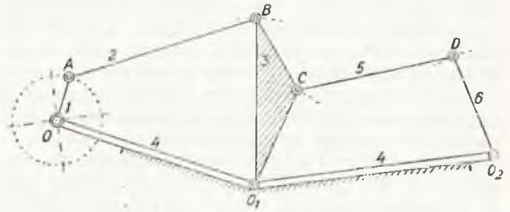
Фиг. 11.

кривошипный М. (фиг. 4), но звено *3* снабжено кулисой радиуса AB, а шатун AB превращен в маленький ползун этой кулисы (камень *2*). Наконец на фиг. 12 представлен случай, когда кулиса прямолинейна, т. е. когда радиус AB бесконечно велик; но AB есть длина эквивалентного шатуна кривошипного М., следовательно на фиг. 12 изображен кривошипный М. с бесконечно длинным шатуном.

Перейдем теперь к самой трудной части—классификации многозвенных шарнирных М. Здесь можно отметить ряд неудачных предложений, например: шарнирные М. с числом звеньев более четырех объединить под общим названием—сложные шарнирные М.; или сложные шарнирные М. разделить на шести-, восьми-, десятизвенные механизмы и т. д. Такая классификация чисто формальна и не облегчает работу исследования. Наиболее рациональной из предложенных надо признать классификацию сложных шарнирных М., предложенную проф. Л. В. Ассуром [1]. Рассмотрим обычные методы увеличения числа звеньев шарнирного М., исходя из простейшего четырехзвенного (фиг. 13); для этого проще всего взять еще два звена *5* и *6*, соединенных шарниром (двухповодковую группу), и сочленить звено *5* с какой-либо точкой, напр. *C*, одного из трех подвижных звеньев, напр. *3*. Звено *6* присоединим шарнирно к какой-либо точке, напр. O_2, стойки; анализируя добавку к основному четырехзвенному М., замечаем, что она представляет собою также четырехзвенный М. O_1CDO_2, кинематич. исследование которого представляет собой повторение методов исследования М. $OABO_1$. Если бы звено *5* было шарнирно присоединено к какой-либо точке звена *2*, то это также не осложнило бы исследования. Прибавляя к полученному М. еще сколько угодно раз по два звена, можем создать М. с каким угодно большим числом звеньев, не осложняя его



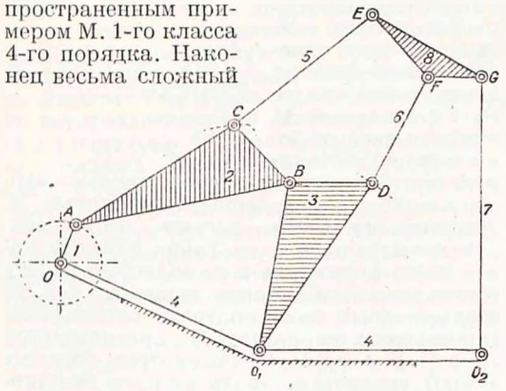
Фиг. 12.



Фиг. 13.

исследования. Осложнения начнут возникать только тогда, когда к М. присоединим трехповодковую группу (фиг. 14), состоящую из одного трехшарнирного звена EFG (звена *8*) и трех поводков *5*, *6* и *7*, сочлененных шарнирно с различными движущимися или неподвижными звеньями М., в данном случае с движущимися точками C и D и с неподвижной точкой O_2. Согласно классификации, предложенной Л. В. Ассуром, простые разомкнутые М., образованные присоединением групп различной сложности, суть М. 1-го класса, которые, смотря по наиболее сложной группе сочленения, входящего в них, подразделяются на порядки. Большинство применяемых в машиностроении

М. суть М. 1-го класса 2-го порядка. Кроме того можно отметить ряд М. 1-го класса 3-го порядка, а именно кулисные М. сист. Стефенсона, Гуча и Аллана, т. к. они содержат одну или две трехповодковые группы. М. кулисы Гейзингера содержит четырехповодковую группу и является весьма распространенным примером М. 1-го класса 4-го порядка. Наконец весьма сложный



Фиг. 14.

М. кулисы, изобретенной русским машинистом Савельевым, относится к М. 3-го класса 6-го порядка. Кроме совершенно новых и оригинальных методов кинематического исследования этих весьма сложных М. в работе Л. В. Ассура намечены также пути образования самых сложных шарнирных М. (замкнутых цепей) и указаны методы графич. построения скоростей и ускорений их точек.

В новейших трудах [5] германских ученых по теории М. (Грюблер, Альт и др.) кроме очерченных выше задач анализа М. (структура, пути различных точек, их скорость, ускорения, центры кривизны путей, центры скоростей, центры ускорений и пр.) поставлены в общем виде и новые задачи: а) кинематики и динамики пространственных механизмов; б) синтеза механизмов, т. е. общих методов построения нового М. данного типа, удовлетворяющего поставленным требованиям, причем длины отдельных звеньев определяются не путем попыток и случайного подбора, а расчетным путем при помощи гл. обр. графических методов.

Лит.: [1]) Willis R., Principles of Mechanism, 1ed., London, 1841; [2]) Reuleaux F., Theoretische Kinematik, Brschw., 1875; Reuleaux F., Lehrbuch der Kinematik, Brschw., 1900; [3]) Burmester L., Lehrbuch d. Kinematik, B. 1, Lpz., 1888; [4]) Ассур Л. В., Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации, «Известия С.-Петербургского политехнич. ин-та», СПБ, 1913, т. 20, стр. 329—385 и 581—635, 1914, т. 21, стр. 187—283 и 475—573; [5]) «Z. d. VDI», 1927, p. 164, 1928, p. 1933; Зернов Д. С., Прикладная механика, Л., 1925. **К. Рерих.**

МЕХАНИКА КВАНТОВАЯ, или волновая, представляет собой дальнейшее развитие теории *квантов* (см.), созданной Планком, Эйнштейном и в особенности Бором, который применил ее к строению атомов и молекул. При этом Бор ввел представление о двух типах физич. процессов: процессов стационарных, соответствующих определенному «состоянию» атома (или молекулы) и образующих некоторое прерывное многообразие, и процессов переходных, представляющих собой переходы от одного состояния к другому. В теории Бора стационарные состояния описывались при помощи обыкновенной «классической» механики, причем энергия, момент количества движения и другие постоянные движения фиксировались при помощи определенных «квантовых условий», в к-рых фигурировали целые «квантовые» числа. Что же касается переходных движений, то они совершенно не описывались и обычно трактовались как мгновенные «перескоки» от одного квантового состояния к другому. При этом рассматривались лишь перескоки, связанные с испусканием или поглощением монохроматич. света, т. е. света определенной частоты колебаний ν. Согласно основной формуле Планка эта частота определяется соотношением $\nu = \frac{W' - W''}{h}$, где W' и W'' — энергии начального и конечного состояний, а $h = 6{,}55 \cdot 10^{-27}$ эрг/ск.—постоянная Планка. Эта формула в связи с представлением Бора о квантовых стационарных состояниях дала возможность расшифровать закономерности в строении спектров атомов и молекул и на основании этих спектров определить энергию, а также другие константы движения, характеризующие их стационарные состояния.

Переходные движения делились на два типа: 1) самопроизвольные (или «спонтанные»), сопровождающиеся испусканием света, т. е. уменьшением энергии атома, и 2) вынужденные, могущие сопровождаться как испусканием, так и поглощением света (по формуле $\nu = \frac{W' - W''}{h}$). Первые представляли собой своего рода уступку классич. электродинамике, согласно к-рой движение электронов в атоме должно было сопровождаться непрерывным излучением энергии. Последнее заменялось в теории Бора рядом перескоков вниз по энергетической лестнице через одну или сразу через несколько ступеней, и, лишь достигнув наинизшей ступени, соответствующей «нормальному» состоянию, атом успокаивался и переставал излучать. Однако из нормального состояния он мог перейти в одно из высших или «возбужденных» состояний под действием света надлежащей частоты колебаний.

Существенно отметить то обстоятельство, что теория Бора не только не описывала переходных движений, но не давала никакой возможности установить причину или момент их наступления или окончания. Это обстоятельство ощущалось многими физиками как неполнота теории Бора. Лишь в 1917 г. Эйнштейн предложил отрешиться от попыток более подробного описания переходных движений и удовлетвориться боровской схемой, дополнив ее представлением о вероятности наступления того или иного перехода в единицу времени.

Эта идея в настоящее время получила дальнейшее развитие в новой М. к. Сущность ее сводится, с известной точки зрения, к отрешению от обычных представлений о движении не только в случае движений «переходных», но и в случае движений «стационарных», т. е. следовательно в случае вообще всякого вида движений, и к замене этих представлений, связанных с точным

пространственно-временным описанием соответствующего движения, нек-рой вероятной схемой последнего. Для лучшего уяснения смысла этой схемы рассмотрим сначала вкратце применение ее к переходным движениям. Представим себе атом, находящийся в начальный момент в некотором n-ом стационарном состоянии и подверженный действию излучения. В течение ближайшей единицы времени атом может перескочить в любое другое m-ое стационарное состояние как с поглощением, так, вообще говоря, и с испусканием света. Точно указать, в какое именно состояние атом перескочит и когда именно это случится, принципиально невозможно. Задача физической теории сводится только к определению вероятности различных мыслимых переходов $n \to m$, спонтанных или же вызванных излучением. Эти вероятности могут быть определены и экспериментальным путем, если рассматривать не один атом, а множество одинаковых атомов или же множество экземпляров одного и того же атома, находящихся в начальный момент $t=0$ в одном и том же n-ом состоянии. Вероятность перехода $n \to m$ за данное время может быть при этом измерена относительным числом атомов (или экземпляров), перешедших за это время в состояние m.

Совершенно аналогичным образом трактуются в новой М. к. стационарные и всякие другие движения. Вместо того чтобы определить ход движения, т. е. описывать непрерывное изменение характеризующих его динамич. величин (координат, скоростей, сил и т. д.) во времени, как это делала или, вернее, пыталась делать старая механика и теория Бора, новая М. к. ставит себе задачу об определении вероятности того или иного состояния, т. е. тех или иных значений динамич. величин, характеризующих это состояние в функции времени. При этом предполагается, что одному и тому же начальному состоянию могут соответствовать, вообще говоря, любые конечные состояния. Это предположение находится на первый взгляд в полном противоречии со всеми нашими представлениями о детерминизме физических явлений как об однозначной определенности следствий причинами или конечного состояния начальным. Рассматриваемое противоречие смягчается однако тем обстоятельством, что новая М. к. исключает возможность точной характеристики состояний в том смысле, как это делается старой механикой. Так например, исследуя движение материальной частицы, напр. электрона, в данном «внешнем» силовом поле (напр. вокруг положительного ядра атома), старая механика фиксирует состояние частицы заданием шести величин: трех координат частицы x, y, z и трех проекций ее скорости v_x, v_y, v_z для некоторого начального момента времени $t=0$. При этом путем интегрирования уравнений движения оказывается возможным точно определить значения этих величин для любого последующего или предыдущего момента времени. Таким образом вероятность состояния, определяемого этими значениями, при данном исходном состоянии оказывается равной единице (вероятность «1» означает достоверность), а вероятность всякого другого значения — равной нулю (невозможность).

Если М. к. не знает этих двух крайностей — достоверности и невозможности — и считает все конечные состояния возможными (хотя и не одинаково вероятными) при одном и том же начальном состоянии, то это по крайней мере отчасти объясняется тем, что рассматриваемые «состояния» (как начальное, так и конечное) фиксируются сю не вполне определенным образом. Этот принцип неопределенности (в характеристике состояний), впервые вскрытый Гейзенбергом в 1927 г. (уже после формулировки основных законов М. к.), может быть формулирован в простейшем случае следующим образом: чем точнее фиксируется положение материальной частицы, тем менее точно может быть определена ее скорость, и, наоборот: чем точнее фиксируется скорость частицы, тем менее точно м. б. определено ее положение. В своем обосновании принципа неопределенности Гейзенберг исходил из анализа экспериментальных условий, в к-рых происходит наблюдение движения материальных частиц. При этом он отметил тот факт, что всякое наблюдение частицы, имеющее целью определение ее положения, неизбежно связано с нек-рым воздействием на нее (например воздействием света, если наблюдение осуществляется визуально), к-рое вызывает неконтролируемое изменение скорости частицы в момент наблюдения; аналогичным образом воздействие, требуемое для измерения скорости, неизбежно вызывает неконтролируемое изменение положения.

Естественно возникает вопрос: если дело обстоит таким образом, то почему же физики этого раньше не замечали? Ответ весьма прост: раньше физики занимались изучением макроскопических явлений, в к-рых участвуют большие количества материи и энергии; принцип же неопределенности, формулированный выше, дает себя чувствовать лишь в том случае, когда имеют дело с чрезвычайно маленькими частицами — электронами, атомами или молекулами. Можно показать, что степень неопределенности, вкрадывающаяся в совместное определение положения и скорости какой-нибудь частицы, тем больше, чем меньше ее масса. При обычных массах она совершенно ничтожна, в случае же очень маленьких масс (масса электрона) она становится весьма значительной. Если напр. координата x частицы измеряется с точностью Δx (т. е. заключена между x и $x+\Delta x$), то неконтролируемое изменение в скорости v_x частицы, по оси X, вызываемое измерением x, лежит (приблизительно) в пределах $\Delta v_x = \frac{h}{m} \cdot \frac{1}{\Delta x}$, так что $\Delta x \cdot \Delta v_x = \frac{h}{m}$. Здесь h обозначает постоянную Планка, m—массу частицы. Для электрона $m = 9 \cdot 10^{-28}$ г, и следовательно $\Delta x \cdot \Delta v_x \simeq 1$, между тем как для частицы с массой в 1 г $\Delta x \cdot \Delta v_x \simeq 10^{-27}$.

Величины, которые нельзя одновременно точно измерить, называются (канонически) сопряженными. Подобную сопряженную пару образуют между прочим энергия и время. Отсюда следует, что, фиксируя энергию атома в каком-нибудь стационарном состоянии, мы тем самым лишаемся воз-

можности говорить о времени, к к-рому относится то или иное положение электронов в атоме или, другими словами,—о конфигурации этих электронов в данный момент времени.

Итак, задача М. к. как учения о поведении элементарных частиц материи заключается в определении вероятности тех или иных состояний или событий в мире этих частиц, т. е. тех или иных значений величин, характеризующих эти состояния или события, при определенных значениях других величин, к-рые могут быть одновременно измеренными, и характеризующих условия, при к-рых исследуется рассматриваемая система частиц. Решение этой задачи было найдено еще до того, как она была правильно поставлена, и притом двумя совершенно различными путями. По одному пути, проложенному Бором, к этому решению, в несколько схематической форме, пришел Гейзенберг, отчасти в сотрудничестве с Бором и Иорданом. По другому пути, который был намечен еще в 1905 г. Эйнштейном, к нему пришли де-Бройль и Шредингер. Этот последний путь на первый взгляд не имеет ничего общего с рассматриваемой проблемой и относится к совершенно другой стороне квантовых явлений, которой в теории Бора уделялось очень мало внимания,—именно к вопросу о природе излучения, испускаемого (или поглощаемого) атомами при переходе из одного состояния в другое. Тот факт, что испускание и поглощение света осуществляется не непрерывным образом, а в виде отдельных «актов», был установлен Планком еще в 1900 году. Планк же установил основное соотношение $\varepsilon = h\nu$ между энергией $\varepsilon = W' - W''$, теряемой (или приобретаемой) атомом, и частотой ν—испускаемого (или поглощаемого) света. Сосредоточив свое внимание на атомах, Бор вывел отсюда свое представление о существовании прерывного ряда стационарных состояний. Эйнштейн же, сосредоточив свое внимание на испускаемом или поглощаемом свете, пришел к мысли о прерывной корпускулярной структуре последнего. Таким образом Эйнштейн вновь возродил ньютоновскую теорию света как потока частиц особой «световой субстанции». При этом однако для характеристики этих частиц Эйнштейн исходил уже не из ньютоновской механики, а из им же самим (в том же 1905 г.) установленной механики, теории относительности, в которой масса какой-либо частицы не является постоянной величиной, но зависит от скорости v ее движения по отношению к наблюдателю по формуле $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$, где m_0 — так называемая «покоящаяся» масса (при $v=0$), а c—скорость света. Для «световых» частиц, движущихся по определению со скоростью $v = c$, масса m может иметь конечное значение только в том случае, если «покоящаяся» масса m_0 равна нулю. Этим свойством, с точки зрения теории Эйнштейна, отличаются световые частицы, или кванты, от частиц обыкновенной материи (для которых $m_0 > 0$). Отсюда следует, что световые частицы имеют эфемерное существование, ограничивающееся временем их полета от одного атома, к-рым они испускаются, до другого атома, к-рым они поглощаются; в первом они «рождаются» за счет его энергии, а во втором погибают, превращаясь в его энергию.

Согласно эйнштейновской механике, частица массы m обладает (собственной) энергией $\varepsilon = mc^2$ и количеством движения $g = mv$. В случае световых квантов, $v = c$ и $g = mc$, т. е. $g = \frac{\varepsilon}{c}$. Полагая, по Планку, $\varepsilon = h\nu$ и принимая во внимание, что $c = \nu\lambda$, где λ— длина волны света (с точки зрения волновой теории), мы получаем $g = \frac{h}{\lambda}$, или, заменяя длину волны волновым числом $k = \frac{1}{\lambda}$, равным числу волн в 1 *см*, подобно тому как $\nu = \frac{1}{T}$ равно числу периодов в 1 *сек.*, мы получаем соотношения:

$$\varepsilon = h \cdot \nu \quad \text{и} \quad g = h \cdot k. \qquad (1)$$

Второй особенностью эйнштейновской теории света, отличающей ее от теории Ньютона и непосредственно выраженной в предыдущих соотношениях, является неразрывная связь корпускулярных представлений с волновыми. Введя представление о световых лучах как о потоке световых квантов, Эйнштейн отнюдь не отбросил прежнего представления о них как о линиях распространения световых волн, но пытался трактовать оба представления как два различных аспекта одного и того же физического явления. При этом соотношения (1), характеризующие «качество» света (т. е. частоту колебаний, или длину волны, с волновой точки зрения, и энергию, или количество движения квантов, с корпускулярной), были дополнены им следующим вполне естественным соотношением, характеризующим «количество», или интенсивность, света: концентрация световых квантов, т. е. число их n в единице объема, пропорциональна квадрату амплитуды ψ_0 световых колебаний в соответственной точке:

$$n \sim \psi_0. \qquad (2)$$

Двойственность представлений, введенную А. Эйнштейном в учение о свете, долгое время тщетно пытались устранить. Если такие явления «классической» оптики, как *интерференция* (см.) и *дифракция* (см.) света, находились в противоречии с корпускулярным представлением о свете, то ряд новооткрытых явлений, как например фотоэлектрический эффект, эффект Комптона (см. *Рассеяние света*) и т. д. находились в совершенном противоречии с волновым представлением и, наоборот, весьма естественным образом интерпретировались с точки зрения корпускулярной теории, и только через 20 лет после появления ее Л. де-Бройль в 1925 году впервые понял, что корпускулярно-волновой дуализм, введенный А. Эйнштейном в учение о свете, неустранним, что он является новым фундаментальным принципом физики и что он должен относиться не только к свету, но равным образом и к обыкновенной материи.

Простейшими элементами материи являются электроны. В свободном состоянии электроны наблюдаются в виде катодных лучей

(см. *Лучи корпускулярные*). Со времени их открытия в конце 90-х годов и вплоть до 1925 года катодные лучи трактовались как корпускулярное явление, т. е. как поток частиц, летящих от катода (отрицательного полюса) разреженной трубки. Де-Бройль дополнил это корпускулярное представление волновым, предложив рассматривать катодные лучи как особого рода волны, аналогичные световым, и связав частоту ν и длину $\lambda = \frac{1}{k}$ этих «катодных волн» с энергией $\varepsilon = mc^2$ и количеством движения $g = mv$ соответствующих частиц (электронов) теми же самыми соотношениями (1), к-рые были установлены Планком и Эйнштейном для света. Определяя произведение $\nu\lambda = w$ как скорость распространения катодных волн, мы получаем для нее формулу $w = \frac{c^2}{v}$. Таким образом волновая скорость оказывается обратно пропорциональной корпускулярной. Длина волны катодных лучей, вычисленная по формуле де-Бройля $\lambda = \frac{h}{mv}$, для лучей, обычно применяемых на практике, оказывается такого же порядка величиной, как и для рентгеновых лучей. Отсюда естественно было ожидать, что при отражении катодных лучей от кристаллов или прохождении их через очень тонкие пленки кристаллич. или микрокристаллич. вещества должны получаться такие же интерференционные и диффракционные явления, как и в случае рентгеновых лучей. Это предсказание теории блестяще подтвердилось в опытах Дэвисона и Джермера, Г. П. Томсона, Е. Руппа и др. В частности Руппу удалось наблюдать диффракцию катодных лучей от обыкновенной оптич. диффракционной решетки, причем измеренная им длина волны в точности совпадала с теоретической. Заметим, что скорость катодных лучей v м. б. вычислена из разности потенциалов V, примененной для их ускорения, по ф-ле: кинетическая энергия

$$c^2 \cdot m - c^2 \cdot m_0 = c^2 \cdot m_e \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) = e \cdot V,$$

где e—заряд электрона. В случае не слишком быстрых катодных лучей (v мало в сравнении с c) точное релятивистское выражение для кинетической энергии можно заменить обычным $\frac{1}{2}mv^2$, что дает $(mv)^2 = 2meV$, и следовательно

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}.$$

Выражая V в вольтах, а λ в ангстремах, получаем:

$$\lambda = \frac{1{,}1}{\sqrt{V}}.$$

Предыдущая формула представляет собой частный случай связи между длиной катодных волн и потенциальной энергией соответствующих частиц. Обозначая через W полную энергию одной из частиц, а через $U(x, y, z)$—потенциальную энергию ее в точке (x, y, z), имеем $\frac{mv^2}{2} = W - U$ и так. обр.

$$\frac{1}{\lambda^2} = \frac{2m}{h^2}[W - U(x, y, z)]. \qquad (3)$$

Распространение световых волн в какой-нибудь прозрачной среде определяется дифференциальным ур-ием:

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} - \frac{1}{w^2} \cdot \frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = 0, \qquad (4)$$

где ψ представляет собой колеблющуюся величину (напр. электрическое напряжение), а w—скорость распространения волн в данном месте. В случае монохроматич. колебаний зависимость ψ от времени выражается множителем $e^{-i2\pi\nu t}$ (или $\cos 2\pi\nu t$, или же $\sin 2\pi\nu t$), так что $\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = -4\pi^2\nu^2\psi$. Замечая, что $\frac{\nu}{w} = \frac{1}{\lambda}$, получаем в этом случае вместо (4):

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} + \frac{4\pi^2}{\lambda^2}\psi = 0. \qquad (5)$$

Это «волновое» ур-не, установленное для световых волн, было по аналогии распространено Шредингером в 1926 г. на волны де-Бройля. Подставляя в (5) выражение (3) для длины их как функции координат, получаем таким образом основное ур-ие Шредингера:

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2}(W - U)\psi = 0. \qquad (6)$$

Вопрос о физич. смысле волновой функции ψ, фигурирующей в этом ур-ии, был выяснен несколько позднее Борном. По аналогии с соотношением (2) для световых волн можно было бы рассматривать квадрат амплитуды колебаний, т. е. квадрат абсолютного значения (модуля) ψ, как меру числа электронов в единице объема вблизи данной точки. Эта интерпретация вполне естественна в том случае, когда ур-ие (6) применяется к б. или м. интенсивным катодным лучам, т. е. к большому числу электронов, при условии конечно, чтобы действием их друг на друга можно было пренебречь, ибо потенциальная энергия $U(x, y, z)$ характеризует лишь действие внешних сил на электрон, находящийся в точке (x, y, z). По существу однако ур-ие (6) д. б. применимо и к предельному случаю «одного катодного луча», образованного движением одного электрона в заданном внешнем силовом поле. В этом случае величину $|\psi|^2$, т. е. квадрат модуля функции ψ, следует трактовать, согласно Борну, как меру вероятности нахождения электрона в соответствующей точке. В случае большого числа экземпляров электрона, не действующих друг на друга, относительное число электронов в объеме $dV = dx \cdot dy \cdot dz$ должно быть пропорционально вероятности $|\psi|^2 dV$ нахождения одного из них в этом объеме. С этой точки зрения волны материи оказались волнами вероятности. Вместе с тем оказался решенным и вопрос о фактич. определении вероятности, по крайней мере в простейшем частном случае, к к-рому относится шредингеровское ур-ие (6), т. е. в случае движения одной частицы с постоянной энергией в постоянном (не зависящем от времени) силовом поле.

Решения ур-ия (6) имеют вид:

$$\psi = \psi^0(x, y, z) \cdot e^{i2\pi\nu t}, \qquad (7)$$

где частота $\nu = \frac{m_0c^2 + W}{h}$ представляет собой «волновую» меру энергии движения (в слу-

чае покоящейся частицы эта энергия сводится к постоянной $m_0 \cdot c^2$). Вероятность, или, вернее, «объемная плотность» вероятности $|\psi|^2 = |\psi^0|^2$, не зависит следовательно от времени. То обстоятельство, что время не входит в характеристику движения, непосредственно связано с точным определением энергии последнего. Во многих случаях ур-ие (6) допускает регулярные решения, т. е. такие решения, для к-рых функция ψ остается конечной, однозначной и непрерывной для всех значений x, y, z, лишь при определенных дискретных значениях энергии W. Эти дискретные значения (образующие бесконечный ряд) или, вернее, связанные с ними функции ψ, и соответствуют «стационарным движениям» или «квантованным состояниям» теории Бора. В других случаях значения W и ф-ии ψ образуют непрерывный ряд, соответствующий ряду движений непериодического характера, которые в теории Бора вовсе не рассматривались. Так напр., в случае электрона, тяготеющего к неподвижному положительному заряду с потенциальной энергией $U = -\frac{Ze^2}{r}$ (r—расстояние и Z—атомный номер), квантованным эллиптическим движениям соответствует дискретный ряд энергий: $W_n = -\frac{2\pi^2 \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot m}{h^2 \cdot n^2}$ ($n = 1, 2, 3, \ldots$ —«главное квантовое число») с волновыми ф-иями вида:

$$\psi' = f_{n-1}(r) \cdot e^{-\frac{r}{an}} \cdot y_e(\theta, \varphi),$$

[f_{n-1}—полином $(n-1)$-й степени, $a = \frac{h^2}{4\pi^2 Ze^2 n}$ — радиус первой квантовой орбиты теории Бора, а $y_e(\theta, \varphi)$—шаровая ф-ия l-го порядка ($l = 0, 1, \ldots, n-1$) от углов θ и φ, определяющих направление радиуса-вектора r]. Гиперболическим движениям электрона соответствует непрерывный ряд энергий W от 0 до ∞, с непрерывным рядом ф-ий ψ, изображающих (на больших расстояниях) стоячие шаровые волны определенной длины.

К важнейшим обобщениям и дополнениям предыдущих результатов относятся: а) Нестационарные процессы. Если в уравнении (6) заменить множитель W при ψ эквивалентным ему в виду (7) оператором $\frac{h}{2\pi i} \cdot \frac{\partial}{\partial t}$, то оно приобретает вид:

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} - \frac{4\pi i m}{h} \cdot \frac{\partial\psi}{\partial t} - \frac{8\pi^2 m}{h^2} U\psi = 0. \quad (8)$$

Это уравнение представляет собой непосредственное обобщение ур-ия Шредингера (6), применимое к случаю движения частицы в переменном силовом поле (зависящем от времени). Отметим, что это ур-ие по своей форме существенно отличается от обобщенного волнового уравнения (4). В частном случае постоянного силового поля общее решение ур-ия (8) имеет вид:

$$\psi = \sum_n c_n \psi_n, \quad (9)$$

где ψ_n—частные решения вида (7), т. е. вида:

$$\psi_n = \psi_n^0(x, y, z) \cdot e^{\frac{i2\pi}{h}(m_0c^2 + W_n)t}.$$

Коэфициенты c_n в (9) характеризуют относительные вероятности соответствующих стационарных состояний. Нормируя ф-ии ψ_n согласно условию $\int |\psi_n|^2 \, dV = 1$, мы получаем в силу свойства «ортогональности» этих ф-ий (ортогональность ф-ий ψ_n и ψ_m выражается равенством нулю интеграла $\int \psi_n \psi_m \, dV$)

$$\int |\psi|^2 dV = \sum |c_n|^2.$$

Т. о. при условии $\sum |c_n|^2 = 1$, величину $|c_n|^2$ можно трактовать как вероятность n-го состояния (при любом положении частицы).

Квадрат модуля ψ получается умножением этой ф-ии на величину, с ней комплексно сопряженную ψ, т. е. получающуюся из нее заменой $i = \sqrt{-1}$ на $-i$. Имеем следовательно:

$$|\psi|^2 = \sum_n |c_n|^2 |\psi_n|^2 + \sum_{n \neq m} \sum c_n c_m \psi_n^0 \psi_m^0 e^{\frac{i2\pi W_n - W_m}{h} t}. \quad (10)$$

Т. о. «плотность вероятности» слагается в рассматриваемом случае из ряда постоянных членов и из двойного ряда членов, гармонически колеблющихся с частотами:

$$\nu_{n,m} = \frac{W_n - W_m}{h}. \quad (11)$$

Согласно теории Бора этой ф-лой выражается частота света, испускаемого или поглощаемого электроном (атомом) при переходе из n-го состояния в m-е (или наоборот). С волновой же точки зрения $\nu_{n,m}$ представляет собой как бы частоту «биений» между n-м и m-м колебаниями при одновременном их «звучании». Исходя из этого обстоятельства, Шредингер попытался восстановить классич. (волновую) теорию испускания и поглощения света, заменив точечный электрон волновым электроном, электрич. заряд которого распределен в пространстве с объемной плотностью, пропорциональной $|\psi|^2 = \psi\psi$. Эта точка зрения не может считаться вполне правильной; однако в известных пределах она позволяет весьма просто интерпретировать квантовые законы излучения. Прежде всего из нее непосредственно следует, что, находясь в определенном стационарном состоянии, электрон не может давать излучения, т. к. при этом он эквивалентен объемному электрич. заряду с постоянной во времени плотностью. Далее интенсивность излучения, испускаемого при суперпозиции двух колебаний, соответствующих двум разным стационарным состояниям n и m, оказывается пропорциональной сумме квадратов модулей величин

$$x_{n,m} = \int x \psi_n \psi_m \, dV \text{ и т. д.} \quad (12)$$

Этот результат приводит в простейших случаях к «правилам отбора», найденным полуэмпирич. образом в теории Бора. Величины типа (12) называются матричными элементами (или компонентами) величины x по отношению к рассматриваемым состояниям. Совокупность этих элементов образует матрицу, заменяющую в М. к. «классическую» величину x.

Гейзенбергу удалось формулировать законы М. к. независимо от Шредингера и несколько ранее последнего, совершенно не вводя волновой функции и пользуясь исключительно матричными элементами различных величин. Заметим, что с корпускулярной точки зрения одновременное осуществление двух различных стационарных состояний с разными энергиями (W_n и W_m) представляется немыслимым. Соответственно этому испускание света частоты $\nu_{n,m}$ должно трактоваться его как результат перехода из n-го состояния в m-е (или наоборот). Матричные элементы $x_{n,m}$ или, вернее, квадраты их абсолютн. значений являются с этой точки зрения мерой вероятности подобных переходов. Что касается вынужденных переходов, связанных с поглощением или испусканием света или же с какими-нибудь другими возмущающими действиями, то их вероятность определяется квадратом абсолютных значений матричных элементов той дополнительной энергии, к-рою характеризуется это возмущение, по отношению к соответствующим невозмущенным состояниям (или, вернее, волновым функциям, их характеризующим). При $n=m$ матричные элементы представляют собой среднее значение соответствующей величины в состоянии $n=m$.

б) Переход к обычной (классической) механике. Предыдущие результаты относятся не только к элементарным частицам материи—электронам, но и к сколь-угодно сложным частицам, поскольку можно отвлечься от их внутреннего строения и трактовать их как материальные точки с определенной массой m. Поведение системы подобных «точек» характеризуется уравнением:

$$\left\{ \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{2m_k} \left(\frac{h}{2\pi i}\right)^2 \left[\frac{\partial^2}{\partial x_k^2} + \frac{\partial^2}{\partial y_k^2} + \frac{\partial^2}{\partial z_k^2}\right] + U\left(x_1, y_1, z_1, \ldots, x_n, y_n, z_n - \frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial t}\right) \right\} \psi = 0. \quad (13)$$

Если положить в нем

$$\psi = e^{-i\frac{2\pi S}{h}}, \quad (14)$$

то оно приобретает вид:

$$-\sum_{k=1}^{n} \frac{h}{4\pi i m_k} \left(\frac{\partial^2 S}{\partial x_k^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y_k^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial z_k^2}\right) + \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{2m_k} \left[\left(\frac{\partial S}{\partial x_k}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial y_k}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial z_k}\right)^2\right] + \frac{\partial S}{\partial t} + U = 0. \quad (15)$$

Если для всех рассматриваемых частиц отношение $\frac{h}{m_k}$ очень мало, как это имеет место для частиц обыкновенной материи, то первой суммой в левой части предыдущего уравнения можно пренебречь. При этом оно сводится к известному дифференциальному ур-ию Гамильтона-Якоби:

$$\sum_{k=1}^{n} \frac{1}{2m_k} \left[\left(\frac{\partial S}{\partial x_k}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial y_k}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial z_k}\right)^2\right] + \frac{\partial S}{\partial t} + U = 0, \quad (16)$$

в к-ром ф-ия S представляет собой т. н. «действие». Это уравнение описывает движение множества экземпляров рассматриваемой системы в координатном пространстве $x_1, \ldots, z_n$; при этом «плотность» множества (соответствующая вероятности $|\psi|^2$) не играет существенной роли, т. к. из него всегда оказывается возможным выделить один определенный экземпляр и проследить за его движением с помощью соотношений:

$$m_k \frac{dx_k}{dt} = \frac{\partial S}{\partial x_k}, \quad m_k \frac{dy_k}{dt} = \frac{\partial S}{\partial y_k}, \quad m_k \frac{dz_k}{dt} = \frac{\partial S}{\partial z_k}, \quad (17)$$

определяющих скорости частиц данной системы в произвольно избранной ее конфигурации. В случае ур-ия (15) подобное точное определение скорости при данной конфигурации оказывается невозможным, причем мерой неопределенности является для каждой частицы отношение $\frac{h}{m_k}$ (ср. Гейзенберговский «принцип неопределенности»). Поэтому оказывается невозможным и выделение одного какого-либо экземпляра из всего континуума,—и, вместо того чтобы следить за движением подобного экземпляра, мы оказываемся вынужденными ограничиться определением относительного числа экземпляров, находящихся в заданной конфигурации, т. е., другими словами, вероятности этой конфигурации $|\psi|^2$. Что касается скоростей, то им соответствуют в волновой механике «операторы»

$$v_{k,x} = \frac{p_{k,x}}{m_k} = \frac{h}{2\pi i m_k} \frac{\partial}{\partial x_n}, \quad p_{ky} = \frac{h}{2\pi i m_k} \frac{\partial}{\partial y_k}, \quad \ldots,$$

определяющие «вероятные значения» этих скоростей («математические ожидания») по формулам:

$$v_{k,x} = \int \ldots \int \psi \, (v_{kx} \psi) \, dv_1 \ldots dv_n. \quad (18)$$

Аналогичными формулами определяются вероятные значения всех других динамическ. величин, характеризующих рассматриваемую систему. Все эти величины представляются в волновой механике, вообще говоря, дифференциальными операторами (напр. оператор энергии); в частном случае операторов «нулевого порядка» получаются простые множители при ψ (как напр. в случае координат или потенциальной энергии).

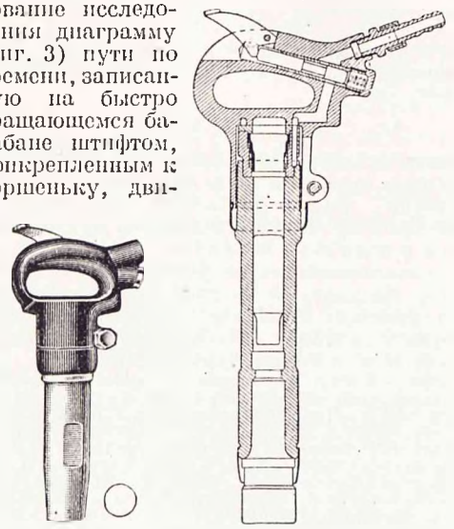
Лит.: Гааз А., Волны материи и квантовая механика, пер. с 2 нем. изд., М.—Л., 1930; Шредингер Э., Принципы волновой механики, «УФН», М.—Л., 1928, т. 8; Дарроу, Волновая механика, там же, 1929, т. 9; Гааз А., Основания квантовой химии, перевод с нем., М.—Л., 1930; Иордан П., Гипотеза световых квантов, «УФН», М.—Л., 1930, т. 10; Френкель Я., Происхождение и развитие волновой механики, «Природа», Л., 1930, январь; Frenkel J., Einführung in die Wellenmechanik, B., 1929; Sommerfeld A., Wellenmechanischer Ergänzungsband zum «Atombau und Spektrallinien», Braunschweig, 1928; Born M. u. Jordan P., Elementare Quantenmechanik. Berlin, 1930; Thirring H. und Halpern O., Prinzipien der Wellenmechanik, «Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften», Berlin, 1928, B. 7, 1929, B. 8; Jordan P., Die Lichtquantenhypothese, «Ergebnisse d. exakten Naturwissenschaften», Berlin, 1928; de Broglie L., Introduction à la méchanique ondulatoire, 1929; Weyl H., Gruppentheorie u. Quantenmechanik, Lpz., 1928; Heisenberg W., Die physikalischen Prinzipien d. Quantentheorie, Leipzig, 1930; Dirac P. A., Quantenmechanik. Leipzig. 1930.

Я. Френкель.

МЕХАНИКА ПРИКЛАДНАЯ, наука о машинах, механизмах и сооружениях, основанная на принципах теоретической механики. Задача М. п. в этом более узком смысле состоит в том, чтобы предсказать, как будет происходить то или другое движение части механизма или машины, какие пути будут описывать их отдельные точки и как велики будут у них скорости и ускорения. На основании полученных величин можно сделать заключение о тех силах, к-рые необходимы, чтобы увеличить или уменьшить кинетич. энергию механизма или машины. Если присоединить сюда еще исследование влияния внешних сил, ускоряющих или задерживающих движение той или другой части машины, то тем самым будет дан первый очерк явлений,

с которым имеет дело М. п. в том объеме, какой подразумевается под этим наименованием в СССР. М. п. отличается от теоретической механики по своему методу тем, что в большинстве изучаемых ею вопросов не имеется математически точной зависимости одних величин от других, а потому нельзя применить строгого математического анализа, и приходится довольствоваться графическими построениями с целью дать разрешение поставленной задачи.

За последние 30 лет целый ряд выдающихся ученых (Гартман, Виттенбауер, Толле и др.) дали образцы графич. построений, позволяющих с большой точностью и в то же время с большой простотой и ясностью выявить особенности задач из области М. п. Разберем в виде первого примера те явления, какими сопровождается работа пневматического зубила (фиг. 1 и 2), положив в основание исследования диаграмму (фиг. 3) пути по времени, записанную на быстро вращающемся барабане штифтом, прикрепленным к поршеньку, дви-



Фиг. 1. Фиг. 2.

гающемуся в цилиндре под влиянием сжатого воздуха. Диаграмма (s, t) имеет масштабы: по оси ординат 1 *мм*—a *м* и по оси абсцисс 1 *мм*—τ *сек*. Проводя в точках O, a, b, c, d и h касательные к кривой, получаем соответствующую величину скорости поршенька в *м/сек*:

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{a}{\tau} \cdot \frac{dy}{dx} = \frac{a}{\tau} \operatorname{tg} \varphi.$$

Максимальная скорость при подъеме поршенька будет в точке перегиба N кривой. Примем, что эта скорость выражена на диаграмме (фиг. 4) отрезком b *мм*, и построим эту диаграмму, отложив на оси ординат отрезок $O_1C = b$ и проведя через точку C параллель к касательной в точке N к кривой st до пересечения с осью абсцисс в точке O_1'. Из тр-ка $CO_1'O_1$ имеем: $O_1C = O_1'O_1 \operatorname{tg} \varphi$, или $b = k \operatorname{tg} \varphi$, а потому

$$v_{max} = \frac{a}{\tau k} \cdot b \ м/сек.$$

Для любой точки, взятой на диаграмме (s, t), можно провести с достаточной точностью касательную, а через точку O_1' ей параллельную линию. Соответствующая величина скорости для выбранной точки a:

$$v = \frac{a}{\tau_1 k} y_1,$$

где $y_1 = O_1'D = k \operatorname{tg} \varphi_1$.

Соединив вершины ординат y сплошной линией, мы получим диаграмму (v, t), причем масштаб по оси ординат

$$\beta = \frac{a}{\tau k} \ м/сек \text{ в } 1 \ мм.$$

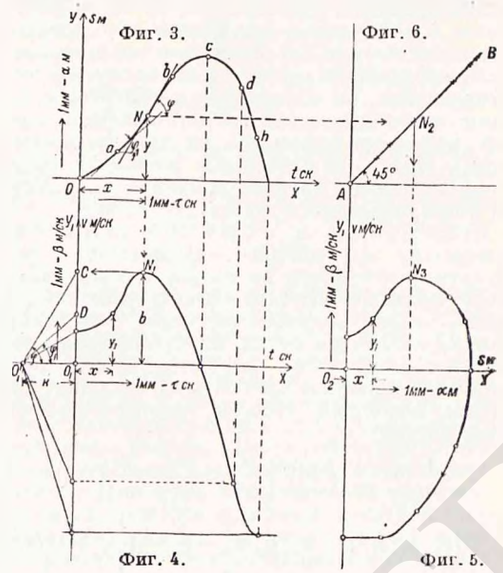
Построим далее диаграмму (v, s) (фиг. 5), соединяя диаграммы (s, t) и (v, t) при помощи вспомогательной линии AB (фиг. 6), проведенной под углом 45° к оси абсцисс; при этом масштабы пути и скоростей остаются прежними. Диаграмма (v, s) дает возможность составить представление об изменении кинетич. энергии поршенька при его подъеме и опускании. Воспользуемся известным выражением

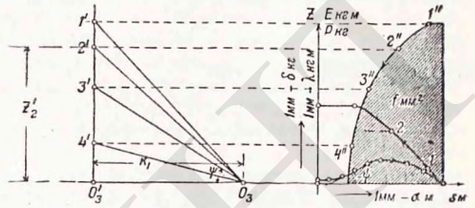
$$E = \frac{m v^2}{2},$$

где m—масса поршенька, и заменим скорость v через равную ей величину βy_1:

$$E = \frac{m\beta^2}{2} y_1^2.$$

В виду того, что нам предстоит начертить диаграмму (E, s) кинетич. энергии по пути поршенька, необходимо заменить площадь квадрата y_1^2 через площадь равновеликого прямоугольника az, где отрезок a следует выбрать таким образом, чтобы при y_{1max},





z_{max} был равен величине, удобной для построения диаграммы (E, s):

$$E = \frac{m\beta^2}{2} y_1^2 = \frac{m\beta^2 a}{2} z = \lambda z,$$

где $\lambda = \frac{m\beta^2 a}{2}$ (*кгм* в 1 *мм*)—масштаб кинетической энергии. При помощи вычислений или простых геометрич. построений можно найти величину $z = \frac{v_1^2}{a}$ и построить по точкам диаграмму (E, s) (фиг. 7). Изменение кинетич. энергии на величину dE происходит под влиянием внешней силы P на пути ds. В данном случае сила P получается от сжатого воздуха, поступающего в цилиндр из подводящей трубы, соединенной с компрессором. Так как $dE = P\,ds$, то

$$P = \frac{dE}{ds}$$

или

$$P = \frac{\lambda\,dz}{a\,dx} = \frac{\lambda}{a} \operatorname{tg} \psi.$$

где ψ есть угол, образуемый касательной к кривой (E, s). Для графического построения ординат кривой (P, s) проведем через точку O_3 (фиг. 8), лежащую на оси абсцисс, ряд линий, параллельных к касательным к кривой (E, s), причем построение выполним линий для той ветви кривой (E, s), которая соответствует обратному ходу поршенька непосредственно перед ударом его о зубило. Проведенные через точку O_3 линии отсекают на вертикали $O'1'$, восставленной перпендикулярно к оси абсцисс, ряд отрезков: $O_3'1'$, $O_3'2'$ и т. д., пропорциональных силам P_1, P_2, ..., так как из прямоугольного треугольника $O_3'2'O_3$ имеем: $O_3'2' = z_2' = k_1 \operatorname{tg} \psi$, следовательно

$$P_2 = \frac{\lambda}{a k_1} z_2',$$

или

$$P_2 = \delta z_2',$$

где $\delta = \frac{\lambda}{a k_1}$ — масштаб сил диаграммы (P, s) (фиг. 7). Отложим полученные отрезки z_1', z' ... от оси абсцисс на соответствующих ординатах диаграммы (E, s), затем соединим вершины отрезков линией $1''2''3''4''$; полученная кривая дает зависимость между силой P, ускоряющей поршенек, и пространством, пройденным им от того момента, когда скорость поршенька равнялась нулю. Заштрихованная площадь диаграммы пропорциональна работе и имеет масштаб: 1 *мм*^{2} — $a\delta$ *кгм*. Измерив площадь f в *мм*^{2} и помножив на масштаб, мы получим ту работу $A = fa\delta$ *кгм*, которую поршенек мог бы отдать на перемещение режущей кромки зубила, если бы не было упругих деформаций как самого зубила, так и бойка, в который ударяется поршенек. Указанные упругие деформации, аккумулируя часть работы во время удара, отдают ее обратно бойку, отбрасывая его со скоростью v_0 *м/сек*, причем v_0 можно определить по диаграмме (v, t), а потерянную кинетическую энергию по диаграмме (E, s) или непосредственно по формуле $E = \frac{mv_0^2}{2}$. Проверкой правильности построения диаграмм (E, s) и (P, s) служит равенство:

$$E_{max} = \frac{mv_1^2}{2} = fa\delta,$$

откуда можно получить величину скорости поршенька перед самым ударом

$$v_1 = \sqrt{\frac{2fa\delta}{m}} \ м/сек$$

и сравнить ее с той же скоростью, но полученной из диаграммы (v, t). Если величину dE получить аналитически, дифференцируя выражение кинетической энергии $E = \frac{mv^2}{2}$, то можно составить ур-ие:

$$dE = mv\,dv = m\frac{ds}{dt}\,dv = P\,ds,$$

откуда

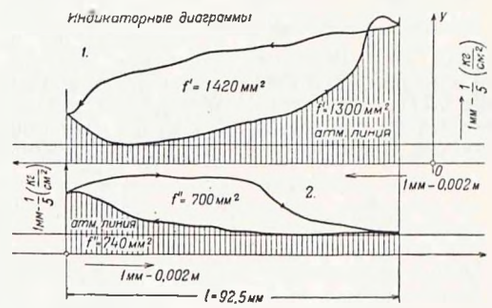
$$P = m\frac{dv}{dt} = mj;$$

поэтому диаграмма (P, s) дает также и зависимость величины ускорения j поршенька от пути, причем масштаб ускорений

$$\gamma = \frac{\delta}{m} \ м/сек^2 \text{ в } 1 \ мм.$$

Инж. Гределем были сняты при помощи оптич. индикатора диаграммы давлений воздуха под и над поршеньком. Эти диаграммы (уменьшенные вдвое) даны на фиг. 9: масштабы: по оси ординат: 1 *мм*—$\frac{1}{5}$ *кг/см*^{2} и по оси абсцисс: 1 *мм*—0,002 *м*, следовательно 1 *мм*^{2} площади диаграммы представляет работу $4 \cdot 10^{-4} \cdot F$ *кгм*, причем в этом выражении F — площадь поперечного сечения цилиндра в *см*^{2}. Измеряя площади индикаторной диаграммы в *мм*^{2} и помножая полученный результат на $Fa\delta$, мы найдем величину работы, затраченной на получение одного удара. Величина же полученной работы м. б. вычислена по формуле:

$$E_1 - E_0 = \frac{mv_1^2 - mv_0^2}{2}.$$

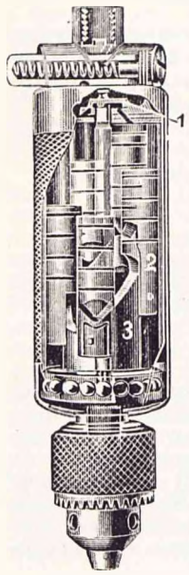


Фиг. 9.

Отношение полученной работы к затраченной носит название коэфициента полезного действия η. В данном случае величина η по Гределю равна 0,9.

Вторым примером будет служить сверлилка англ. системы Desoutter. В этом аппарате непрерывное вращательное движение сверла получается в результате возвратно-поступательного движения поршеньков, скользящих в каналах под действием сжатого воздуха, поступающего через гибкую трубу с торца аппарата и распределяющегося надлежащим образом по каналам благодаря вращающемуся диску *1* (фиг. 10). Каждый из поршеньков при своем движении скользит своим нижним концом, отмеченным на той же фиг. 10 цифрой *2*, по краю кулака *3*, заставляя вращаться его ось

по часовой стрелке. Предположим, что для движения поршеньков изобретатель принял гармонич. движение, и найдем профиль верхней кромки кулака *3*, исходя из равномерного вращения сверла. Гармонич. движение, как известно, можно получить, проектируя точку, двигающуюся равномерно по окружности, на диаметр этой окружности. На фиг. 12 представлена косинусоида, описываемая точкой, двигающейся по диам. круга гармонич. движением, причем сам круг двигается равномерно-поступательно в направлении оси абсцисс. Если же при вычерчивании косинусоиды принять ее шаг, отрезок *OП*, равным окружности кулака *3*, то, вырезав эту косинусоиду из бумаги, мы можем затем навернуть ее на кулак *3* и получить очертание контура, по которому должны скользить поршеньки (фиг. 11). Рассмотрим действие сил, передаваемых от поршенька кулаку *3* и преодолевающих сопротивление на режущей кромке



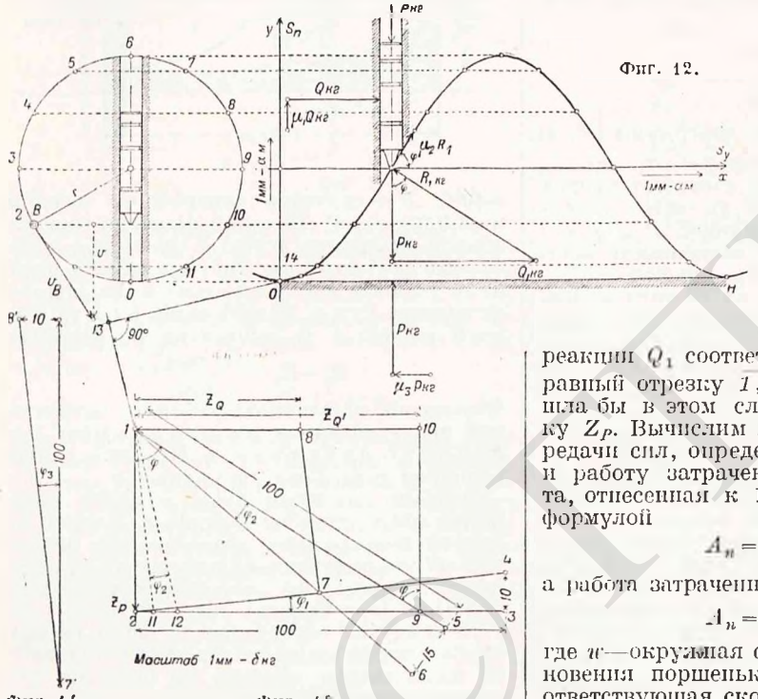
Фиг. 10.

Фиг. 11.

сверла, а также сопротивление трения на всех поверхностях, где имеется относительное скольжение или трение качения. Предположим, что на поршенек в его среднем положении давит сжатый воздух с силой P *кг* (фиг. 12); разложим эту силу на две компоненты: на силу Q_1 *кг*, действующую горизонтально, и на силу R_1 *кг*, действующую по нормали к поверхности соприкосновения поршенька с кулаком *3*. При этом разложении силы трения пока не были приняты во внимание. Обозначим силу трения на поверхности соприкосновения поршенька с цилиндром, в к-ром он двигается, через $\mu_1 Q$ *кг*, силу трения между поршеньком и наклонной поверхностью кулака — через $\mu_2 R$ *кг*, а силу трения между опорой кулака *3* и кожухом сверлилки—через $\mu_3 P$ *кг*. Коэфициенты μ_1, μ_2 и μ_3 м. б. заменены величинами: $\operatorname{tg}\varphi_1$, $\operatorname{tg}\varphi_2$, $\operatorname{tg}\varphi_3$, где φ—угол трения. Выбрав подходящий масштаб сил: 1 *мм*—δ *кг*, отложим на фиг. 13 вертикально отрезок $1{,}2 = Z_P = \frac{P}{\delta}$ *мм*. Проведем через точку *1* параллель нормали к косинусоиде в точке соприкосновения поршенька с наклонной поверхностью кулака *3*, а через точку *2* — параллель основной линии косинусоиды *OH* и отложим на этих линиях отрезки по 100 *мм*, а под прямым углом к этим отрезкам отложим в точке *5* отрезок *5,6* длиной в 15 *мм* и в точке *3*—отрезок *3,4* длиной в 10 *мм*, что будет соответствовать выбору коэфициента трения

$$\mu_1 = \operatorname{tg}\varphi_1 = 0{,}1 \text{ и } \mu_2 = \operatorname{tg}\varphi_2 = 0{,}15.$$

Проводя линии *1,6* и *2,4*, мы получим точку пересечения *7*, а через эту точку проведем линию *7,8* параллельно гипотенузе *7'*, *8'* отдельно начерченного на фиг. 14 прямоугольного тр-ка с катетами 100 *мм* и 10 *мм*, что соответствует коэф-ту трения $\mu_3 = \operatorname{tg}\varphi_3 = 0{,}1$. Отрезок $8{,}1 = Z_Q$ дает величину горизонтальной силы реакции согласно ф-ле $Q = \delta Z_Q$ *кг*. Предположим, что все коэфициенты трения μ_1, μ_2 и μ_3 одновременно превратились в нуль; тогда силе реакции Q_1 соответствовал бы отрезок $Z_{Q'}$, равный отрезку *1,10*, т. к. линия *9,10* пошла бы в этом случае параллельно отрезку Z_P. Вычислим кпд рассматриваемой передачи сил, определив работу полученную и работу затраченную. Полученная работа, отнесенная к 1 ск., м. б. представлена формулой



Фиг. 12.

Фиг. 13.

Фиг. 14.

$$A_п = Qw \text{ кгм/ск},$$

а работа затраченная дается формулой

$$A_з = Pv \text{ кгм/ск},$$

где w—окружная скорость точки соприкосновения поршенька и кулака *3*, а v—соответствующая скорость поршенька. Следовательно кпд η будет иметь вид:

$$\eta = \frac{Qw}{Pv} \text{ или } \eta = \frac{Z_Q \cdot w}{Z_P \cdot v};$$

но

$$w = \frac{ds}{dt} = a\frac{dx}{dt} \text{ и } v = \frac{ds_y}{dt} = a\frac{dy}{dt},$$

поэтому

$$\eta = \frac{Z_Q}{Z_P} \cdot \frac{dx}{dy} = \frac{Z_Q}{Z_P} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg}\varphi},$$

где

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{dy}{dx},$$

а φ есть угол наклона касательной к косинусоиде, проведенной в точке касания поршенька фасонной поверхностью кулака *3*. Этот угол образуют также линии *1,9* и *1,2* на фиг. 13. Следовательно

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Z_{Q'}}{Z_P}, \text{ а потому } \eta = \frac{Z_Q}{Z_P} \cdot \frac{Z_P}{Z_{Q'}} = \frac{Z_Q}{Z_{Q'}}.$$

Кпд в данный момент времени зависит от положения поршенька. При среднем положении поршенька получаем наибольший кпд; для других положений поршенька он будет меньше. Не трудно установить тот наибольший наклон касательной к косинусоиде, при котором кпд передачи делается равным нулю. Т. к. в этом положении $Z_Q = 0$, то проведем через точку *1* линию *1,11* параллельно линии *7,8* и отложим от этой линии угол φ_2, соответствующий углу трения, заключенному между линиями *1,5* и и *1,6*. Полученная линия *1,12* параллельна нормали в искомой точке косинусоиды, а проводя к линии *1,12* под прямым углом касательную к кривой *13,14*, мы получим ту точку *14*, в которой $\eta = 0$. Следует наконец отметить, что в действительном приборе все коэфициенты трения — μ_1, μ_2 и в особенности μ_3 — значительно меньше, чем были взяты нами, чтобы сделать построение многоугольника сил более понятным.

Передача вращательного движения между параллельными осями составляет одну из наиболее важных областей М. п. Ограничимся указанием на самые основные, руководящие положения и дадим соответствующие графич. построения. Предположим, что требуется передать вращение от вала O_1 к параллельному с ним валу O_2 так, чтобы отношение их угловых скоростей ω_1 и ω_2 было равно заданной величине. Это отношение м. б. величиной постоянной или переменной. На фиг. 15 представлены две плоскости *I* и *II*, перпендикулярные к осям O_1 и O_2 и вращающиеся вместе с ними. Предположим, что обе плоскости ограничены контурами *aa* и *bb* и касаются друг друга в точке *K*, причем нормали в точке соприкосновения должны совпадать друг с другом. Опустим на эту общую нормаль перпендикуляры из геометрич. центров вращения O_1 и O_2 и обозначим точки пересечения этих перпендикуляров с нормалью через *M* и *L*. Скорость точки *M*, $v_M = a \cdot O_1M \cdot \omega_1$, а скорость точки *L*, $v_L = a \cdot O_2L \cdot \omega_2$, где a—масштаб чертежа. Основное условие, при котором оба контура, *aa* и *bb*, будут иметь точку касания *K*, состоит в том, чтобы скорости точек *M* и *L*, как лежащих на общей нормали, были равны: $v_M = v_L$, или $O_1M \cdot \omega_1 = O_2L \cdot \omega_2$, откуда

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{O_1M}{O_2L}.$$

Обозначим буквой *P* точку пересечения общей нормали *ML* и линии O_1O_2 и, пользуясь подобием тр-ков O_1PM и O_2PL, заменим в основном уравнении отношение $O_1M : O_2L$ равным ему отношением $O_1P : O_2P$; тогда

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{O_1P}{O_2P}$$

или

$$\omega_2 \cdot a \cdot O_2P = \omega_1 \cdot a \cdot O_1P = v_p \text{ м/ск},$$

где v_p—скорость точки *P*, совмещающей в данный момент как бы две точки: одну, принадлежащую плоскости *I*, связанной с валом O_1, и другую точку, принадлежащую плоскости *II*, связанной с валом O_2. Распределение скоростей на линии O_1O_2 может быть представлено на фиг. 16 двумя тр-ками O_1NP и O_2NP с общей стороной *NP*, представляющей в масштабе 1 *мм*—β *м/ск* скорость точки *P*, т. е. v_p. Равенство отношений $\frac{\omega_2}{\omega_1}$ и $\frac{O_1P}{O_2P}$ позволяет сделать следующий вывод: закон передачи вращательного движения от вала O_1 к валу O_2 не изменяется с изменением расположения точки касания *K* на линии *ML*, причем линия *ML* может получать самые разнообразные направления, при одном лишь условии: она должна пересекать линию центров O_1O_2 в точке *P*. Следовательно конструктивное оформление передачи м. б. произведено самым разнообразным образом. Разложим скорость точки *P* на две компоненты: скорость v'_p вдоль линии *ML* и скорость v''_p под прямым углом к линии *ML*. Скорости v'_p будет соответствовать на фиг. 17 отрезок *NQ*, а скорости v''_p—отрезок *QP*. Если давать общей нормали различные направления, то вершина вектора *NQ*, точка *Q*, будет описывать окружность диаметра, равного *NP*, как это указано на фиг. 17. Скорость v'_p равна скорости точки *M* и скорости точки *L*:

$$v'_p = v_M = v_L,$$

так как эти точки лежат на одной и той же прямой, совпадающей с общей нормалью к контурам в точке соприкосновения. Дадим всем точкам нашей системы скорость равную, но противоположно направленную скорости v'_p. Точки *M* и *L* делаются при этом новом движении центрами вращения плоскостей *I* и *II*, причем угловые скорости этих плоскостей остаются прежними: ω_1 и ω_2. На фиг. 18 дано построение тр-ка скоростей для линии *MK* и тр-ка скоростей для линии *KL*. Скорость точки *K*, как принадлежащей контуру плоскости *I*, представлена отрезком *RK*, а скорость той же точки *K* как принадлежащей контуру плоскости *II*, представлена отрезком *SK*, а так как масштабы скоростей одинаковы (1 *мм*—β *м/ск*), то разность этих отрезков $RK - SK = RS$ пропорциональна относительной скорости скольжения одного контура по другому. Уничтожить это относительное скольжение можно лишь в том случае, если поместить

точку соприкосновения контуров, т. е. точку K, в точку P.

Нижн. Бонди предложил изучать трение в зубчатых зацеплениях экспериментальным путем, заменяя действительные зубчатые колеса двумя дисками, представленными на фиг. 19. Радиусы этих дисков соответственно равны MK и KL, а их окружные скорости м. б. получены по ф-ле:

$$v'_K = \omega_1 a\, MK \ м/сек,$$
$$v''_K = \omega_2 a\, LK \ м/сек.$$

Эти диски могут приводиться в движение при помощи двух нормальных зубчатых колес, показанных на фиг. 19 пунктиром. Радиусы этих колес MP и PL, а окружная скорость одна и та же v_P. Если диски будут прижиматься друг к другу той же силой, к-рая передается по нормали от плоскости I к плоскости II, то изнашивание дисков будет происходить так же, как и контуров aa и bb плоскостей I и II. Предположим, что с вала I на вал II передается момент M_I кгм; если обозначить силу, передаваемую по нормали к контурам, буквою U, то можно составить следующее уравнение:

$$M_I = U \cdot \alpha \cdot O_1 M,$$

откуда

$$U = \frac{M_1}{\alpha \cdot O_1 M} \ кг,$$

следовательно сила трения в точке соприкосновения будет иметь величину μU, где μ—коэф. трения, а секундная работа трения м. б. дана ф-лой:

$$A = \mu U (v'_K - v''_K) \ кгм/сек.$$

Эту ф-лу можно упростить, вводя угловую скорость в относительн. движении для плоскости II по отношению к плоскости I. Дадим всей системе вращательное движение относительно вала O_1 с угловой скоростью $(-\omega_1)$; при этом плоскость I сделается неподвижной, а плоскость II будет вращаться в данный момент относительно точки P (полюса мгновенного вращения в относительном движении) с угловой скоростью ω_p. Пользуясь фиг. 20, мы можем составить выражение скорости $\alpha \cdot O_2 W$ самой оси O_2:

$$v_{O_2} = (-\omega_1) \cdot \alpha \cdot \overline{O_1 O_2} = \omega_p \cdot \alpha \cdot \overline{PO_2},$$

откуда

$$\omega_p = -\omega_1 \frac{\overline{O_1 O_2}}{\overline{PO_2}}, \quad но \quad \overline{O_1 O_2} = \overline{O_1 P} + \overline{O_2 P},$$

следовательно

$$\omega_p = -\omega_1 \left(1 + \frac{\overline{O_1 P}}{\overline{O_2 P}}\right),$$

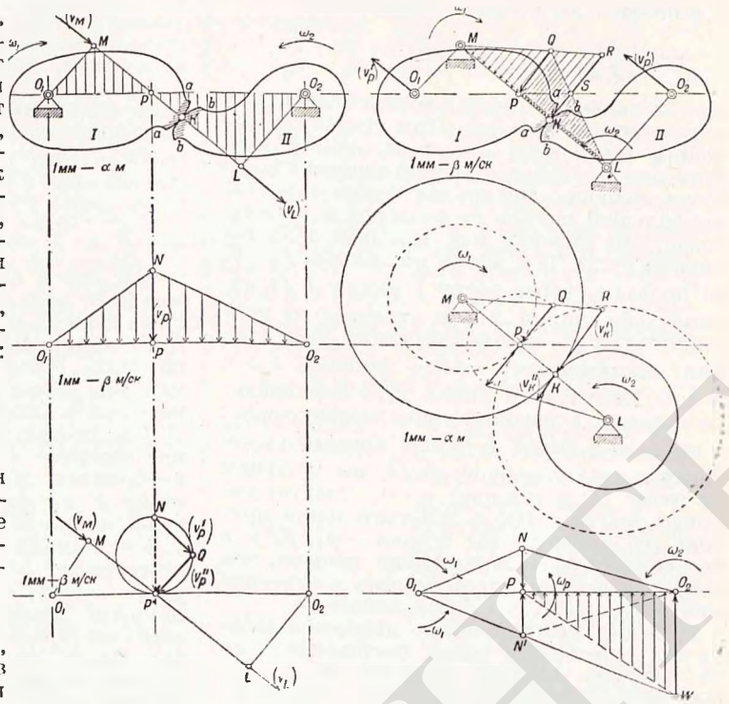
но $\frac{\overline{O_1 P}}{\overline{O_2 P}} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$, поэтому $\omega_p = -(\omega_1 + \omega_2)$. Скорость относительного скольжения $(v'_K - v''_K)$ равна $\alpha \cdot PK \cdot \omega_p$, а потому секундная работа трения выразится так:

$$A = -\mu \cdot U \cdot \alpha \cdot PK \cdot (\omega_1 + \omega_2) \ кгм/сек.$$

Предыдущий анализ движения предполагал вращение параллельных валов O_1 и O_2 в разных направлениях; если же вращение ω_1 и ω_2 д. б. осуществлено в одном направлении, то полюс P выйдет за пределы линии O_1O_2, а угловая скорость ω_p в относительном движении равна разности угловых скоростей ω_1 и ω_2. Поэтому выражение секундной работы трения будет иметь вид:

$$A' = -\mu \cdot U \cdot \alpha \cdot PK (\omega_1 - \omega_2) \ кгм/сек.$$

Эта ф-ла показывает, что работа трения в передачах с одноименным вращением меньше (при равенстве всех других условий), чем в передачах с разноименным вращением. Рассматривая вращательное движение за длительный промежуток времени, мы можем установить тот факт, что полюс P остается в одной и той же точке на линии O_1O_2, если отношение скоростей ω_1 и ω_2—величина постоянная. В этом случае геометрич. место точек, принадлежащих плоскости I и плоскости II, последовательно совпадающих при вращении этих плоскостей с полюсом P, дает окружности, описанные радиусом O_1P относительно центра O_1, и радиусом O_2P относительно центра O_2. Если же отношение скоростей ω_1 к ω_2 меняется в зависимости от времени, то полюс P перемещается по линии O_1O_2, а соответствующие геометрич. места точек плоскости I и II, совпадающих при вращении с полюсом P, образуют сложные кривые и м. б. найдены в большинстве случаев лишь графически.



Фиг. 15, 16, 17, 18, 19 и 20.

Рассмотрим случай передачи вращательного движения между параллельными осями

при переменном отношении угловых скоростей, причем примем, что диаграмма изменения ω_1 по времени имеет вид синусоиды, а соответствующее изменение ω_2 по времени дает диаграмму из ряда наклонных линий, как указано на фиг. 21. Расположим диаграммы (ω_1, t) и (ω_2, t) так, чтобы их начало координат совпадало с геометрич. центром вращения оси O_2 и O_1. Масштабы для диаграмм выбираем одинаковыми: 1 мм—τ сек. по оси абсцисс и 1 мм—σ сек.$^{-1}$ по оси ординат. Проектируя ординаты, соответствующие одному и тому же моменту времени $t = \tau r$, на оси ординат и соединяя полученные точки, мы получим на линии $\overline{O_1O_2}$ точку пересечения P, т. к. из основного ур-ия мы будем иметь:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{O_1 P}{O_2 P},$$

из подобия же треугольников O_1WP_{13} и O_2IIP_{13} получим:

$$\frac{\overline{O_1 P_{13}}}{\overline{O_2 P_{13}}} = \frac{\overline{O_1 W}}{\overline{O_2 II}} = \frac{\sigma y_2}{\sigma y_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1}.$$

На фиг. 21 построены этим методом точки P_{13} и P_2, причем точка P_{13} служит полюсом для момента времени $t_1 = \tau r_1$ и для момента времени $t_3 = \tau r_3$ благодаря симметрии диаграмм (ω_1, t) и (ω_2, t). Точки плоскостей I и II, совпадающие в рассматриваемый момент в точке P_1 на линии O_1O_2, находились за t_1 ск. до этого момента в точках P'_1 и P''_1. Эти точки м. б. найдены, во-первых, потому, что они лежат на дугах, описанных из O_1 и O_2 радиусами: O_1P_1 и O_2P_1, а во-вторых, потому, что углы, образуемые линиями $O_1P'_1$ и $O_2P''_1$ с линией центров O_1O_2, пропорциональны площадям f'_1 и f''_1, взятым над абсциссами x'_1 и x''_1 на диаграммах (ω_1, t) и (ω_2, t). На основании ур-ия:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

можем определить величину угла

$$\varphi = \int_0^t \omega \, dt,$$

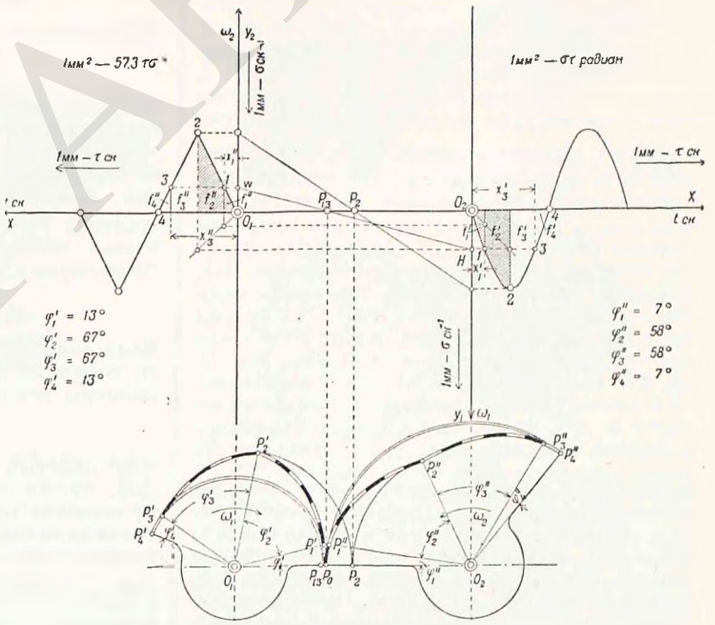
считая, что угол, соответствующий $t = 0$, тоже равен нулю; в нашем случае

$$\varphi'_1 = \sigma\tau \int_0^{x'_1} y_1 \, dx = \sigma\tau f'_1 \text{ радиан},$$

$$\varphi''_1 = \sigma\tau \int_0^{x''_1} y_2 \, dx = \sigma\tau f'' \ »$$

Вводя множитель 57,3, мы можем определить углы в градусах. Аналогично указанному определены на фиг. 22 радиусы и углы точек (P'_2, P''_2) и (P'_3, P''_3) и построено геометрическое место полюсов P в относительном движении. Эти кривые носят название полоид или центроид.

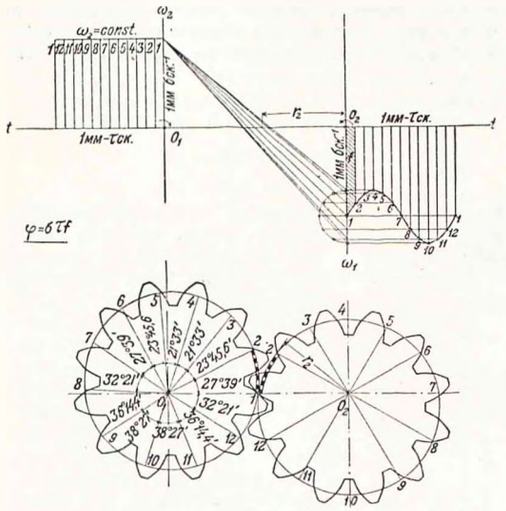
Положение точки P на линии $\overline{O_1O_2}$ при $t = 0$ в нашем случае не м. б. построено, так как при этом $y_1 = y_2 = 0$; поэтому можно применить приближенное построение, заключающееся в том, что полученные полоиды $P'_2P'_1$ и $P''P''_1$ продолжают до пересечения с линией $\overline{O_1O_2}$ в одной и той же точке P_0, причем касательная, проведенная к одной полоиде в точке P_0, д. б. касательной и к другой полоиде в той же точке. Основным свойством полоид является то обстоятельство, что движение одной полоиды по другой совершается без скольжения, а это свойство ставит требование, чтобы длина полоиды $P_0P'_1$ была равна длине полоиды $P_0P''_1$. Полученные полоиды в большинстве случаев не м. б. непосредственно использованы для передачи вращательного движения между параллельными осями. Чтобы создать передачу конструктивно правильной формы, необходимо снабдить полоиды зубцами так же, как это делается у обыкновенных цилиндрич. *зубчатых колес* (см.). В нашем первом примере полоиды получились в виде двух разомкнутых кривых, совершающих колебательное движение относительно центров валов O_1 и O_2. Второй пример, указанный на фиг. 23 и 24, дает замкнутые полоиды, приспособленные для вращения в одном и том же направлении. На фиг. 24 показаны также зубцы, профиль которых получен методом циклич. зацеплений. Зубчатые колеса этого вида носят в М. п. название «некруглые колеса».



Фиг. 21—22.

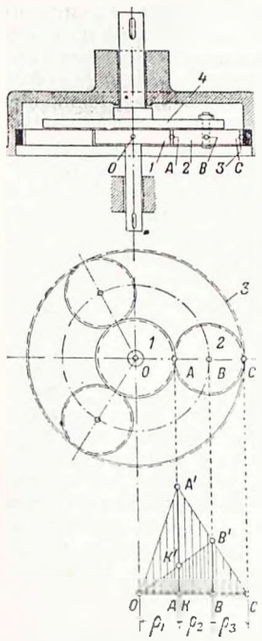
В практике современного машиностроения большое распространение получили так наз. «планетные передачи», вытесняя громоздкие ременные или обыкновенные зубчатые передачи. Схема такой «планетной передачи» простейшего типа дана на фиг. 25. Шестерня 1, соединенная намертво с валом, делающим большое число оборотов,

сцепляется с зубчатым колесом 2, а это колесо катится по зубчатому венцу 3. Ось зубчатого колеса 2 укреплена на шайбе 4,



Фиг. 23—24.

посаженной намертво на приводной вал, делающий уменьшенное (редуцированное) число оборотов, и поэтому эти приборы носят название «редукторов», хотя при помощи той же конструкции можно медленное вращение превратить в быстрое. Предположим, что угловая скорость шестерни 1 нам дана, а также известны радиусы всех зубчатых колес. Обозначим точку соприкосновения первой шестерни с зубчатым колесом 2 буквой A, ось зубчатого колеса 2 буквой B, а точку соприкосновения зубчатого колеса 2 с зубчатым венцом буквой C. Скорость точки A $v_A = \varrho_1\omega_1$ представим на фиг. 26 отрезком AA' мм, затем соединим точку A' с точками O и C. Распределение скоростей на радиусе ϱ_1 будет давать треугольник OAA', а распределение скоростей на диаметре зубчатого колеса 2 дает тр-к $AA'C$, причем точка C скорости не имеет, являясь в данный момент полюсом мгновенного вращения при качении колеса 2 внутри венца 3.



Фиг. 25—26.

Скорость точки B пропорциональна отрезку BB', а этот отрезок равен половине отрезка AA', т. к. точка B делит сторону AC треугольника пополам, а сам отрезок BB' направлен параллельно линии AA'. Поэтому

$$v_B = \frac{v_A}{2} = \frac{\varrho\omega_1}{2} \text{ м/ск},$$

но точка B соединена намертво с шайбой 4, а потому угловая скорость этой шайбы ω_2 найдется из ур-ия:

$$\omega_2 = \frac{v_B}{\varrho_1 + \varrho_2} = \omega_1 \frac{\varrho_1}{2(\varrho_1 + \varrho_2)}.$$

Следовательно передаточное число

$$\varepsilon = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\varrho_1}{2.\varrho_1 + \varrho_2)}.$$

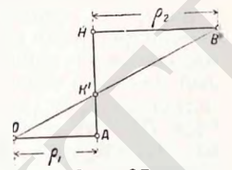
Соединим точку B' с точкой O. Полученный треугольник OBB' дает распределение скоростей на радиусе шайбы 4. Точка K, взятая на шайбе на расстоянии ϱ_1 от оси вращения, имеет скорость $v_k = \varrho_1\omega_2$ и м. б. представлена отрезком KK', а потому передаточное число ε м. б. определено также из соотношения:

$$\varepsilon = \frac{\varrho_1\omega_2}{\varrho_1\omega_1} = \frac{v_K}{v_A} = \frac{KK_1}{AA_1}.$$

Если дано передаточное число ε и радиус ϱ_1, то величина радиуса ϱ_2, а следовательно и размеры венца, м. б. найдены по ф-ле:

$$\varrho_2 = \varrho_1\left(\frac{1}{2\varepsilon} - 1\right)$$

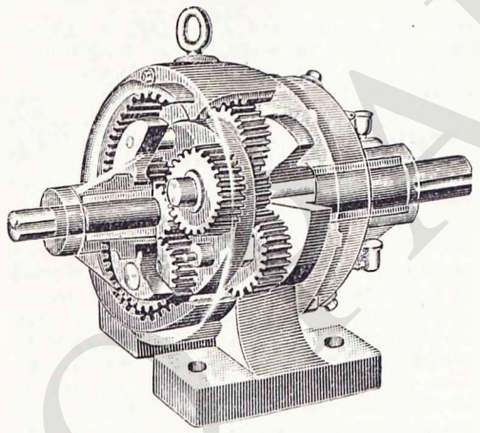
или простым построением, указанным на фиг. 27. Отложим по горизонтальному направлению радиус ϱ_1 и проведем к нему перпендикуляр через точку A; на этом перпендикуляре отложим выбранный отрезок AK' и вычисленную величину $AH = \frac{AK'}{2\varepsilon}$: проводя затем через точки O и K' наклонную линию, а через точку H параллель радиусу ϱ_1, мы найдем величину ϱ_2 в виде отрезка $\overline{HB'}$. Рассмотренная система редуктора дает небольшие конструктиви. размеры только при уменьшении числа оборотов не больше, чем в восемь раз. Если требуется большое уменьшение угловой скорости, то помещают один редуктор за другим (в одном кожухе), причем дают в одном редукторе уменьшение в четыре раза, в другом редукторе в пять раз. В результате работы сдвоенного редуктора мы получим уменьшение скорости в 20 раз. Общий вид двойного редуктора системы Геньшау дан на фиг. 28.



Фиг. 27.

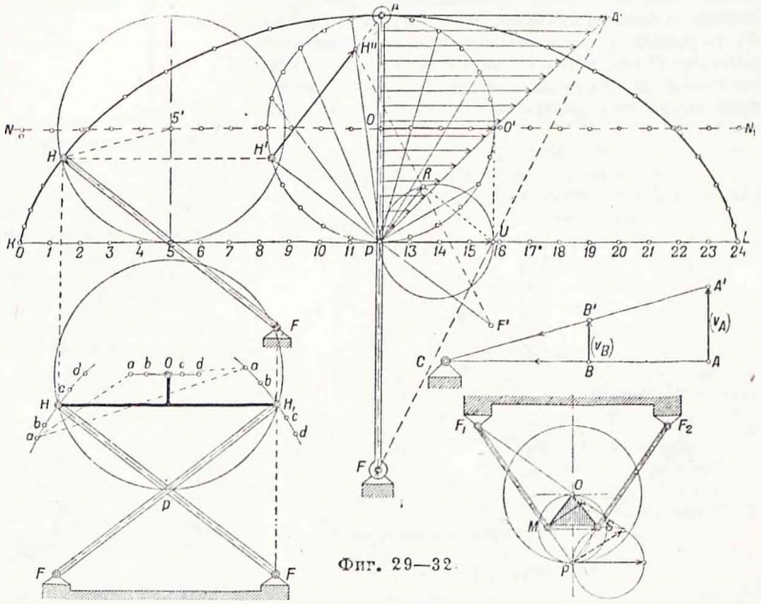
Перейдем теперь к рассмотрению траекторий, описываемых различными точками какой-нибудь системы, и к определению их радиусов кривизны. Для разрешения этой задачи мы будем пользоваться, как основным приемом исследования, методом проф. Гартмана, применяемым с успехом в тех случаях, когда полюс мгновенного вращения легко получить в пределах чертежа; во всех других случаях решение можно найти методом нормальных ускорений. Рассмотрим наиболее простой случай: круг катится без скольжения по прямой линии; требуется определить траекторию одной из точек окружности и построить для различных точек, взятых в плоскости круга, радиусы кривизны траекторий этих точек. Возьмем круг некоторого определенного диа-

метра $AP = d$ мм и развернем его окружность, равную πd мм, в прямую линию KL (фигура 29). Разделим эту длину на 24 равные части и перенесем эти деления



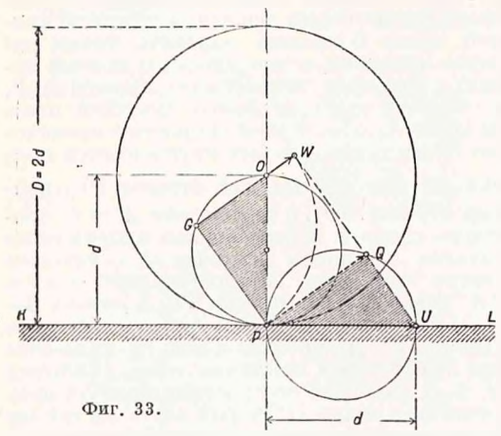
Фиг. 28.

на прямую линию NN_1, проведенную через центр круга O параллельно линии KL. Разделим также окружность круга на 24 равные части и проведем к точкам деления хорды из точки касания P круга с прямой KL. Кривая, описываемая точкой A, взятой на окружности, называется циклоидой и м. б. построена по точкам, получаемым при помощи засечек, напр. точка циклоиды H получается засечкой радиусом $H5'$ из точки $5'$ и засечкой отрезком $\overline{H5}$, равным хорде $\overline{II'P}$. Найдем центр кривизны циклоиды для положения точки A на вертикальном диаметре AP. Предположим, что круг катится по прямой KL со скоростью v_0 м/ск. Представим на фиг. 29 эту скорость центра круга отрезком $\overline{OO'}$, равным радиусу круга; следовательно распределение скоростей на вертикальном диаметре AP можно дать тр-ком скоростей PAA', проводя линию $\overline{PA'}$ через точку O'. Определение центра кривизны (точка F) сводится, по мысли проф. Гартмана, к построению треугольника скоростей для радиуса кривизны FA по двум отрезкам: первый отрезок соответствует скорости точки A и принят на фиг. 30 равным $\overline{AA_1}$, а второй отрезок соответствует (в том же масштабе) скорости другой точки того же радиуса кривизны. На фиг. 30 второй точкой выбрана точка B и соответствующий отрезок взят равным $\overline{BB'}$. Проведем линию $\overline{A'B'}$ и продолжим ее до пересечения с линией AB. Точка пересечения, отмеченная буквой C, даст искомый центр кривизны. В рассматриваемом нами движении круга по прямой точку B должна заменить точка радиуса кривизны, совпадающая в данный момент с полюсом мгновенного вращения P, а скорость v_B будет равна скорости центра круга v_0, т. к. с этой скоростью происходит смена точек, в к-рых круг касается прямой. На фиг. 29 отложен отрезок $\overline{PU}$, равный отрезку $\overline{OO'}$, и через точки A' и U проведена прямая, пересекающая направление радиуса кривизны в точке F — искомом центре кривизны. По построению отрезок $\overline{AA'}$ вдвое больше отрезка $\overline{PU}$, а потому радиус кривизны AF вдвое больше диаметра круга AP. Построение радиуса кривизны для любой точки циклоиды, напр. для точки H, м. б. заменено построением радиуса кривизны для точки II', к-рая взята на той же центральной окружности, причем линия $\overline{HH'}$ проведена параллельно линии KL. В точке H' скорость м. б. представлена отрезком $\overline{II'H''}$, равным хорде $\overline{II'P}$. Проведем через точку P прямую, перпендикулярную к линии $\overline{H'P}$, и спроектируем на эту прямую отрезок $\overline{PU}$. Полученный отрезок $\overline{PR}$ пропорционален скорости смены точек касания в направлении перпендикулярном к радиусу кривизны, а поэтому достаточно провести прямую через точки II'' и R, чтобы на пересечении этой прямой с продолжением линии $H'P$ получить центр кривизны—точку F'. Тр-к PRU подобен тр-ку $PII'A$ и вдвое его меньше, а потому $\overline{H'II''} = \overline{II'P} = 2\,\overline{PR}$, следовательно, радиус кривизны $H'F' =$ $= 2\,\overline{H'P'}$. Это равенство выражает известное из математики положение, что радиус кривизны циклоиды равен удвоенной



Фиг. 29—32.

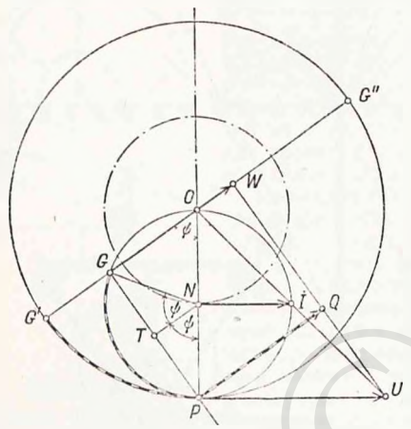
нормали. Этим свойством циклоиды можно воспользоваться, чтобы создать целый ряд новых механизмов, обладающих той особенностью, что одна из точек этих механизмов



Фиг. 33.

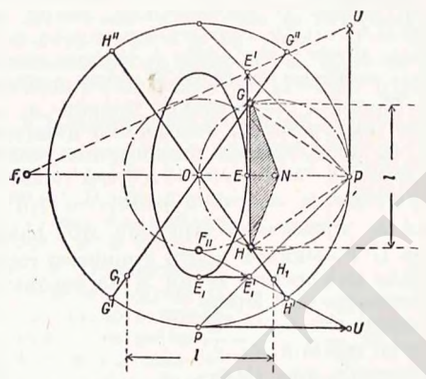
при его движении описывает на значительном протяжении почти прямую линию.

На фиг. 31 мы имеем механизм, состоящий из двух равных стержней, связанных шарнирно с опорой и друг с другом при помощи траверсы. Точка O этой траверсы занимает последовательно положения a, b, c и d, соответствующие перемещениям точек H и H_1. Расположение этой точки O соответствует центру круга, проведенного через точки P, H и H_1. Из чертежа видно, что траектория, описываемая точкой O, почти прямая линия. На фиг. 32 дано построение радиуса кривизны траектории точки M внутри круга, описанного на радиусе OP как на диаметре. Построение по идее ничем не отличается от построения радиуса кривизны точек циклоиды, но центр кривизны F_1 перешел в этом случае по отношению к полюсу P на ту же сторону, где расположена точка M. Взяв симметрично расположенную точку S и построив для нее центр кривизны F_2, мы получим механизм, известный в М. п. под названием «механизм Роберта».



Фиг. 34.

На фиг. 33 дано построение радиуса кривизны траектории точки G, взятой на окружности PGO, проходящей через полюс P и центр O катящегося круга. Скорость точки G, в масштабе $\beta = \frac{v_0}{OP}$, представлена отрезком GW равным отрезку GP. Построив окружность на отрезке $PU = OP$ и проводя линию PQ под прямым углом к линии PG, мы получим отрезок PQ, необходимый по предыдущему для построения радиуса кривизны траектории точки G. По тр-к PGO равен тр-ку PQU, а потому отрезок GW равен отрезку PQ; следовательно линия WQ не может пересечь линию GP, а потому радиус траектории точки G равен бесконечности, а сама точка G движется по п р я м о й, совпадающей с линией GO; это движение происходит лишь в течение бесконечно малого времени. Траектория точки G получает в этот момент перегиб. Т. к. траектория любой точки, взятой на окружности PGO, обладает указанным свойством, то круг $PGOP$ носит в М. п. название «круга перегибов» или «поворотного круга». Изменим условия движения и рассмотрим случай, когда в неподвижном круге радиуса OP (фиг. 34) катится без скольжения круг с диаметром равным

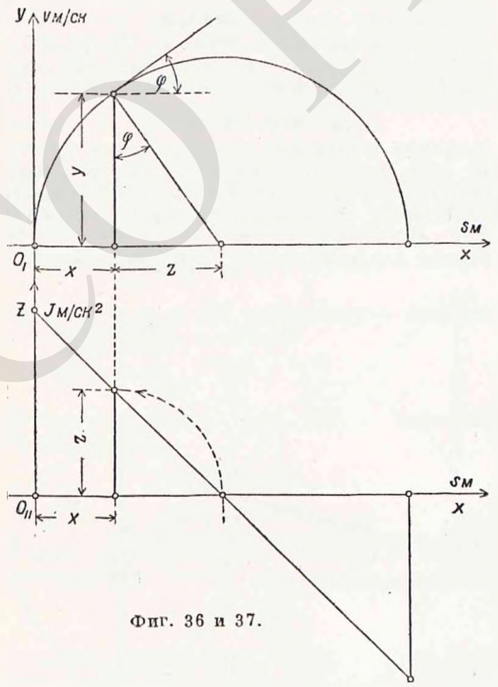


Фиг. 35.

OP. Предположим, согласно предыдущему примеру, что скорость центра N катящегося круга т-ка представлена на чертеже отрезком NI. Соединив центр O большого круга с точкой I и продолжив эту прямую до пересечения с касательной, проведенной к обеим окружностям в полюсе мгновенного вращения P, мы получим отрезок PU, пропорциональный скорости смены полюсов. Так как $PU = PO$, то построение радиуса кривизны траектории точки G, лежащей на катящейся окружности, приводит нас к выводу, что и в этом случае центр кривизны лежит в бесконечности, а точка описывает прямую линию $G'G''$ (фиг. 34). На фиг. 35 проведены под произвольным углом два диаметра $G'G''$ и $H'H''$; по этим линиям двигаются ползушки H и G, связанные друг с другом траверсой, длиной в l *м*. Найдем радиус кривизны траектории, описываемой точкой E, лежащей на середине траверсы HG. Скорость точки E представлена отрезком EE', равным расстоянию точки E до полюса мгновенного вращения P. Проводя линию UE' до пересечения с линией PE, мы получим в точке F_1 искомый центр кривизны. Тем же

приемом определен на фиг. 35 центр кривизны F_{II} для расположения траверсы G_1H_1, причем точка E заняла положение E_1 на вертикальном диаметре. Путь точки E при качении малого круга внутри большого будет представлен, как известно, эллипсом, и определенные выше радиусы кривизны позволяют легко установить очертания этого эллипса. Только что изложенный метод проф. Гартмана не требовал знания закона изменения скоростей, а потому ускорение движущихся точек могло быть какой угодно величины.

При определении радиуса кривизны методом нормальных ускорений наиболее простые результаты получаются в том случае,



Фиг. 36 и 37.

когда основное движение в системе принято как равномерное движение. Так, скорость v_N центра круга N, катящегося без скольжения внутри другого круга, будем считать постоянной величиной, следовательно угловая скорость относительно центра P мгновенного вращения $\omega_P = \text{Const}$. Диаграмма скорости точки G (фиг. 34) по диаметру $G'G''$, имеет вид полуокружности $G'PG''$, так как в любом положении точки G ее скорость, в масштабе $\beta = \frac{v_N}{NJ}$, пропорциональна отрезку $\overline{PG} = GW$. Диаграмма ускорений точки G найдется по диаграмме (v_s, s), на основании построения (фиг. 36) по ф-ле

$$j = \frac{dv}{dt} = v \cdot \frac{dv}{ds} = \frac{\beta^2}{a} \cdot y \cdot \frac{dy}{dx} = \frac{\beta^2}{a} \cdot z,$$

где z—отрезок, пропорциональный ускорению в рассматриваемой точке пути. В мертвых точках субнормаль z равна радиусу круга, а потому диаграмма ускорений точки G по пути s представляет прямую линию, наклоненную к оси абсцисс под углом 45° (фиг. 36 и 37). Зависимость нормального ускорения j_A^N точки A в криволинейном движении от радиуса кривизны ϱ траектории этой точки и ее скорости v_A дается, как известно, ф-лой

$$j_A^N = \frac{v^2}{\varrho}.$$

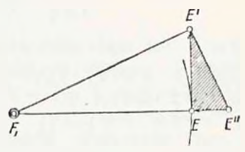
Применим эту ф-лу к движению по эллипсу точки E (фиг. 35). Если масштаб чертежа a *м* в 1 *мм*, а масштаб скоростей, по предыдущему, принят β *м/сек* в 1 *мм*, то

$$j_E^N = \frac{\beta^2}{a} \cdot \frac{\overline{EE'^2}}{F_1E} = \frac{\beta^2}{a} \cdot z_E^N.$$

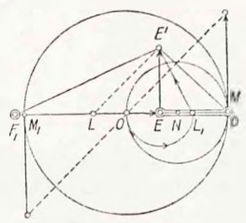
Построение отрезка z_E^N дано на фиг. 38, где тр-к EF_1E' взят равным такому же тр-ку на фиг. 35. Проведем линию $E'E''$ под прямым углом к линии $E'F_1$ и точку пересечения линии $E'E''$ с продолжением линии EF_1 обозначим буквою E''. Т. к.

$$\overline{EE''} = \frac{\overline{EE'^2}}{F_1E}, \text{ то } \overline{EE''} = z_E^N.$$

Следовательно, зная величину нормального ускорения j_E^N и представив это ускорение в масштабе $\gamma = \frac{\beta^2}{a}$ *м/сек²* в 1 *мм* отрезком EE'', мы можем получить радиус кривизны траектории точки E, если отложим под прямым углом к направлению нормального ускорения $E''E$ отрезок EE', дающий в масштабе β *м/сек* в 1 *мм* скорость точки E. Соединив точки E'' и E' и проводя перпендикуляр к линии $E'E''$ до пересечения в точке F_1 нормали к траектории точки E, получим радиус кривизны этой траектории в масштабе 1 *мм*—a *м*. Для определения нормального ускорения точки E в а б с о л ю т н о м движении найдем величину нормального ускорения той же точки в движении относительно точки M, совпадающей в данный момент с полюсом мгновенного вращения P. Скорость точки E представлена на фиг. 39 отрезком EE'. Если соединить точку E' с точкой M и провести линию $E'L$ под прямым углом к линии $E'M$, то получим отрезок LE, соответствующий нормальному ускорению в относительном движении. Ускорение точки M можно представить, по предыдущему, отрезком MO, т. к. точка M описывает при своем движении прямую линию, аналогично точке G (фиг. 34). При выбранном нами масштабе скорости отрезок $\overline{LE} = \overline{EE'} = \overline{EM}$, а потому нормальное ускорение точки E в абсолютном движении будет пропорционально отрезку



Фиг. 38.



Фиг. 39.

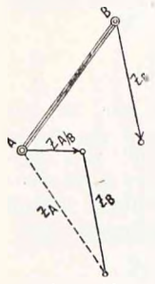
$$\overline{OE} = \overline{MO} - \overline{LE} = MO - EM.$$

Перекинув отрезок OE в положение EL_1 (фиг. 39) и соединив точки L_1 и E', мы получим радиус кривизны точки E, проводя $E'F_1$ под прямым углом к линии $E'L_1$.

Указанный только что метод нахождения нормального ускорения точки E в абсолютном движении есть частный случай теоремы Эйлера, выражаемой следующим геометрическим равенством:

$$j_A = j_B + j_{A/B}.$$

На фиг. 40 введены следующие обозначения: вектор Z_B представляет полное ускорение точки B в абсолютном движении; вектор $Z_{A/B}$ представляет полное ускорение точки A в движении относительно точки B; вектор Z_A представляет полное ускорение точки A в абсолютном движении. По теореме Эйлера три вектора Z_B, $Z_{A/B}$ и Z_A всегда образуют замкнутый треугольник.



Фиг. 40.

Применим эту теорему для нахождения ускорения ползуна в кривошипном механизме (фиг. 41). Разложим полное ускорение j_A и $j_{A/B}$ на компоненты, соответствующие нормальным и тангенциальным ускорениям:

$$j_A = j_A^N + j_A^T$$
$$j_{A/B} = j_{A/B}^N + j_{A/B}^T$$

и введем масштаб ускорений γ *м/сек²* в 1 *мм*, выбрав для j_A^N отрезок AO; но $j_A^N = a \cdot \overline{AO}\,\omega^2$, и следовательно $\gamma = a\,\omega^2$, где ω — заданная угловая скорость кривошипа, а a—масштаб чертежа. Разделив почленно ур-ие Эйлера на полученный масштаб ускорений, получим:

$$Z_A = Z_B + Z_{A/B},$$

или

$$Z_A^N + Z_A^T = Z_B + Z_{A/B}^N + Z_{A/B}^T.$$

Предположим, что угловое ускорение $\frac{d\omega}{dt}$ кривошипа тоже дано, поэтому вектор

$$Z_A^T = \frac{j_A^T}{a\omega^2}$$

м. б. вычислен по ф-ле

$$Z_A^T = \overline{AO}\,\frac{d\omega}{dt}\cdot\frac{1}{\omega^2}\ мм.$$

Величина $Z_{A/B}^N$ найдется по ф-ле

$$Z_{A/B}^N = \frac{j_{A/B}^N}{a\omega^2},$$

но

$$j_{A/B}^N = \frac{v_{A/B}^2}{a\cdot\overline{AB}},$$

где $v_{A/B}$ — скорость точки A относительно точки B. Из тр-ка AOb, подобного полюсному тр-ку APB, мы найдем:

$$v_{A/B} = a\,\omega\,\overline{Ab}.$$

В этом ур-ии множитель $a\,\omega$ представляет масштаб скорости. Следовательно

$$Z_{A/B}^N = \frac{\overline{Ab}^2}{\overline{AB}}\ мм.$$

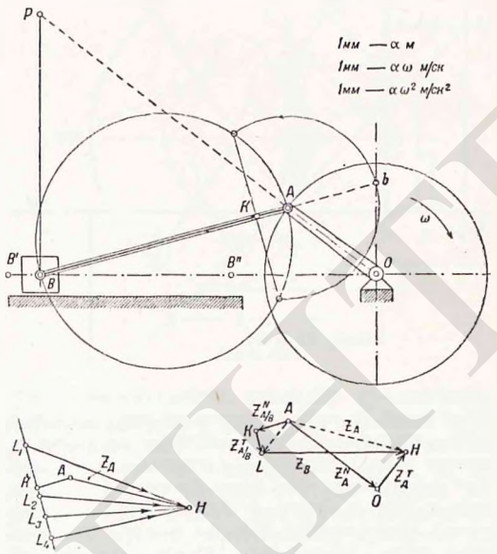
Этот отрезок можно построить, описав на шатуне AB как на диаметре окружность и засекая радиусом AB на этой окружности хорду. Проекция AK хорды на диаметр даст искомый отрезок. На фиг. 42 дано построение мн-ка ускорений: от точки A отложен вектор Z_A^N, равный и параллельный радиусу кривошипа AO, а перпендикулярно к к нему отложен вектор Z_A^T, равный отрезку OH, причем

$$\overline{OH} = \overline{AO}\,\frac{1}{\omega^2}\,\frac{d\omega}{dt}\ мм.$$

Далее через точку A проведена линия параллельная шатуну и на ней отложен отрезок AK, равный $Z_{A/B}^N$. Остается провести две прямых линии: 1) через точку K под прямым углом к шатуну и 2) через точку H параллельно линии движения ползуна до встречи этих линий в точке L. Полученный отрезок LH, помноженный на масштаб ускорений, дает величину ускорения ползуна B:

$$j_B = a\,\omega^2\,\overline{LH}\ м/сек^2.$$

Величина ускорения ползуна будет меняться, если изменять направление его движения, оставляя все остальные величины неизменными. В этом случае мн-к ускорений (фиг. 42) сохраняет неизменной точку H, а точка L перемещается по перпендикуляру



Фиг. 41—43.

к шатуну, в зависимости от наклона линии LH, как показано на фиг. 43. Линия мертвых точек у таких кривошипных механизмов не проходит через геометрич. ось вращения коренного вала.

Рассмотрим теперь влияние масс в движущейся системе кривошипного механизма и определим ту работу, которая требуется для ускорения или замедления поступательно двигающихся частей и шатуна. Обозначим вес поршня, штока и ползуна—через G_1 и вычислим массу всех реверсивно двигающихся частей

$$m_1 = \frac{G_1}{9{,}81}\left[\frac{кг}{м/сек^2}\right].$$

Кинетич. энергия массы m_1 найдется по ф-ле:

$$E_1 = \frac{m_1 v_B^2}{2}.$$

Но $v_B = \beta\cdot\overline{Ob}$, где β — масштаб скоростей, равный $\frac{v_A}{\overline{OA}}$, следовательно

$$E_1 = \frac{m_1 v_A^2}{2}\left(\frac{\overline{Ob}}{\overline{OA}}\right)^2.$$

Найдем кинетическую энергию шатуна E_2, выделив элементарную массу m (точка K на фиг. 44) и составив для нее выражение кинетич. энергии $\frac{mv_K^2}{2}$. Для всего шатуна имеем:

$$E_2 = \sum\frac{mv_K^2}{2} = \sum\frac{m(aPK)^2}{2}\omega_P^2 = \frac{\omega_P^2}{2}\sum m(aPK)^2.$$

Выражение $\sum m(aPK)^2$ соответствует динамическому моменту инерции I_P относительно полюса P. Но по известной ф-ле

$$I_P = I_S + m_2(a\cdot\overline{PS})^2,$$

где I_S—момент инерции шатуна относительно его ц. т. (точка S на фиг. 44), а m_2—масса шатуна, кинетич. энергия шатуна

$$E_2 = \frac{I_S\omega_P^2}{2} + \frac{m_2(a\cdot\overline{PS})^2\omega_P^2}{2}.$$

Выражение $\omega_P\,a\cdot\overline{PS}$ соответствует скорости ц. т. шатуна v_S, а потому

$$E_2 = \frac{I_S\omega_P^2}{2} + \frac{m_2 v_S^2}{2}.$$

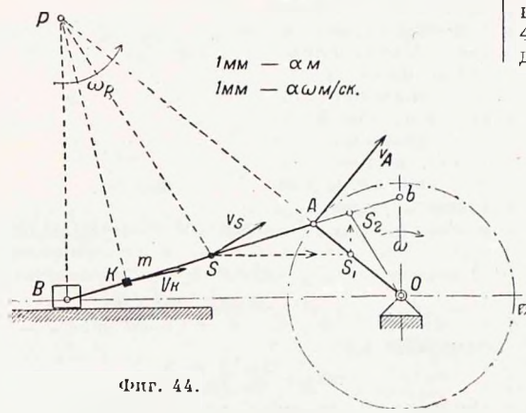
Далее из равенства $\omega_P(a\cdot\overline{AP}) = \omega(a\cdot\overline{AO})$ определим ω_P:

$$\omega_P = \omega\,\frac{\overline{AO}}{\overline{AP}},$$

но $\frac{\overline{AO}}{\overline{AP}} = \frac{\overline{Ab}}{\overline{AB}}$ (из подобия тр-ков AOb и APB) и потому

$$\omega_P = \omega\,\frac{\overline{Ab}}{\overline{AB}}.$$

Проведем в тр-ке AOb линию OS_2 параллельно линии SP. Точка S_2 делит отрезок



Фиг. 44.

Ab в том же отношении, в каком ц. т. делит шатун AB. Так как полюсом P пользоваться в кривошипном механизме невозможно, то остается получить точку S_2 построением, указанным на фиг. 44, где линия SS_1 проведена параллельно линии мертвых точек, а линия S_1S_2 — параллельно отрезку Ob. Отрезок OS_2 в масштабе $\beta = \frac{v_A}{\overline{OA}}$ *м/сек* в 1 *мм* представляет скорость ц. т. шатуна, а потому выражение для кинетич. энергии E_2 будет иметь вид:

$$E_2 = \frac{I_S\omega^2}{2}\left(\frac{\overline{Ab}}{\overline{AB}}\right)^2 + \frac{m_2}{2}v_A^2\left(\frac{\overline{OS_2}}{\overline{OA}}\right)^2.$$

Заменив в этом выражении величину угловой скорости ω равновеликим выражением $\omega = \frac{v_A}{a\cdot\overline{OA}}$ и вводя в формулу длину L шатуна в *м*, получим:

$$E_2 = \frac{v_A^2}{2}\left[\frac{I_S}{L^2}\left(\frac{\overline{Ab}}{\overline{OA}}\right)^2 + m_2\left(\frac{\overline{OS_2}}{\overline{OA}}\right)^2\right].$$

Общая кинетич. энергия всего шатунного механизма, за исключением маховика и кривошипа с валом, выражается так:

$$E = E_1 + E_2 = \frac{v_A^2}{2}\left[m_1\left(\frac{\overline{Ob}}{\overline{OA}}\right)^2 + \frac{I_S}{L^2}\left(\frac{\overline{Ab}}{\overline{OA}}\right)^2 + m_2\left(\frac{\overline{OS}}{\overline{OA}}\right)^2\right].$$

Величина, стоящая в скобках, имеет размерность массы и м. б. обозначена буквой $\mathfrak{M}'$:

$$E = \frac{\mathfrak{M}'\cdot v_A^2}{2}\ [кгм].$$

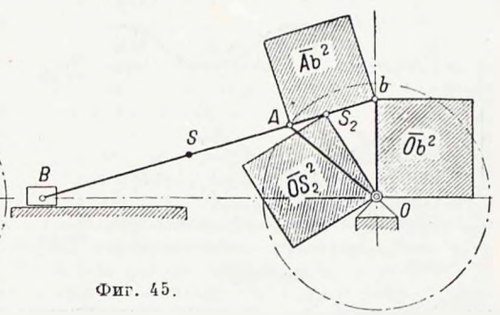
По предложению проф. Виттенбауера, переменная величина $\mathfrak{M}'$ носит название «приведенная масса», причем точкой приведения выбрана в нашем случае точка A—центр цапфы кривошипа. Введем обозначение:

$$\mathfrak{M}_1' = m_1\frac{\overline{Ob}^2}{\overline{OA}^2};\quad \mathfrak{M}_2' = \frac{I_S}{L^2}\frac{\overline{Ab}^2}{\overline{OA}^2};\quad \mathfrak{M}_3' = m_2\frac{\overline{OS_2}^2}{\overline{OA}^2}$$

и заменим площади квадратов $\overline{Ob}^2$, $\overline{Ab}^2$ и $\overline{OS_2}^2$ площадями прямоугольников: $y_1\cdot\overline{OA}$, $y_2\cdot\overline{OA}$, $y_3\cdot\overline{OA}$.

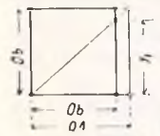
$$\mathfrak{M}_1' = \frac{m_1}{\overline{OA}}\cdot y_1;\quad \mathfrak{M}_2' = \frac{I_S}{L^2}\cdot\frac{1}{\overline{OA}}\cdot y_2;\quad \mathfrak{M}_3' = \frac{m_2}{\overline{OA}}\cdot y_3.$$

На фиг. 45 даны три квадрата, площади которых пропорциональны приведенным массам шатунного механизма для определенного положения кривошипа $\overline{OA}$ по отношению к линии мертвых точек, а на фиг. 46, 47 и 48 указан простой графический прием определения величин: y_1, y_2 и y_3. Построим диаграммы приведенных масс $\mathfrak{M}_1'$, $\mathfrak{M}_2'$ и $\mathfrak{M}_3'$ по пути цапфы кривошипа, выбрав для основания диаграммы отрезок h в 120 *мм* или в 240 *мм*. Разделив окружность на 24 части и построив для первых 12 делений соответ-

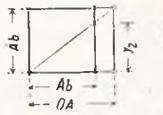


Фиг. 45.

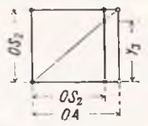
ствующие положения шатунного механизма, мы найдем отрезки Ob, Ab и OS_2, а по этим отрезкам построим или вычислим ор-



Фиг. 46.



Фиг. 47.



Фиг. 48.

динаты диаграмм y_1, y_2 и y_3. На фиг. 49 даны диаграммы $(\mathfrak{M}'_1, s_A)$, $(\mathfrak{M}'_2, s_A)$ и $(\mathfrak{M}'_3, s_A)$; масштабы этих кривых по оси ординат соответственно равны

$$q_1 = \frac{m_1}{OA}\ ;\ q_2 = \frac{I_S}{L^2}\cdot\frac{1}{OA}\ \text{и}\ q_3 = \frac{m_2}{OA},$$

а по оси абсцисс масштаб для всех кривых будет один и тот же: 1 *мм*—a' *м*, причем

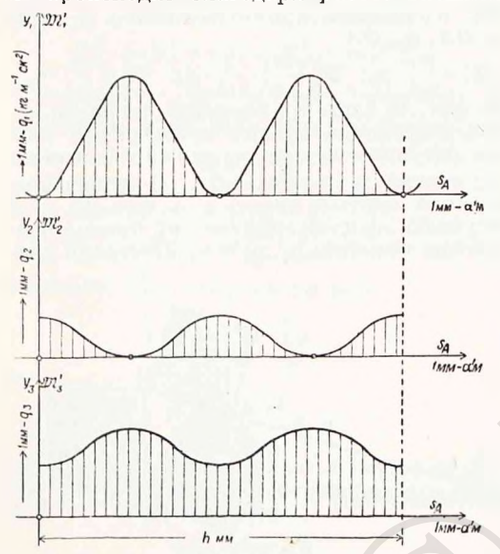
$$a' = \frac{2\pi\cdot a\cdot AO}{h},$$

где h—основание диаграммы в *мм*. Зная величину приведенной массы $\mathfrak{M}'$ для любого положения кривошипа, можно получить величину кинетической энергии E, если будем располагать знанием скорости цапфы кривошипа v_A. В простейшем случае v_A = Const, следовательно диаграммой кинетич. энергии может служить диаграмма $(\mathfrak{M}', s_A)$, вычерченная в масштабе:

$$1\ мм — q\ [кг\cdot м^{-1}\,сек^2]$$

$$E = \frac{\mathfrak{M}' v_A^2}{2} = \frac{v_A^2 q}{2}\cdot z = \lambda\cdot z,$$

где $\lambda = \frac{v_A^2 q}{2}$—масштаб кинетич. энергии. Изменение кинетич. энергии на величину dE происходит благодаря работе внешней



Фиг. 49.

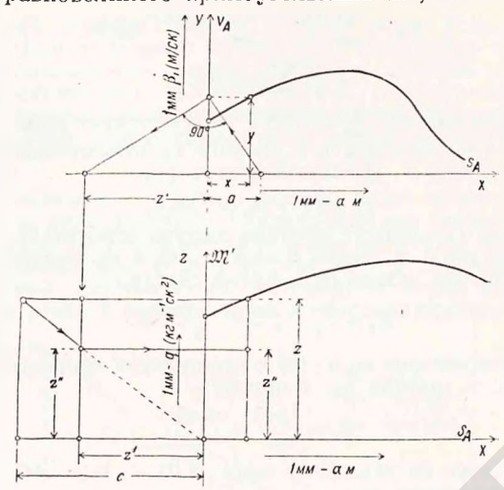
силы T на пути ds_A, причем направление силы T совпадает с касательной к кругу, описываемому цапфой кривошипа. Из ур-ия $T\cdot ds_A = dE$ имеем:

$$T = \frac{dE}{ds_A} = \frac{\lambda}{a'}\cdot\frac{dz}{dx} = \frac{\lambda}{a'}\cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

где φ—угол, образуемый касательной к кривой (E, s_A). В более сложном случае скорость v_A будет переменной величиной, зависящей от пройденного пути s_A. Предположим, что диаграмма (v_A, s_A) нам дана (фиг. 50), причем ординаты этой диаграммы представляют скорость v_A в масштабе β_1 *м/сек*—1 *мм*. Выражение для кинетич. энергии $E = \frac{\mathfrak{M}' v_A^2}{2}$ имеет в этом случае такой вид:

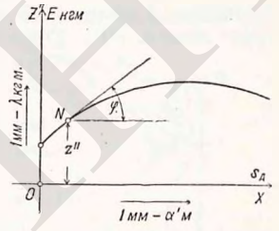
$$E = \frac{q\cdot\beta_1^2}{2}\cdot y^2 z.$$

Заменим площадь квадрата y^2 площадью равновеликого прямоугольника az', а пло-



Фиг. 50.

щадь прямоугольника $z'z$—площадью равновеликого прямоугольника—cz''. При этой замене $E = \frac{q\cdot\beta_1^2 ac}{2}\cdot z''$. На фиг. 50 дано построение ординаты z''. Проводя в точке N диаграммы (E, s_A) (фиг. 51) касательную, мы можем по углу φ определить согласно предыдущему силу T, необходимую для ускорения движущихся масс в этом более сложном случае. Приведенная масса имеет большое значение при решении общей задачи движения машины, включая и маховик. Если обозначить через I_M момент инерции маховика и принять радиус кривошипа равным R *м*, то приведенная масса маховика $\mathfrak{M}'_M$ найдется из соотношения:



Фиг. 51.

$$E = I_M\frac{\omega^2}{2} = \frac{\mathfrak{M}'_M v_A^2}{2} = \frac{\mathfrak{M}'_M R^2\omega^2}{2},$$

следовательно

$$\mathfrak{M}'_M = \frac{I_M}{R^2}\ \left[\frac{кг}{м/сек^2}\right].$$

На фиг. 52 масштаб приведенных масс—принят 1 *мм*—q $[кг\cdot м^{-1}\,сек^2]$, а потому для приведенной массы маховика мы получим ординату

$$Y = \frac{\mathfrak{M}'_M}{q}\ [мм].$$

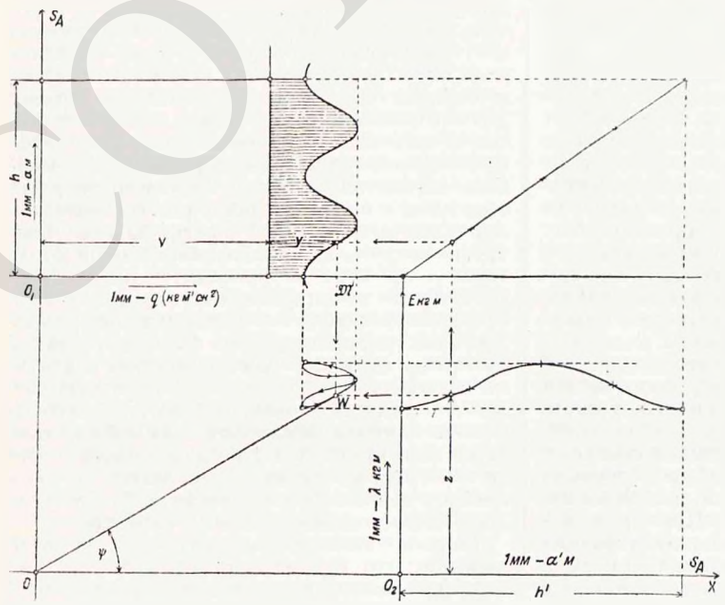
Предположим, что диаграмма кинетич. энергии (E, s_A) нам известна по работе сил движущих и сил сопротивления. На фиг. 52 эта диаграмма представлена в масштабе 1 *мм*—λ *кгм* по оси ординат и 1 *мм*—a' *м* по оси абсцисс. Вычертим новую диаграмму, т. н. диаграмму Виттенбауера, приняв для нее за абсциссы величины $Y + y$, а за ординаты величины z. Полученные точки W этой диаграммы лежат на замкнутой кривой, если рассматриваемое движение периодическое, в противном случае диаграмма получается разомкнутая. Из общего ур-ия

$$E = \frac{\mathfrak{M}' v_A^2}{2}$$

имеем:

$$v_A^2 = \frac{2E}{\mathfrak{M}'} = \frac{2\lambda}{q}\cdot\frac{z}{Y+y}.$$

Соединим одну из точек кривой Виттенбауера с началом координат O и обозна-



Фиг. 52.

чим через ψ угол наклона линии OW к оси абсцисс. Так как

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{z}{Y+y},$$

то

$$v_A = \sqrt{\frac{2\lambda}{q}}\cdot\sqrt{\operatorname{tg}\psi}.$$

По этой формуле мы можем определить скорость в различных положениях цапфы кривошипа.

Лит.: Мерцалов Н. И., Кинематика механизмов, М., 1916; Руженцев С. К. и Иванов Б. А., Зубчатая и червячная передача. Редуктора, М., 1930; Левенсон Л. Б., Кинематика механизмов, М., 1923; его же, Общая теория машин. Статика и динамика машин, П., 1923; Смирнов Л. П., Кинематика механизмов и машин, М.—Л., 1927; его же, Кинетика механизмов и машин, М.—Л., 1926; Reuleaux F., Lehrbuch d. Kinematik, B. 1 u. 2, Brschw., 1875—1900; Grashof F., Theoretische Maschinenlehre, B. 2, Hamburg—Lpz., 1883; Burmester L., Lehrbuch d. Kinematik, Lpz., 1886—88; Wittenbauer F., Graphische Dynamik, B., 1923; Hartmann W., Die Maschinengetriebe, Stg., 1913; Tolle M., Die Regelung d. Kraftmaschinen, 3 Aufl., B., 1921; Proeger F., Die Getriebekinematik als Rüstzeug der Getriebedynamik, «Forschungsarbeiten». Berlin, 1926, Heft 285; Grubler M., Lehrbuch d. technischen Mechanik, B. 1, Bewegungslehre, 2 Aufl., B., 1921; Pöschl Th., Lehrbuch d. technischen Mechanik, B., 1923; Beyer R., Einführung in die Kinematik, Lpz., 1928; Perry J., Angewandte Mechanik, Lpz., 1908; Kennedy A., The Mechanics of Machinery, L., 1907; Hartmann W., Ein neues Verfahren zur Aufsuchung des Krümmungskreises, «Z. d. VDI», 1893, p. 95; Kutzbach, «Maschinenbau». Berlin, 1927.

Л. Смирнов.

МЕХАНИКА СТРОИТЕЛЬНАЯ, комплекс прикладных дисциплин, излагающих методы расчета сооружений и их деталей. В понятие, обнимаемое этим комплексом, отдельными авторами и учебными программами втузов вкладывается весьма различное содержание. Повидимому правильнее всего М. с. рассматривать как объединение всех дисциплин, излагающих методы расчета сооружений в целом и их деталей, опирающихся на нек-рые общие для всех дисциплин основные гипотезы и положения. Основной задачей М. с. является расчет прочности как систем, представляющих собой отдельный стержень или брус, так и сооружений, являющихся сочетанием определенного числа отдельных стержней. Кроме изложения этой основной задачи курсы М. с. обычно заключают в себе и ряд вводных дополнительных глав, находящихся до нек-рой степени вне основного построения дисциплины. Отдельным разделам дисциплины в основной ее части дают названия *графической статики* (см.), *сопротивления материалов* (см.), статики сооружений. К вводным разделам дисциплины следует причислить такие главы, как статика сыпучих тел, и др. Следует также отметить, что все эти перечисленные главы не являются четко обособленными и самостоятельными частями предмета. Наоборот, все они связаны общностью гипотез и методики, сферы их действия в значительной степени переплетаются, и т. о. разделение задач М. с. по главам с вышеуказанными наименованиями представляется в значительной степени искусственным и произвольным. В самое последнее время, желая подчеркнуть общность методов М. с., с одной стороны, а с другой, учитывая неудобства в пользовании термином, позволяющим различное толкование, ряд авторов выдвигает новое название для этой дисциплины, именно—«теория сооружений». Наименование это, хотя и безусловно удачное, не получило однако еще достаточно широкого распространения. Многие курсы М. с. содержат в себе также главы и отдельные ссылки, заимствованные из «теории упругости», дисциплины, смежной с М. с. и обладающей некоторыми общими с ней исходными положениями, но все же принципиально от нее отличной как

в смысле особенностей методики, так и в смысле пределов применимости. Затем параллельно с рассмотрением вопросов аналитич. методами М. с. в отдельных курсах весьма часто приводятся результаты экспериментальных исследований и испытаний различных материалов как в пределах упругой деформации, так даже и за этими пределами, хотя область остаточной деформации принципиально исключается М. с. из рассмотрения. Обращение к результатам эксперимента объясняется необходимостью обосновать приложимость аналитич. выводов М. с. к употребляемым в инженерной практике материалам и сооружениям. С этой точки зрения соответствующее внесение в такую по существу аналитич. дисциплину, как сопротивление материалов, данных экспериментальных исследований представляется вполне обоснованным и даже необходимым.

Основными особенностями методики М. с. являются следующие три приема: 1) замена действительного сооружения условной расчетной схемой, 2) создание ряда рабочих гипотез и 3) ограничение своей задачи определенными рамками или пределами, именно такими, в к-рых принятые рабочие гипотезы не дают чрезмерного расхождения с действительными явлениями в материалах или сооружениях. Первый из этих приемов, т. е. замена сооружения его условной расчетной схемой, является основой построения всей дисциплины. Этот прием позволяет все разнообразие действительных сооружений подвести под одну из немногочисленных схем, разбираемых в М. с., что придает этой последней необходимую общность. Замена сооружения условной расчетной схемой основывается на сознательном игнорировании второстепенных моментов в работе материала и создании такой упрощенной схемы, которая отвечала бы только основным явлениям, имеющим место в данной конструкции. Примером использования этого приема является замена расчета напр. такого пространственного и жесткого сооружения, как мост, состоящего из сквозных ферм с клепаными узлами, расчетом плоской шарнирно-стержневой системы. Замена действительной картины условной применяется не только по отношению к схеме сооружения, но и к действующим на сооружение силам. Так, нагрузка, распределенная на весьма малую площадь по сравнению с основными размерами сооружения (напр. давление колеса паровоза), заменяется условной сосредоточенной силой, динамич. действие на мост от проходящего поезда заменяется действием системы условных статич. грузов, величина к-рых выбирается с учетом динамич. воздействия фактич. нагрузки. Это приведение динамической и повторно действующей нагрузки к статич. уровню, т. е. к действию однократно прилагаемой статич. нагрузки, применяется почти во всех главах М. с., за исключением особых разделов, посвященных динамич. нагрузке. Одной из основных целей этих посвященных динамике глав является выработка т. н. динамич. коэф-тов, т. е. теоретич. обоснование перевода нагрузки к статич. уровню. Создание рабочих гипотез в М. с. ведется также путем сознательного игнорирования второстепенных явлений и обстоятельств и приписывания материалу в абсолютной степени тех свойств, к-рыми он обладает только в относительных, хотя и очень значительных, размерах. Подобное создание рабочих гипотез путем идеализирования свойств изучаемого объекта является типичным не только для М. с., но именно в ней, как в прикладной отрасли знания, этот прием получает особо широкое развитие.

Основной рабочей гипотезой М. с. является признание за рассматриваемыми материалами свойств идеального упругого тела. Этой гипотезой предполагается, что 1) вещество тела равномерно и непрерывно распределяется по всему его объему и 2) что тело это однородно, т. е. обладает во всех своих точках и во всех направлениях одинаковыми свойствами, в частности упругими. При этом делается допущение, что выделяемые из этого тела бесконечно малые элементы будут иметь все те же физич. свойства, к-рыми обладает идеальное упругое тело в целом. Эти условные предположения, позволяющие применять в отношении явлений в материальных телах анализ бесконечно малых, находятся в принципиальном противоречии с современными представлениями о строении твердых тел, имея в виду, что большинство материалов представляет собой агрегат из компонентов, резко отличающихся между собой упругими и прочими свойствами. Однако представляется в определенных пределах возможным признавать и за такими материалами свойства однородного тела, если такой материал обладает однородностью в статистич. смысле этого слова, т. е. если выделяемые из тела конечные объемы, достаточно большие, чтобы заключать в себе несколько зерен или кристалликов каждого компонента агрегата, но все же весьма малые по сравнению с общими размерами тела, будут обладать одинаковыми средними свойствами.

В отношении идеальных упругих тел признается, что при отсутствии внешних сил тело при данной $t°$ имеет определенную форму и определенный объем. Для изменения формы и объема тела при неизменной $t°$ необходимо приложение внешних сил, причем предполагается, что определенному изменению формы тела соответствует и вполне определенная система сил, и обратно — определенной системе сил соответствует вполне определенное изменение формы тела. Случаи, выходящие из рамок этих предположений, рассматриваются в особых разделах дисциплины, посвященных неустойчивым формам равновесия. Далее предполагается, что по удалении внешних сил тело полностью возвращается к своей первоначальной форме, т. е. к естественному состоянию, за которым признаются свойства устойчивого равновесия. *Гистерезис* (см.) и влияние времени на протекание упругих явлений не учитываются. В тех случаях, когда рассмотрению подлежат тела явно неоднородные, как напр. железобетон, тела эти искусственно приводятся к схеме однородного тела введением т. н. приведенных площадей.

Второй основной гипотезой М. с. является условное предположение, что между деформацией и напряжением существует линейная зависимость, к-рая остается постоянной при любом знаке и любой величине напряжения (закон Гука). Это условное предположение в определенных пределах достаточно близко соответствует действительным явлениям в таком материале, как сталь, и значительно менее близко к действительности в отношении таких материалов, как чугун, камень, дерево и др. Все перечисленные выше гипотезы являются основными и для теории упругости. Специальной гипотезой М. с. является предположение, что плоские сечения, нормальные к оси бруса, остаются плоскими и после деформации в том случае, когда действие внешних сил вызывает в этих сечениях только нормальные напряжения (гипотеза Бернулли). Это предположение в отношении брусьев прямых или малой кривизны приводит к другому положению, именно — к гипотезе изменения нормальных напряжений по закону плоскости (гипотеза Навье).

Очевидно, что выводы М. с., основанные на перечисленных рабочих гипотезах, применимы только с определенными ограничениями именно лишь к тем случаям, в отношении к-рых сделанные в этих гипотезах предположения оправдываются с достаточной степенью точности. Прежде всего поэтому выводы М. с. могут применяться к явлениям лишь в пределах упругости, т. е. только при таких напряжениях, при которых остающиеся деформации практически равны нулю. Затем М. с. ограничивает свою задачу только такими явлениями, которые сопровождаются малыми деформациями и малыми по сравнению с общими размерами тела относительными перемещениями. Это ограничение позволяет считать, что деформации, вызываемые одной системой сил, не вызывают изменений в действии другой системы сил, приложенной к тому же сооружению. Отсюда в свою очередь вытекает возможность определять совокупное воздействие нескольких систем сил на тело как сумму воздействий каждой системы в отдельности. Это свойство аддитивности воздействий обычно носит название принципа сложения действия сил или независимости действия сил и является одним из важнейших принципов дисциплины. Следует однако отметить, что в число случаев, рассматриваемых М. с., входят также и такие, где принцип этот нарушается. К таким особым случаям относится напр. продольный изгиб, совместное действие изгиба и сжатия и др. Указанные выше ограничения принимаются также и теорией упругости. Соответственно же указанной выше специальной гипотезе М. с., именно гипотезе Бернулли, этой дисциплиной вводится и дополнительное ограничение своих задач, именно рассмотрению подвергаются лишь такие тела, поперечные размеры к-рых малы по сравнению с длиною тела. Только в отношении таких тел, называемых брусьями или стержнями, гипотеза плоских сечений оправдывается с достаточной для практики степенью точности. К сожалению, выводами М. с. нередко пользуются и вне рамок ее действительной применимости. К подобной экстраполяции можно прибегать только в качестве первого приближения и всегда следует учитывать при этом возможность крупных ошибок и погрешностей.

Общая схема построения М. с. может быть представлена в следующем виде: I. Теория внешних сил. Плоские и пространственные системы сил. Неподвижная и подвижная нагрузка. II. Теория отдельного статически определимого бруса (сопротивление материалов): а) теория сечения; б) основные явления в брусе в их чистом виде; чистые растяжения, сжатие, сдвиг, изгиб, кручение и местное действие сил; в) комбинированные явления; косой изгиб, совместное растяжение и изгиб и т. д.; г) построение изгибов, основанное на свойствах дифференциального уравнения упругой линии. III. Теория статически определимого шарнирно-стержневого сочетания брусьев (статика сооружений): а) аналитич. определение усилий в фермах; б) графич. определение усилий; в) влияние подвижной нагрузки; г) пространственные шарнирно-стержневые системы. IV. Основные теоремы о перемещениях в упругих системах. V. Расчет статически неопределимых систем. VI. Вводные главы М. с.: а) динамическое действие сил; б) продольные изгибы; в) статика сыпучих тел.

В первом разделе этой схемы изучаются нагрузки, действующие на тела, даются способы нахождения реактивных сил и исследуется характер воздействия совокупности активных и реактивных сил на сооружение. Рассматриваемые в М. с. действующие на сооружение нагрузки м. б. подразделены на нагрузки объемные, т. е. распределенные по объему тела; поверхностные, т. е. действующие на определенную поверхность; линейные, т. е. распределенные по длине оси бруса, и сосредоточенные. Так как природа всякой нагрузки всегда материальна, т. е. связана с объемом, то в строгом смысле слова все нагрузки принадлежат к числу объемных. Все же остальные из перечисленных категорий нагрузок являются по существу условным схематич. изображением действия сил на тело. В виду малых поперечных размеров бруса обычно пренебрегают тем обстоятельством, что фактически нагрузка бывает приложенной по поверхности бруса, и относят ее непосредственно к оси бруса, т. е. к линии, соединяющей ц. т. поперечных сечений тела. Только в отдельных монографиях (Белзецкий, Рудиев и нек-рые др.) учитывается влияние переноса нагрузки с поверхности на ось. Ось бруса и является тем условным расчетным сооружением, к которому относят действие внешних сил. В виду того что М. с. ограничивается только рассмотрением случаев с малыми перемещениями, представляется возможным считать внешние силы приложенными к оси бруса в ее недеформированном состоянии. Это обстоятельство позволяет к условиям равновесия упругих тел применять все те правила и положения, к-рые даются в теоретич. механике для абсолютно твердых неизменяемых тел. Поэтому для сложения, разложения и переноса сил, приложенных к сооружению, М. с. пользуется всеми графич. и аналитич. приемами, известными в *механике теоретической* (см.). К специальным практическим приемам М. с для сложения сил, лежащих в одной пло-

скости, нужно отнести метод т. н. *веревочного многоугольника* (см.), хотя это построение иногда изучается и в курсах теоретической механики. Для плоской системы сил теоретич. механика дает, как известно, три ур-ия равновесия, иначе говоря, три условия для нахождения реактивных сил. Т. о. сооружение, представляющее собой один жесткий диск, является статически определимым относительно реакции опор в том случае, если реакции опор содержат три и не более трех неизвестных. Наиболее частой комбинацией опор для плоского статически определимого сооружения являются две опоры, именно шарнирно-неподвижная опора и шарнирно-подвижная опора. В последнее время все больше входит в употребление условное изображение реактивных устройств при помощи опорных стерженьков. Определение реакций сводится к разложению равнодействующей внешних сил на три пересекающиеся в одной точке составляющие по направлениям трех опорных стерженьков. Для статически определимой относительно реакций опор жесткой пространственной системы для закрепления к опорам необходимы 6 опорных стержней, не пересекающихся по одной прямой, соответственно 6 условиям равновесия пространственной системы сил. После того как будут определены реакции опор, представляется возможным перейти к исследованию действия совокупности внешних сил на брус. В этом исследовании элемент ds бруса в любом мысленно проведенном сечении рассматривается как звено, соединяющее две группы активных и реактивных сил, именно группу сил, находящихся левее сечения, и группу сил, находящихся правее сечения. Действие этих двух групп сил на элемент ds сводится в общем случае к нормальной силе N_z, вызывающей растяжение или сжатие, моментам M_x и M_y, вызывающим изгиб элемента вокруг осей X и Y, лежащих в плоскостях сечения и являющихся главными осями инерции сечения, поперечным силам Q_x и Q_y, вызывающим сдвиги, параллельные осям X и Y, и крутящему моменту M_z, вызывающему кручение вокруг оси Z, совпадающей с касательной к оси бруса в месте сечения.

Для расчета прочности сооружения необходимо знать в каждом сечении бруса наибольшие значения изгибающих моментов, поперечных сил, нормальной силы и крутящего момента. Разрешение этой задачи при неподвижной нагрузке делается методом построения эпюр (см. *Балки неразрезные* и *Балки простые*), в случае подвижной нагрузки—методом *линий влияния* (см.). После того как одним из этих методов будут найдены в каждом сечении значения моментов, нормальных и поперечных сил, представляется возможным перейти собственно к расчету прочности, т. е. к определению внутренних напряжений и *деформаций* (см.) в брусе. Этому исследованию внутренних сил в брусе, возникающих при изгибе, сдвиге, сжатии или растяжении и кручении, в курсах М. с. обычно предпосылают раздел, посвященный исследованию сечения, или так назыв. теорию сечения. Это исследование заключается в нахождении определенных величин, характеризующих сечение с геометрической стороны и называемых *моментами инерции* (см.). Необходимость нахождения этих величин вызывается тем, что они входят в выражения, определяющие значения напряжений и деформаций при изгибе, сдвиге и кручении. В теории сечения подвергаются исследованию моменты инерции, центробежные моменты инерции и полярные моменты инерции, из к-рых в теории изгиба, кручения и сдвига находят применение в большинстве случаев т. н. главные центральные моменты инерции.

Как выше было указано, действие внешних сил на элемент бруса в общем случае сводится к изгибу относительно двух осей, сдвигу параллельно двум осям, растяжению или сжатию и кручению, действующим на элемент одновременно. Для упрощения рассуждений обычно в М. с. сперва расчленяют все эти явления, рассматривают каждое из них в отдельности и лишь затем, изучив эти явления в чистом виде, переходят к рассмотрению комбинированных явлений, т. е. сочетаний нескольких одновременно действующих на элемент бруса факторов. Эти чистые явления следующие: чистое растяжение или отрицательное растяжение — сжатие, т. е. случай, когда имеется только нормальная сила; чистый изгиб, т. е. случай, когда действие внешних сил на сечение сводится только к изгибающему моменту относительно одной из главных осей инерции сечения; чистый сдвиг, т. е. случай, когда на сечение действует только поперечная сила, и чистое кручение, т. е. случай, когда действие внешних сил на сечение сводится к крутящей паре. Чистые растяжение, сжатие, изгиб и кручение м. б. реально осуществлены. Что же касается чистого сдвига, то рассмотрение его в качестве явления, возникающего в результате действия на сечение поперечной силы, м. б. сделано только путем нек-рой абстракции, так как поперечная сила может иметь место только при наличии переменного момента. Поэтому изучение сдвига в чистом виде в результате действия поперечной силы Q следует рассматривать как нек-рое условное расчленение двух явлений, т. е. сдвига и изгиба, по существу действующих всегда совместно. Явление чистого сдвига в элементарной частице тела м. б. все же представлено как результат одновременного действия растяжения и сжатия по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Явление чистого сдвига имеет также место и при кручении.

В результате чистого растяжения или сжатия два смежных сечения бруса, оставаясь параллельными, взаимно удаляются или приближаются, причем это относительное линейное перемещение обратно пропорционально т. наз. жесткости при растяжении-сжатии. При изгибе два смежных сечения поворачиваются одно относительно другого, причем угол относительного поворота обратно пропорционален жесткости при изгибе. В кривом брусе явление осложняется тем, что нормальная сила вызывает дополнительный поворот смежных сечений, а изгибающий момент их дополнительное сближение или удаление. Как сжатию или растяжению, так и изгибу соответствует линейная деформация волокон, параллельных оси бруса. Соответственно этим деформациям в сечениях, нормальных к оси бруса, возникают внутренние силы—нормальные *напряжения* (см.), которые уравновешивают действие нормальной силы на сечение. При растяжении-сжатии напряжения эти распределяются при отсутствии резких изменений в сечениях бруса равномерно по сечению, при изгибе же напряжения растут пропорционально расстоянию от той оси, относительно которой происходит изгиб. В случае резкого изменения сечения бруса напряжения распределяются по более сложному закону, и задача становится неразрешимой методами М. с. Величину напряжений находят, исходя из гипотезы плоских деформаций. Для брусьев малой кривизны предположению, что плоские сечения остаются плоскими и после деформации, соответствует и допущение того, что нормальные напряжения изменяются по сечению по закону плоскости (закон Навье). В результате сдвига два смежных сечения перекашиваются одно относительно другого. Величина этого перекоса обратно пропорциональна т. н. жесткости сечения при сдвиге. Соответственно этому перекосу в сечении возникают тангенциальные напряжения. Эти напряжения распределяются по сечению неравномерно. Закон их распределения излагается в теории изгиба. В некоторых случаях (напр. при расчете заклепок на срез, врубок на скалывание) распределение тангенциальных напряжений чисто условно принимается равномерным.

При кручении бруса два смежных сечения поворачиваются или закручиваются одно относительно другого вокруг оси бруса. Угол закручивания при кручении обратно пропорционален так наз. жесткости при кручении. Явление кручения в курсах сопротивления материалов рассматривается обычно только для бруса круглого сечения, в отношении к-рого можно считать, что плоские сечения остаются при малых деформациях плоскими и после закручивания бруса на определенный угол. Деформация кручения в этом предположении сводится к повороту одного сечения относительно другого вокруг оси бруса, т. е. к относительным сдвигам точек сечений; напряжения при кручении следовательно являются напряжениями тангенциальными. Величина сдвига, а следовательно и напряжения, при кручении бруса круглого сечения пропорциональна расстоянию данной точки сечения от оси. Значение этого напряжения находят, исходя из условий равновесия сил внешних и внутренних, приложенных к сечению. При кручении стержней некруглого сечения поперечные сечения стержней перестают быть плоскими. В отношении таких стержней элементарные методы М. с. не могут дать точного решения. Поэтому обычно курсы М. с. ограничиваются приведением для ряда сечений готовых значений напряжений и углов закручивания, полученных или путем применения методов теории упругости или путем экспериментального исследования. Некоторые курсы М. с. излагают исследование стержней эллиптических и прямоугольных. К более углубленным методам расчета, чем те, которыми обычно располагает М. с., приходится прибегать и при исследовании тех напряжений, которые возникают в результате резких изменений сечений по длине бруса, подвергнутого кручению.

Помимо напряжений, возникающих в сечении в результате действия на него совокупности сил, лежащих вне сечения, в брусе возникают напряжения и от действия на элемент нагрузки, расположенной непосредственно в данном сечении. Напряжения, возникающие в результате такой нагрузки, называются местными. Точное нахождение величины этих напряжений не м. б. получено методами М. с., но в простейших случаях приближенное решение м. б. получено и элементарным путем.

Исследование каждого из чистых явлений, т. е. чистого растяжения-сжатия, сдвига, изгиба и кручения, позволяет, пользуясь принципом независимости действия сил, изучить и комбинированные, или сложные явления, т. е. сочетания двух или более чистых явлений. Из таких сложных явлений прежде всего излагается явление изгиба бруса системой сил, лежащих в плоскости оси бруса и параллельных одной из главных осей инерции сечения. Случай этот представляет собой сочетание действия на брус изгибающего момента и поперечной силы. К числу комбинированных явлений надо отнести и случай косого изгиба, т. е. изгиба, при к-ром вектор изгибающего момента не совпадает с одной из главных осей инерции сечения. Случай этот может рассматриваться как совместное действие двух чистых изгибов относительно каждой из главных осей сечения. Более сложным является случай, к-рый имеет место при действии на сечение силы, параллельной оси бруса, но не проходящей через ц. т. сечения. Этот случай, называемый иногда в курсах М. с. неравномерным сжатием, а иногда общим случаем действия сил, приводится к совместному действию двух чистых изгибов и чистого растяжения-сжатия. Наконец в курсах М. с. излагается и случай комбинированного изгиба и кручения. В тех случаях, когда в результате сложного сопротивления бруса в его сечениях, нормальных к оси, возникают как нормальные, так и тангенциальные напряжения, необходимо бывает для суждения о прочности подвергнуть исследованию и т. н. косые напряжения. Это наименование дается напряжениям, имеющим место в площадках, наклоненных под нек-рым углом к сечению, нормальному к оси бруса. Величины этих напряжений меняются в зависимости от указанного угла наклона площадки. Максимальные и минимальные значения косых нормальных и косых тангенциальных напряжений носят название главных нормальных и главных тангенциальных напряжений. Для того чтобы судить по найденным деформациям и напряжениям о необходимых размерах проектируемого сооружения или о запасе прочности в сооружении существующем, необходимо знать, каким значениям напряжений или деформаций или сочетаниям их соответствует появление в мате-

риале явлений, признаваемых недопустимыми. Для тел пластических этими недопустимыми явлениями будет появление остаточных деформаций, для тел хрупких—разрушение. В виду того что природа и механизм появления остаточных деформаций и механизм разрушения в реальных телах отличаются, с одной стороны, сложностью, а с другой, зависят в некоторой степени от обстоятельств, трудно поддающихся аналитическ. учету, приходится при определении прочности исходить из той или иной рабочей гипотезы прочности, наиболее близко отвечающ й свойствам данного материала. Эти рабочие гипотезы носят название теорий *прочности* (см.).

Имея в своем распоряжении методы нахождения деформаций в любой точке оси, возможно определять также и перемещения в исследуемом брусе. При растяжении или сжатии эти перемещения будут результатом удлинения или укорочения соответствующего участка оси бруса и м. б. найдены в общем случае путем интегрирования выражения удлиненного элемента *ds* оси бруса. При кручении перемещение имеет угловой характер и измеряется углом закручивания по длине рассматриваемого участка. Этот угол закручивания м. б. найден как интеграл от выражения элементарного угла закручивания на длине элемента *ds* оси закручиваемого бруса. Перемещения при действии изгиба возникают в результате того, что ось бруса в деформированном состоянии в каждой точке получает определенное изменение кривизны, в результате чего прямой напр. брус становится кривым. Очертание оси бруса в деформированном состоянии носит название у п р у г о й л и н и и. Теория изгиба доказывает, что в отношении бруса малой кривизны дополнительная кривизна в любой точке бруса прямо пропорциональна изгибающему моменту и обратно пропорциональна жесткости при изгибе. Нахождение ординат упругой линии следовательно сводится к чисто геометрич. задаче нахождения ординат кривой, форма к-рой определяется известным законом изменения кривизны, а положение в плоскости—заданными направлениями перемещения опорных точек. Направления этих перемещений определяются характером опорных закреплений. Задача нахождения ординат упругой линии значительно упрощается тем, что представляется возможным (в виду того, что М. с. ограничивает свою задачу лишь случаями малых перемещений) приравнивать кривизну бруса, получающуюся в результате изгиба, второй производной от выражения прогиба бруса. Интегрирование производится отдельно на каждом участке бруса, имеющем свой закон изменения кривизны. Число произвольных постоянных, возникающих при нахождении значения y в процессе такого двукратного интегрирования, будет следовательно равняться удвоенному числу имеющихся участков. В таком виде соотношение между кривизной, выражаемой через изгибающий момент бруса и жесткость сечения, и ординатами упругой линии или прогибом носит название дифференциального ур-ия упругой линии. Основываясь на этой дифференциальной зависимости между моментом и прогибом, нахождение ординат прогиба можно делать аналитически, графически или графо-аналитически. Аналитич. решение сводится к двукратному интегрированию выражения кривизны и определению произвольных постоянных интегрирования, исходя из условий опорных закреплений и т. п. условий на границах каждого участка, на к-ром кривизна имеет свой особый закон изменения.

Графич. и графо-аналитич. методы основаны на имеющей место определенной аналогии между изгибающими моментами, поперечными силами и нагрузкой, с одной стороны, и ординатами упругой линии, тангенсами углов наклона касательных к ней и кривизнами—с другой. Эта аналогия заключается в том, что значение поперечной силы, с одной стороны, и тангенсов углов наклона, с другой, являются соответственно первыми производными от значения моментов и прогибов, а значение нагрузки и значение кривизны—вторыми производными от тех же величин. На основании этой аналогии представляется возможным тангенсы углов наклона балок находить как поперечные силы, а прогибы—как моменты от условной нагрузки, действующей на условное сооружение, причем за условную нагрузку принимается эпюра кривизны, за условное же сооружение берут такое, в котором имеется заделка там, где у действительного бруса—свободный конец, свободный конец—там, где у действительного бруса имеется заделка, а шарнир—там, где у действительного сооружения имеется шарнирная опора.

Все указанные выше разделы М. с. относились к системам, представляющим собой один брус или стержень. Комплексу этих разделов обычно дается название «сопротивления материалов». Комплексу же разделов, трактующих о сооружениях, представляющих собой сочетание нескольких стержней, присваивают название «статики сооружений». Такие сооружения м. б. подразделены на шарнирно-стержневые системы, или *фермы* (см.), и на сооружения с жесткими узлами, иначе *рамы* (см.). Рамы в большинстве случаев являются системами статически неопределимыми и рассматриваются в разделах, посвященных этой группе сооружений. Главную же задачу статики сооружений в части, касающейся статически определимых систем, составляет расчет ферм. Расчет этих последних основан на замене действительного сооружения с жесткими узлами условной расчетной схемой, построенной в предположении наличия идеальных, т. е. работающих без трения, шарниров во всех узловых соединениях. Нагрузка в отношении такой схемы принимается приложенной в узлах системы. Нагрузку, приложенную вне узлов, раскладывают на составляющие, приложенные в узлах, и дополнительно учитывают местный изгиб того элемента, в пределах к-рого расположена нагрузка. Плоская статически определимая ферма, представляющая один жесткий диск, при общем числе узлов k должна иметь внутренних стержней $n=2k-3$. Для статически определенного прикрепления к земле такого жесткого диска необходимо иметь еще три

опорных стержня. При таком числе стержней геометрически неизменяемая система представляет собой и статически определимую систему. При большем числе стержней система будет статически неопределимой. При меньшем числе система превращается в геометрически изменяемое сочетание стержней. Часть внутренних стержней м. б. заменена таким же числом соответственно расположенных дополнительных опорных стержней. Вследствие приложения нагрузки только в узлах фермы и предположения об идеальности шарниров в стержнях, составляющих ферму, в элементах будут иметь место только нормальные силы или усилия. Для нахождения этих усилий применяют графич., аналитич. и графо-аналитич. приемы. В случае неподвижной нагрузки графическое нахождение усилий в ферме производят путем построения диаграммы Кремона (см. *Графическое определение усилий*). Аналитическое определение усилий в фермах делается или методом сечений или методом вырезаний узлов (см. *Фермы*). В случае подвижной нагрузки для нахождения величины усилий в элементах фермы пользуются инфлюентными линиями этих усилий. Построение этих инфлюентных линий основывается на тех же методах сечения или вырезания узлов (см. *Линии влияния*).

Определение прогибов в шарнирно-стержневых системах м. б. сделано методом упругих грузов (см. *Графическое определение перемещений*) или же применением основных теорем о перемещениях. Эти основные теоремы о перемещениях распространяются как на системы сплошные, так и сквозные и могут рассматриваться как обобщение начала возможных перемещений Лагранжа на упругое тело. В этом обобщенном виде теорема Лагранжа обнимает собой работу как внешних, так и внутренних сил системы. При этом за возможную систему перемещений для данной системы сил принимается такая, к-рая возникает в данном сооружении в результате упругой деформации его под действием любой другой воображаемой системы сил. Т. о. за виртуальные перемещения для внешних сил принимаются не бесконечно малые, а конечные, хотя и очень малые, перемещения, являющиеся результатом упругой деформации тела. Силы действительного и воображаемого состояния считаются приложенными к оси бруса в ее недеформированном состоянии, что является допустимым постольку, поскольку перемещения действительного состояния являются относительно весьма малыми величинами по сравнению с общими размерами тела. Для нахождения в действительном состоянии линейного или углового перемещения в направлении $m—m$ точки m какого-нибудь сооружения в воображаемом состоянии по этому направлению прикладывают к сооружению силу $P=1$, причем под силой P здесь понимают как собственно силу, так и момент, если определяется угловое перемещение. Тогда из условия равенства нулю работы сил внешних и внутренних воображаемого состояния на пути внутренних и внешних перемещений действительного состояния, для искомого перемещения выражение, носящее название ф-лы Мора или Максвелла-Мора. Для нахождения относительных перемещений в воображаемом состоянии прикладываются к системе групповые единичные нагрузки, т. е. нагрузки, состоящие из двух единичных сил или пар, направленных по искомому относительному перемещению. Для нахождения перемещений часто пользуются также теоремой Кастильяно. Нахождение перемещений согласно этой теореме, дающей зависимость между величиной перемещения и потенциальной энергией упругой деформации системы, по существу не отличается от определения перемещения методом Мора.

Распространение начала возможных перемещений на упругое тело позволяет также установить нек-рые весьма важные положения, известные как теорема о в з а и м н о с т и р а б о т (Беттн) и теорема о в з а и м н о с т и д е ф о р м а ц и й (Максвелла). Первая из этих теорем обнимает собой общий случай действия на сооружение последовательно двух произвольных систем или, как принято говорить, случай двух состояний одного и того же сооружения. Согласно теореме Беттн работа внешних сил первого из таких состояний на пути перемещений второго состояния равна работе внешних сил второго состояния на пути перемещения первого (см. *Взаимность перемещений*). Теорема Максвелла может рассматриваться как частный случай теоремы Беттн, именно как тот, где и в первом и во втором состоянии к сооружению приложено по одной силе, причем силы первого состояния и второго равны между собой (в з а и м н о с т ь д е ф о р м а ц и й). Согласно этой теореме перемещение в первом состоянии по направлению силы второго состояния равно перемещению во втором состоянии по направлению силы первого состояния. Аналогичные соотношения м. б. выведены также и для случаев, когда воздействиями являются не силы, а перемещения.

Методы нахождения перемещений и вышеуказанные теоремы Беттн и Мора позволяют производить расчет не только систем статически определимых, но и статически неопределимых, т. е. систем, обладающих излишним числом связей внутренних или внешних против числа, необходимого для обеспечения геометрич. неизменяемости системы. При расчете таких сооружений необходимо для нахождения т. н. лишних неизвестных использовать в дополнение к ур-ям статич. равновесия также и ур-ия, вытекающие из рассмотрения картины деформации сооружения, определяемой характером избыточных связей. Как правило при расчете статически неопределимых систем вводят в рассмотрение т. н. основную систему. Эта система в общем случае получается из изучаемой путем отбрасывания нек-рого числа существующих в системе связей и введения в систему нек-рого числа дополнительных связей. По направлению каждой из отброшенных связей прикладываются силы, причем под силами в данном случае понимают как собственно силы, так и моменты. По направлению же вновь введенных связей системе даются перемещения линейные или

угловые. Силы эти и перемещения принимаются за неизвестные, для нахождения к-рых составляют столько дополнительных ур-ний, сколько имеется неизвестных сил и перемещений вместе взятых. Если основная система получена из изучаемой путем отбрасывания n имеющихся связей и введения m новых дополнительных связей, то общее число неизвестных будет равно $n+m$. Для нахождения этих перемещений используют n условий равенства нулю перемещений по направлению неизвестных сил и m условий равенства нулю усилий по направлению m введенных дополнительных связей. По закону аддитивности воздействий каждое из указанных равных нулю перемещений по направлению неизвестных сил м. б. представлено как сумма перемещений от действия на основную систему нагрузки неизвестных сил и перемещений в отдельности. Также каждое равное нулю усилие по направлению вновь введенных связей м. б. представлено как сумма усилий от нагрузки, неизвестных сил и неизвестных перемещений. Ур-ния, составленные на основании этих соображений, носят название канонических ур-ний. Если основная система получается из изучаемой системы только путем отбрасывания связей без введения новых, то все неизвестные будут силами. Этот метод носит название метода сил. Обычно при этом число отброшенных связей равняется числу лишних и избыточных связей системы. Полученная т. о. основная система носит название основной статически определимой системы. Если основная система получается из изучаемой только путем введения новых связей, то все неизвестные будут перемещениями. Такое решение носит название метода перемещений или деформаций. Наконец метод, при к-ром за неизвестные приняты как силы, так и перемещения, м. б. назван смешанным методом. В зависимости от конфигурации сооружения и характера нагрузки выбирают тот из методов решения, те из неизвестных и наконец те из методов решения системы ур-ний, которые в данном частном случае должны дать решение наиболее короткое и сопряженное с наименьшим накоплением арифметич. погрешностей. После того как путем разрешения вышеуказанной системы ур-ний определены все лишние неизвестные, любые величины усилия или перемещения в изучаемой системе м. б. вычислены по ф-ле, согласно принципу независимости действия сил, как сумма усилий или перемещения от каждой силы или перемещения в отдельности. Ряд методов расчета статически неопределимых систем, как то: методы фокусов, угловых фокусов, не являются непосредственно частным случаем применения канонич. ур-ний, но находятся с этим методом в определенной косвенной связи.

К вводным или особым главам сопротивления материалов обычно относят разделы, посвященные неустойчивым формам равновесия и динамич. нагрузке. Из неустойчивых форм равновесия в М. с. обычно ограничиваются рассмотрением продольного изгиба. Это явление заключается в том, что при центральном сжатии прямолинейного стержня при значении сжимающих сил, превышающем нек-рую критич. величину, становятся теоретич. возможными, кроме формы равновесия с сохранением прямолинейности оси стержня, также одна или несколько форм равновесия с изогнутой осью. Однако вероятность всех кроме одной теоретически возможных форм равновесия, в том числе и прямолинейной формы, равна нулю. При этом явления в брусе при сжимающих силах, превышающих критич. значение, имеют катастрофич. характер, даже если и не будет иметь места разрушение стержня, т. к. ничтожному возрастанию нагрузки будет соответствовать весьма большое возрастание перемещений. Определение критич. грузов для стержней, загруженных по концам, дано еще Эйлером. Однако на практике к определению критич. нагрузок обычно не прибегают, а вводят при расчете сжатых стержней некоторый коэф. ослабления допускаемых напряжений. Таблицы или кривые изменений этих коэф-тов нормируются соответствующими органами, причем при составлении таких норм руководствуются также и конструктивными соображениями. К вводным главам сопротивления материалов следует также отнести разделы, посвященные динамич. действию нагрузки. Эти отделы обычно заключают в себе рассмотрение напряжений в движущихся стержнях в результате действия сил инерции, а также рассмотрение явлений при колебании систем и ударном действии на систему нагрузки.

К особым главам статики сооружений обычно относят исследование сыпучих тел. В этом разделе дисциплины, подобно тому как в отношении твердых тел, принимается условная гипотеза идеальности свойств этого тела; при рассмотрении сыпучих тел действительные сыпучие тела заменяются сыпучими телами идеальными. В отношении такого идеального сыпучего тела предполагают, что силы сцепления между его частицами полностью отсутствуют и что размеры самих частиц являются величинами весьма малыми. Далее, при определении давления на подпорную стенку такого сыпучего тела предполагается, что эта подпорная стенка находится в состоянии предельного равновесия. Задача этим предположением сводится к рассмотрению равновесия призмы обрушения сыпучего тела в момент ее предельного равновесия. Для разрешения этой задачи дополнительно вводят гипотезу, что поверхность обрушения этой призмы есть плоскость. При этом ищут не действительную величину давления на стенку, а максимально при сделанных предположениях возможную. В более сложных случаях, напр. в случае ломаной стенки, приходится еще прибегать к ряду дополнительных предположений и допущений, находящихся иногда в значительном противоречии с действительными явлениями в сыпучих телах.

Лит.: Проскуряков Л., Строит. механика, ч. 1, 7 изд., М.—Л., 1928, ч. 2, М.—Л., 1926; Велихов П. А., Теория инж. сооружений, вып. 1, М., 1924; Прокофьев П. П., Теория сооружений, ч. 1—2, М., 1926—28; Тимошенко С. П., Курс сопротивления материалов, 6 изд., М.—Л., 1928; Кирпичев В. Л., Сопротивление материалов, ч. 1—2, М.—П., 1923; Дружинин С. П., Теория сопротивления материалов, ч. 1—2, П., 1923; Руднев В. И., Строит. механика, М.—Л., 1928; Кирпичев В. Л., Основания графич. статики, 5 изд., М.—Л., 1924; Гвоздев А. А., Общий метод расчета статически неопределимых систем, М., 1927; Жемочкин Б. Н., Расчет рам методом угловых фокусов, М.—Л., 1929; его же, Расчет статически неопределимых систем, Способ угловых деформаций, М.—Л., 1928; Стрелецкий Н. С., К расчету сложных статически неопределимых систем, М., 1922; Гелер В., Жесткие рамы, пер. с нем., М., 1928; Тимошенко С. П., Курс статики сооружений, ч. 1, Л., 1926; Велихов П. А., Краткий курс строительной механики, М., 1927; Белелюбский Н. А., Строит. механика, СПБ, 1897; Филоненко-Бородич М. М., Основы теории работы упругих сил в плоских системах, М., 1925; Kirchhoff R., Die Statik d. Bauwerke, 2 Aufl., B. 1—2, Berlin, 1928; Strassner A., Berechnung statisch unbestimmter Systeme, B. 1, 2 Aufl., Berlin, 1929, B. 2, Berlin, 1921; Föppl A., Vorlesungen über technische Mechanik, B. 1, 8 Aufl., B.—Lpz., 1925, B. 2, 7 Aufl., B.—Lpz., 1926; Pirlet J., Compendium der Statik der Baukonstruktionen, B. 2, T. 1—2, B., 1921—23; Lévy M., La statique graphique, partie 1, Paris, 1907, partie 2, Paris, 1913, partie 3, Paris, 1918, partie 4, Paris, 1888; Mohr O., Abhandlungen auf dem Gebiete der technischen Mechanik, 3 Auflage, Berlin, 1928.

Н. Щапов.

МЕХАНИКА ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ, учение о движении материальных тел. Если какое-либо тело с течением времени изменяет свое положение по отношению к какому-либо другому телу, называемому телом (системою) отсчета, то говорят, что первое тело находится в состоянии движения по отношению ко второму, в отличие от состояния покоя, когда относительное положение тел остается неизменным. Т. о. понятие движения содержит в себе понятие пространства, времени, перемещающегося объекта и системы отсчета. Понятия пространства и времени, являясь предметами исследования философии, обычно предполагаются в М. т. данными. Что касается перемещающегося объекта, то в действительности он не всегда является материальным телом, напр. перемещающаяся тень, смещение силовых линий в силовом поле и т. п. Движение материальных тел называется движением корпускулярным. М. т. занимается изучением только корпускулярных движений. Обычно изучение движения материальных тел начинают с изучения движения материальной точки. Под материальной точкой подразумевают в М. т. тело произвольной величины при наличии по крайней мере одной из следующих предпосылок: когда все линейные размеры тела ничтожно малы по сравнению с расстояниями от рассматриваемого тела до других тел, играющих роль в данной проблеме, или когда вращение тела не принимается во внимание, а рассматривается лишь движение центра массы (центра тяжести) тела (см. *Центр тяжести*). Так напр., рассматривая движение земного шара вокруг солнца, можно землю принимать за материальную точку, чего нельзя делать, рассматривая движение земли вокруг ее оси. Установив законы движения материальной точки, выводят затем из них законы движения системы отдельных материальных точек и сплошных материальных сред (континуумов). Допустимость последнего перехода в последнее время однако подвергается сомнению. Если все точки данной совокупности, или системы материальных точек, сохраняют свои взаимные расстояния неизменными, то система называется твердой, в противоположном случае—нетвердой. В частности, если материальные точки системы заполняют определенный объем, то такая система точек называется телом—твердым или нетвердым в зависимости от вышеуказанных признаков. В качестве системы отсчета обычно берут твердое тело, с к-рым неподвижно связаны три взаимно перпендикулярные пересекающиеся в одной точке прямые Ox, Oy, Oz, называемые осями координат. На практике телом отсчета чаще всего служит земля или какое-либо твердое тело, неподвижно с ней связанное.

Из предшествующего следует, что понятия движения и покоя суть понятия относительные и что, поскольку все известные нам системы отсчета сами находятся в движении по отношению к другим телам отсчета, нельзя говорить ни об абсолютном движении ни об абсолютном покое их. Если бы хотя одно тело находилось в состоянии абсолютного покоя, то можно было бы судить как об абсолютном, так и об относительном характере движения всех прочих тел. В 19 в. эфир—носитель световых и электромагнитных явлений—считался, за исключением малых колебаний его, абсолютно неподвижным. Этим самым создавалась такая система отсчета, по отношению к к-рой всякое движение могло быть названо движением абсолютным, а покой—абсолютным покоем. Эта точка зрения в корне опровергается современной теорией относительности, которая в числе прочих своих заключений приходит к выводу, что даже в области электромагнитных явлений не представляется возможным отличить «абсолютный» покой от равномерного поступательного движения системы. В связи с коренной ревизией понятий пространства и времени, совершенной теорией относительности Эйнштейна, М. т., основы которой были положены Ньютоном и которая называется классической, рассматривается в настоящее время как частный случай более общей системы М. т., называемой релятивистской. Выводы классич. М. т. справедливы лишь как первые приближения для корпускулярных движений, происходящих со скоростями, ничтожно малыми по сравнению со скоростью света. В дальнейшем здесь излагаются основы лишь классич. М. т.

Обычно М. т. разделяют на кинематику, статику и динамику. В кинематике рассматривают только геометрич. свойства движения, не принимая во внимание действующие силы. В статике рассматривают те условия, которым должны удовлетворять данные силы, чтобы система, к которой они приложены, находилась в покое. В динамике изучается зависимость между силами и соответствующими движениями системы материальных точек. Статику и динамику объединяют часто в один отдел—кинетику. Часто в М. т. выделяют особый отдел, т. н. геометрию масс, изучающую свойства распределения массы системы в пространстве; сюда относятся связанные с центром масс, с *моментами* инерции (см.) и т. п. вопросы.

Кинематика, рассматривает законы движения тел независимо от действующих сил.

Движение какой-либо совокупности или системы материальных точек, в частности

движение твердого тела, определяется движением всех точек, составляющих систему, вследствие чего является необходимым исследовать сначала свойства движения отдельной точки и затем лишь свойства движения какой-либо совокупности их.

Пусть имеется точка A, движущаяся по отношению к нек-рой системе отсчета, состоящей из 3 взаимно перпендикулярных осей координат Ox, Oy, Oz, имеющих начало в точке O. Каждое положение точки A по отношению к заданной системе координат определяется некоторой тройкой отрезков x, y, z, взятых со знаками (+) или (−) или, что равносильно, нек-рым радиусом-вектором $\boldsymbol{r}$, имеющим начало в O, а конец в рассматриваемом положении точки A, причем

$$\boldsymbol{r} = r\boldsymbol{r}_1, \qquad (1)$$

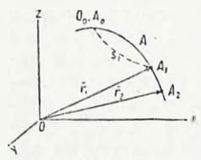
где $\boldsymbol{r}_1$—единичный вектор (орт), определяющий направление OA, а r—численное значение этого отрезка (модуль). При движении точки A координаты ее x, y, z с течением времени изменяются, так что для данного движения имеют место три функциональные зависимости между координатами точки A и временем t:

$$x = f_1(t),\ y = f_2(t),\ z = f_3(t). \qquad (2)$$

Последние ур-ия, характеризующие данное движение точки A, называются уравнениями движения. Т. к. при движении точки A радиус-вектор $\boldsymbol{r}$ изменяется с течением времени, то $\boldsymbol{r}$—также нек-рая ф-ия t:

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k}, \qquad (3)$$

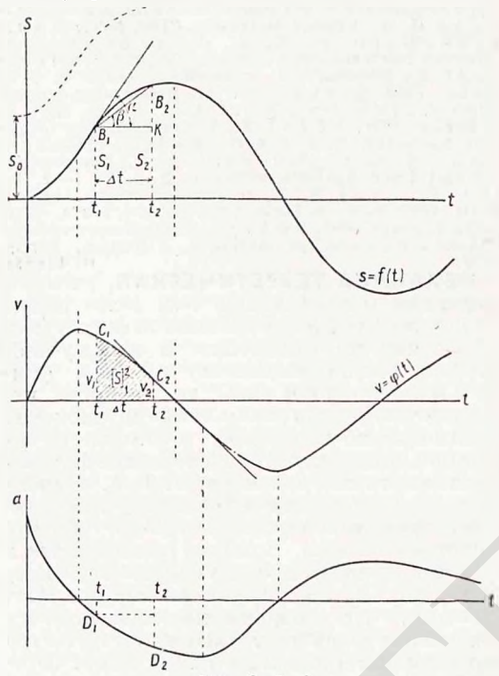
где $\boldsymbol{i}$, $\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{k}$—единичные векторы, определяющие направление осей координат, причем последнее векторное ур-не вполне заменяет собою три ур-ия движения (2). Совокупность всех положений точки в пространстве при данном ее движении называется траекторией. Если траектория—плоская кривая, то и движение называется плоским; в этом случае для определения движения точки достаточно двух осей координат—Ox и Oy, взятых в плоскости движения. Если траектория представляет собой прямую линию, то движение называется прямолинейным; в последнем случае для определения движения точки достаточно одной оси координат Ox, совпадающей с прямолинейной траекторией точки. Прямолинейность или криволинейность движения суть также понятия относительные, зависящие от состояния, в котором пребывает сама система отсчета. На траектории следует различать две особые точки: начало отсчета O_0 длины s кривой (где $s=0$) и начальное положение A_0 точки A, т. е. то ее положение, при к-ром начался отсчет времени ($t=0$). В целях упрощения часто берут однако начало отсчета длины O_0 совпадающим с начальным положением A_0 точки (фиг. 1), так что $\smile O_0A_0 = 0$. Каждому определенному моменту t соответствует определенное значение величины $s = \smile A_0A_1$, так что s есть нек-рая ф-ия от t:



Фиг. 1.

$$s = f(t). \qquad (4)$$

Если на оси абсцисс отложить отрезки, пропорциональные истекшим промежуткам времени t, а по оси ординат отрезки, пропорциональные s, то геометрическое место получившихся точек—некоторая кривая, которая называется графиком пройденного пути (фиг. 2). Пусть в момент t_1 точка A находилась от O_0 на расстоянии $O_0A_1 = s_1$, считаемом по длине кривой,



Фиг. 2, 3, 4.

а в некоторый последующий момент t_2 на расстоянии $O_0A_2 = s_2$, так что за промежуток времени $t_2 - t_1 = \Delta t$ точка прошла по своей траектории путь $s_2 - s_1 = \Delta s$. Среднею линейною, или скалярною, скоростью $v_{cp.}$ точки A за промежуток времени Δt называется частное от деления Δs на Δt, т. ч.

$$v_{cp.} = \frac{\Delta s}{\Delta t}. \qquad (5)$$

Если обозначить на графике пути точки, соответствующие положениям A_1 и A_2, через B_1 и B_2, то $v_{cp.}$ равняется тангенсу угла, образуемого отрезком B_1B_2 с положительным направлением оси t:

$$v_{cp.} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\overline{B_2K}}{\overline{B_1K}} = \operatorname{tg}\beta. \qquad (6)$$

Линейною, или скалярною, скоростью v в данный момент называется предел отношения $\frac{\Delta s}{\Delta t}$, когда Δt стремится к 0, т. е. v равняется производной s по переменному t:

$$v = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}\right) = f'(t). \qquad (7)$$

Очевидно в общем случае v есть также некоторая ф-ия от t:

$$v = \varphi(t). \qquad (8)$$

Из ур-ия (7) нетрудно видеть, что на графике пути

$$v = \operatorname{tg}\alpha, \qquad (9)$$

где α есть угол, образованный касательной, проведенной к кривой в соответствующей точке, и положительным направлением оси t. Если способом, аналогичным вышеприведенному, построим кривую, выражающую функциональную зависимость (8), то получим т. наз. график скорости (фиг. 3). Интегрируя ур-ие (7), получаем:

$$s = \int v\,dt + C = \int \varphi(t)\,dt + C, \qquad (10)$$

откуда также следует, что путь $|s|_1^2$, пройденный точкой за промежуток времени от t_1 до t_2,

$$|s|_1^2 = \int_{t_1}^{t_2} v\,dt = \int_{t_1}^{t_2} \varphi(t)\,dt. \qquad (11)$$

Так как выражение, стоящее в правой части ур-ия (10), представляет собой на фиг. 3 площадь, ограниченную ординатами, проходящими через точки t_1 и t_2, частью C_1C_2 кривой и осью абсцисс, то эта площадь и равняется численно пути $|s|_1^2$. Из ур-ия (9) не трудно также видеть, что экстремальным точкам графика пути соответствуют точки пересечения графика скорости с осью t, а точкам перегиба первой кривой соответствуют экстремальные точки второй. Если в частности $v = \text{Const} = V$, то такое движение называется равномерным. В последнем случае имеем из ур-ия (10):

$$s = Vt + C. \qquad (12)$$

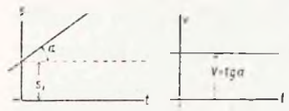
Если, при $t = t_1$, $s = s_1$, то, т. к. $C = s_1 - Vt_1$, имеем:

$$s = V(t - t_1) + s_1. \qquad (12')$$

Очевидно в этом случае график скорости будет представлен прямой, параллельной оси t, а график пути—прямой, наклоненной под углом α к оси t (фиг. 5), так что

$$\operatorname{tg}\alpha = V. \qquad (13)$$

Пусть в нек-рый момент t движущаяся точка находилась в положении A, определяемом по отношению к данной системе отсчета радиусом-вектором $\boldsymbol{r}$, а в некоторый последующий момент $t' = t + \Delta t$—в положении A', определяемом радиусом-вектором $\boldsymbol{r}' = \boldsymbol{r} + \Delta\boldsymbol{r}$. Среднею скоростью $\boldsymbol{v}_{cp.}$ точки за промежуток времени Δt называется выражение



Фиг. 5.

$$\boldsymbol{v}_{cp.} = \frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}. \qquad (14)$$

Истинною скоростью $\boldsymbol{v}$ точки в момент t называется предел отношения (14) при $\Delta t \to 0$, т. е. производная вектора $\boldsymbol{r}$ по времени t:

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}\right) = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt}. \qquad (15)$$

Т. к. направление $\Delta\boldsymbol{r}$ в предельном положении совпадает с направлением касательной, проведенной к траектории в рассматриваемом положении точки, то направление $\boldsymbol{v}$ совпадает с направлением этой касательной; т. о. единичный вектор $\boldsymbol{v}_1$ определяет также и направление касательной τ_1, так что

$$\boldsymbol{v} = v\tau_1. \qquad (16)$$

Т. к. далее $\boldsymbol{r} = r\boldsymbol{r}_1$, то из (15) имеем:

$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \frac{d(r\boldsymbol{r}_1)}{dt} = \frac{dr}{dt}\boldsymbol{r}_1 + r\frac{d\boldsymbol{r}_1}{dt}. \qquad (17)$$

Т. о. вектор скорости м. б. представлен как сумма двух векторов:

$$\boldsymbol{v}_r = \frac{dr}{dt}\boldsymbol{r}_1 \qquad (18)$$

и

$$\boldsymbol{v}_p = r\frac{d\boldsymbol{r}_1}{dt}, \qquad (19)$$

причем первый вектор имеет направление, определяемое $\boldsymbol{r}_1$, а второй — вектором $\frac{d\boldsymbol{r}_1}{dt}$, т. е. вектором, перпендикулярным к первому. Скорость $\boldsymbol{v}_r$ называется радиальной скоростью, а скорость $\boldsymbol{v}_p$ — трансверсальной, или поперечной, скоростью. Так как

$$\frac{d\boldsymbol{r}_1}{dt} = \frac{d\varphi}{dt}\boldsymbol{p}_1, \qquad (20)$$

где φ—угол поворота r около O, а $\boldsymbol{p}_1$—единичный вектор, перпендикулярный $\boldsymbol{r}_1$, то

$$\boldsymbol{v}_p = r\frac{d\varphi}{dt}\boldsymbol{p}_1. \qquad (21)$$

Абсолютные значения этих скоростей очевидно следующие:

$$v_r = \frac{dr}{dt}, \qquad (22)$$

$$v_p = r\frac{d\varphi}{dt}, \qquad (23)$$

откуда имеем также:

$$v = \sqrt{\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + \left(r\frac{d\varphi}{dt}\right)^2}. \qquad (24)$$

Т. к. параметры r и φ суть полярные координаты точки A (см. *Координаты*), то (24) представляет собою выражение скорости в полярных координатах. Если в частности точка A перемещается в пространстве так, что $\boldsymbol{r}_1 = \text{Const}$, т. е. если A перемещается по прямой, проходящей через O, то, так как в этом случае $\frac{d\boldsymbol{r}_1}{dt} = 0$, из ур-ий (17—19) имеем:

$$\boldsymbol{v}_p = 0;\ \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_r = \frac{dr}{dt}\boldsymbol{r}_1 \qquad (17')$$

и

$$v = \frac{dr}{dt}. \qquad (17'')$$

Величина r играет в этом случае ту же роль, что и величина s в ф-ле (7), и следовательно формулы (10), (11) и (12) применимы и для прямолинейного движения с соответствующей заменой длины кривой s длиною прямолинейного отрезка r. Если же, наоборот, $r = \text{Const}$, то очевидно, что точка движется по шаровой поверхности. В этом случае

$$\boldsymbol{v}_r = 0;\ \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_p = r\frac{d\varphi}{dt}\boldsymbol{p}_1 \text{ и } v = r\frac{d\varphi}{dt}. \qquad (17''')$$

В частности точка может перемещаться по кругу. Пусть в этом случае точка переместилась за промежуток времени Δt по дуге $\Delta\varphi$, длина которой Δs. Если $\Delta\varphi$ выражена в радианах, а r—радиус окружности, то очевидно $\Delta s = r \cdot \Delta\varphi$. Частное $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ называется среднею угловою скоростью $\omega_{cp.}$ вращения точки:

$$\omega_{cp.} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}.$$

Предел $\omega_{cp.}$ при $\Delta t \to 0$ называется угловой скоростью вращения ω точки в момент t:

$$\omega = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\right) = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Т. о. (17′′′) м. б. в рассматриваемом случае представлено еще в следующем виде:

$$v = r \cdot \omega. \qquad (18')$$

Угловая скорость м. б. представлена вектором ω, проведенным из центра вращения перпендикулярно плоскости движения в такую сторону, чтобы наблюдатель, помещенный вдоль вектора, видел вращение точки происходящим по часовой стрелке. Если за промежуток времени Δt угловая скорость изменилась на $\Delta\omega$, то частное $\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ называется средним угловым ускорением точки: $\theta_{cp.} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$. Предел этого отношения при $\Delta t \to 0$ называется угловым ускорением θ в момент t:

$$\theta = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta\omega}{\Delta t}\right) = \frac{d\omega}{dt}.$$

Если $\theta = \text{Const}$, то движение называется равнопеременно вращательным, если же $\omega = \text{Const}$, то движение называется равномерно вращательным.

Рассмотрим движение проекций точки A по трем взаимно перпендикулярным осям координат Ox, Oy, Oz. На основании (17′′) скорости этих точек при их движении по соответствующим осям будут $\frac{dx}{dt}$, $\frac{dy}{dt}$, $\frac{dz}{dt}$. С другой стороны, модули проекций скорости v на эти оси на основании (7):

$$\left.\begin{aligned} |v_x| &= v\cos\alpha = \frac{ds}{dt}\cos\alpha \\ |v_y| &= v\cos\beta = \frac{ds}{dt}\cos\beta \\ |v_z| &= v\cos\gamma = \frac{ds}{dt}\cos\gamma \end{aligned}\right\}, \qquad (25)$$

где α, β, γ—углы, образованные вектором v с положительными направлениями осей координат; т. к. $ds \cdot \cos\alpha = dx$, $ds \cdot \cos\beta = dy$, $ds \cdot \cos\gamma = dz$, то из (18) имеем:

$$\left.\begin{aligned} v_x &= |v_x| = \frac{dx}{dt} \\ v_y &= |v_y| = \frac{dy}{dt} \\ v_z &= |v_z| = \frac{dz}{dt} \end{aligned}\right\}, \qquad (26)$$

т. е. скорости проекций точки A на три оси координат равняются соответствующим проекциям скорости на эти же оси. Эти проекции скорости называются ее компонентами по рассматриваемым осям. При условии ортогональности осей имеем:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}. \qquad (26')$$

Зная ур-ия движения (2), можно ф-лы (26) и (26′) написать еще и так:

$$v_x = f_1'(t);\ v_y = f_2'(t);\ v_z = f_3'(t);$$

$$v = \sqrt{[f_1'(t)]^2 + [f_2'(t)]^2 + [f_3'(t)]^2}.$$

Моментом скорости v по отношению к некоторой точке C называется вектор, модуль к-рого равняется произведению v на длину d перпендикуляра, опущенного из C на линию действия v, а направление определяется направлением перпендикуляра, восставленного к плоскости S, образованной v и C, в такую сторону, чтобы наблюдатель, помещенный вдоль него в точке C, видел v направленным по часовой стрелке (фиг. 6). Т. к. длина перпендикуляра d, или плечо, равняется $d = r\sin\alpha$, где α—угол между v и r_c, то, обозначая момент скорости через M, имеем:

$$M = v \cdot d = v \cdot r \cdot \sin\alpha$$

и

$$M = [v \cdot r_c]. \qquad (27)$$

Помещая начало отсчета O в точке C, имеем $r_c = -r$, где $r = \vec{CA}$, и следовательно

$$M = [r \cdot v]. \qquad (27')$$

Рассмотрим площадь $\Delta\sigma$, ометаемую подвижным радиусом-вектором r за промежуток времени Δt до положения его r', так что $\measuredangle (r, r') = \Delta\varphi$. Предел отношения $\frac{\Delta\sigma}{\Delta t}$ при $\Delta t \to 0$ называется секториальной скоростью ν точки; т. о.

$$\nu = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta\sigma}{\Delta t}\right) = \frac{d\sigma}{dt}. \qquad (28)$$

Секториальная скорость м. б. представлена в виде вектора ν, проведенного перпендикулярно к плоскости, проходящей через r и r', где r'—последующий во времени радиус-вектор, бесконечно близкий к r, причем обычно направление ν выбирают так, чтобы наблюдатель, помещенный вдоль ν в начале отсчета O, видел вращение r происходящим по часовой стрелке. Так как

$$d\sigma = \tfrac{1}{2} r^2\, d\varphi = \tfrac{1}{2} l\, ds, \qquad (29)$$

где ds—длина элемента дуги, а l—длина перпендикуляра, опущенного из O на ds то, принимая во внимание (28) и (23), имеем:

$$\nu = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{2} r v_p = \frac{1}{2}\frac{ds}{dt} \cdot l = \frac{1}{2} v \cdot l. \qquad (30)$$

Т. к., с другой стороны, $d\sigma = \frac{1}{2}|[r \cdot dr]|$, то

$$\nu = \frac{1}{2}\left[r \cdot \frac{dr}{dt}\right] = \frac{1}{2}[r \cdot v], \qquad (31)$$

и следовательно, принимая во внимание (27′), получаем:

$$2\nu = M, \qquad (32)$$

т. е. момент скорости v относительно нек-рого центра равен удвоенной секториальной скорости движущейся точки относительно того же центра. Если отложить от одной и той же точки векторы скорости движущейся точки при различных ее положениях, то геометрич. место концов этих векторов образует кривую, называемую *годографом скорости* (см.).

Пусть за промежуток времени Δt линейная скорость изменилась на величину Δv. Средним линейным, или скалярным, ускорением $a_{cp.}$ называется частное $\frac{\Delta v}{\Delta t}$, так что

$$a_{cp.} = \frac{\Delta v}{\Delta t}. \qquad (33)$$

Линейным, или скалярным, ускорением a точки A в момент t называется предел отношения (33) при $\Delta t \to 0$, т. е. производная v по времени t:

$$a = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right) = \frac{dv}{dt}, \qquad (34)$$

или, принимая во внимание (7),

$$a = \frac{d^2 s}{dt^2} = f''(t). \qquad (35)$$

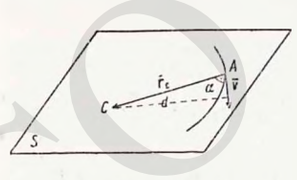
Средним полным, или средним векторным, ускорением $a_{cp.}$ называется частное $\frac{\Delta v}{\Delta t}$, где Δv—изменение скорости v за промежуток времени Δt, так что

$$a_{cp.} = \frac{\Delta v}{\Delta t}. \qquad (36)$$

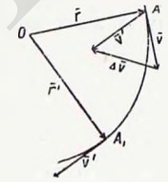
Полным, или векторным, ускорением a в момент t называется предел отношения (36) при $\Delta t \to 0$, так что

$$a = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right) = \frac{dv}{dt}. \qquad (37)$$

Так как $a_{cp.}$—вектор, направленный внутрь кривизны кривой (фиг. 7), то и полное ускорение a всегда направлено внутрь кривизны траектории. Принимая во внимание (15), имеем также



Фиг. 6.



Фиг. 7.

$$a = \frac{d^2 r}{dt^2}, \qquad (38)$$

или, принимая во внимание (3), имеем:

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} i + \frac{d^2 y}{dt^2} j + \frac{d^2 z}{dt^2} k.$$

Таким образом вектор a равен сумме следующих трех компонент, направленных по осям координат:

$$a_x = \frac{d^2 x}{dt^2} i;\ a_y = \frac{d^2 y}{dt^2} j;\ a_z = \frac{d^2 z}{dt^2} k.$$

Модули этих векторов, равные

$$a_x = \frac{d^2 x}{dt^2},\ a_y = \frac{d^2 y}{dt^2},\ a_z = \frac{d^2 z}{dt^2},$$

представляют линейные ускорения проекций точки на осях координат. При $a = \text{Const}$ движение называется равнопеременным; при этом, если $a > 0$, то движение называется равноускоренным, если же $a < 0$, то движение называется равнозамедленным. При $a = \text{Const}$ движение очевидно будет не только равнопеременным, но и прямолинейным. Далее при $a = \text{Const}$ имеем из (34) и (7):

$$\int dv = \int a\, dt;\ \ v = at + C_1, \qquad (39)$$

$$s = \int v\, dt = \int (at + C_1)\, dt = \tfrac{1}{2} at^2 + C_1 t + C_2, \qquad (40)$$

где C_1 и C_2 суть некоторые произвольные постоянные, которые м. б. определены, если величины v и s, соответствующие каким-нибудь определенным значениям t, даны. Так, если в начальный момент, т. е. при $t = 0$, $v = v_0$, $s = s_0$, то из (39) имеем $C_1 = v_0$, а из (40) $C_2 = s_0$, так что ф-лы (39) и (40) принимают следующий частный вид:

$$v = v_0 + at, \qquad (39')$$

$$s = s_0 + v_0 t + \tfrac{1}{2} at^2. \qquad (40')$$

Если построить кривую, выражающую функциональную зависимость (34) между a и t, точно таким же способом, каким выше был построен график скорости, то мы получим график ускорения (фиг. 4). Т. к. на основании (34) и (7) между a и v существует точно такая же зависимость, как между v и s, то между графиками ускорения и скорости существует очевидно точно такая же связь, как между графиками скорости и пути. Т. о. имеем: 1) тангенс угла наклона отрезка C_1C_2, соединяющего две точки C_1 и C_2 графика скорости, равняется среднему линейному ускорению за соответствующий промежуток времени; 2) тангенс угла наклона касательной, проведенной к графику скорости, равняется линейному ускорению точки в соответствующий момент; 3) площадь, ограниченная дугой D_1D_2 графика ускорений, ординатами, проходящими через точки t_1 и t_2, и осью t, численно равна приращению скорости за промежуток времени Δt от t_1 до t_2; 4) точкам пересечения графика ускорения с осью t соответствуют экстремальные точки графика скорости, а экстремальным точкам первой кривой соответствуют точки перегиба второй. Если в частности движение равнопеременно, то график ускорений представляет собой прямую, параллельную оси t (фиг. 8). График скорости представляет в этом случае на основании (39′) наклонную прямую, отсекающую на оси v отрезок равный v_0 и имеющую tg угла наклона равный a, а график пути на основании (40′)—параболу, имеющую своей осью ось ординат и отсекающую на последней отрезок s_0.

Фиг. 8.

Пусть радиус кривизны траектории в точке A равен ϱ (фиг. 9), а направление центра кривизны C от A определяется ортом ϱ_1, так что

$$\vec{AC} = \varrho = \varrho\varrho_1. \qquad (41)$$

Если τ_1—орт, определяющий направление касательной, проведенной к кривой в точке A в сторону возрастания дуг, то

$$\frac{d\tau_1}{ds} = \frac{1}{\varrho} \cdot \varrho_1, \qquad (42)$$

где $\frac{1}{\varrho}$—кривизна траектории в точке A. Из (16), (42) и (7) имеем следовательно:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d(v\tau_1)}{dt} = \frac{dv}{dt}\tau_1 + v\frac{d\tau_1}{dt} = \frac{dv}{dt}\tau_1 + v\frac{d\tau_1}{ds}\frac{ds}{dt} =$$

$$= \frac{dv}{dt} \cdot \tau_1 + \frac{v^2}{\varrho} \cdot \varrho_1. \qquad (43)$$

Таким образом вектор ускорения равняется сумме двух векторов

$$a_t = \frac{dv}{dt} \cdot \tau_1 \qquad (44)$$

и

$$a_n = \frac{v^2}{\varrho} \cdot \varrho_1, \qquad (45)$$

причем первый вектор имеет направление, определяемое τ_1, т. е. имеет направление касательной, а второй—направление ϱ_1, т. е. направление от A к центру кривизны C. Первый вектор называется поэтому тангенциальным ускорением, а второй—нормальным ускорением. Модули этих векторов соответственно равны:

$$a_t = \frac{dv}{dt}, \tag{44'}$$

$$a_n = \frac{v^2}{\varrho}, \tag{45'}$$

а линейное ускорение

$$a = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{\varrho}\right)^2}. \tag{46}$$

Из (43) видно, что вектор $\boldsymbol{a}$ лежит в плоскости, образованной касательной и главной нормалью, т. е. лежит в соприкасающейся плоскости. Т. к. бинормаль перпендикулярна к этой плоскости, то компонента по бинормали $\boldsymbol{a}_b$ всегда равна нулю:

$$\boldsymbol{a}_b = 0. \tag{47}$$

Если точка движется прямолинейно, то $\varrho = \infty$, и по (45) имеем $\boldsymbol{a}_n = 0$, так что в этом случае $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_t = \frac{dv}{dt}\boldsymbol{\tau}_1$ и $a = a_t = \frac{dv}{dt}$. Если к тому же точка движется еще и равномерно, то $\boldsymbol{a} = 0$, т. е. $\frac{dv}{dt} = 0$. Если точка движется по окружности радиуса R, то, так как $\varrho = R = \text{Const}$, из (44'), (45') и (46) следует:

$$a_t = R\frac{d\omega}{dt} = R\cdot\theta, \tag{44''}$$

$$a_n = R\omega^2, \tag{45''}$$

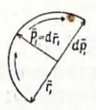
$$a = R\sqrt{\left(\frac{d\omega}{dt}\right)^2 + \omega^4}. \tag{46'}$$

Если к тому же точка движется еще и равномерно, то, так как в этом случае $v = \text{Const}$ и $\frac{dv}{dt} = 0$, из (44), (43) и (45) имеем:

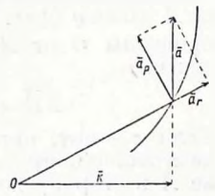
$$\boldsymbol{a}_t = 0;\quad \boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_n = \frac{v^2}{\varrho}\boldsymbol{\varrho}_1 = R\omega^2\cdot\boldsymbol{\varrho}_1.$$

Т. о. при равномерном круговом движении полное ускорение в любом положении точки

Фиг. 9.



Фиг. 10.



Фиг. 11.

направлено по нормали, т. е. направление $\boldsymbol{a}$ все время проходит через центр окружности. Последнее движение представляет собой частный вид т. н. центральных движений, т. е. таких движений, при которых направление полного ускорения в любом положении точки проходит через один и тот же центр. Из формул (17), (20) и (21) имеем далее:

$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dr}{dt}\boldsymbol{r}_1\right) + \frac{d}{dt}\left(r\frac{d\varphi}{dt}\boldsymbol{p}_1\right) =$$
$$= \frac{d^2r}{dt^2}\boldsymbol{r}_1 + \frac{dr}{dt}\cdot\frac{dr_1}{dt} + \frac{dr}{dt}\cdot\frac{d\varphi}{dt}\boldsymbol{p}_1 + r\frac{d^2\varphi}{dt^2}\boldsymbol{p}_1 + r\frac{d\varphi}{dt}\cdot\frac{d\boldsymbol{p}_1}{dt}. \tag{48}$$

Так как $\boldsymbol{p}_1 \perp \boldsymbol{r}_1$, а $d\boldsymbol{p}_1 \perp \boldsymbol{p}_1$, причем $\boldsymbol{p}_1$ и $d\boldsymbol{p}_1$ вращаются от $\boldsymbol{r}_1$ в одну и ту же сторону (фиг. 10) и так как $|d\boldsymbol{p}_1| = d\varphi$, то

$$\frac{d\boldsymbol{p}_1}{dt} = -\frac{d\varphi}{dt}\boldsymbol{r}_1,$$

так что (48) принимает следующий вид:

$$\boldsymbol{a} = \left\{\frac{d^2r}{dt^2} - r\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\right\}\boldsymbol{r}_1 + \left\{2\frac{dr}{dt}\cdot\frac{d\varphi}{dt} + r\frac{d^2\varphi}{dt^2}\right\}\boldsymbol{p}_1. \tag{49}$$

Т. о. вектор $\boldsymbol{a}$ разложен на две компоненты:

$$\boldsymbol{a}_r = \left\{\frac{d^2r}{dt^2} - r\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\right\}\boldsymbol{r}_1 \tag{50}$$

и

$$\boldsymbol{a}_p = \left\{2\frac{dr}{dt}\cdot\frac{d\varphi}{dt} + r\frac{d^2\varphi}{dt^2}\right\}\boldsymbol{p}_1, \tag{51}$$

из к-рых первый, имеющий направление $\boldsymbol{r}_1$, определяет радиальное ускорение, а второй вектор, имеющий направление, перпендикулярное к первому, определяет поперечное ускорение. Так как модули этих векторов

$$a_r = \frac{d^2r}{dt^2} - r\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2, \tag{50'}$$

$$a_p = 2\frac{dr}{dt}\cdot\frac{d\varphi}{dt} + r\frac{d^2\varphi}{dt^2}, \tag{51'}$$

то

$$a = \sqrt{\left[\frac{d^2r}{dt^2} - r\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\right]^2 + \left[2\frac{dr}{dt}\cdot\frac{d\varphi}{dt} + r\frac{d^2\varphi}{dt^2}\right]^2}, \tag{52}$$

что дает выражение a в полярных координатах r и φ. Секториальным ускорением μ называется производная по времени от секториальной скорости v, т. ч.

$$\mu = \frac{dv}{dt}. \tag{53}$$

Принимая во внимание (30) и (51'), имеем из (53):

$$\mu = \frac{1}{2}\frac{d}{dt}\left(r^2\frac{d\varphi}{dt}\right) = \frac{1}{2}r\left\{2\frac{dr}{dt}\cdot\frac{d\varphi}{dt} + r\frac{d^2\varphi}{dt^2}\right\} = \frac{1}{2}ra_p, \tag{54}$$

и так как

$$ra_p = ka,$$

где k — расстояние от O до линии действия $\boldsymbol{a}$ (фиг. 11), то

$$\mu = \frac{1}{2}a\cdot k. \tag{54'}$$

Если движение центральное и если начало отсчета взять в центре движения O, то в этом случае линия действия $\boldsymbol{a}$ в любой момент должна проходить через O, и значит $k=0$ и $\mu=0$, а следовательно $v=\text{Const}$. Таким образом при всяком центральном движении секториальная скорость постоянна, т. е., другими словами, площадь, ометаемая подвижным радиусом-вектором, пропорциональна времени. Не трудно доказать также, что всякое центральное движение—движение плоское.

Исследовав законы движения отдельной точки, можно перейти к исследованию движения механической системы точек, т. е. такой совокупности их, в которой движение каждой точки определенным образом зависит от движения остальных. В частности механич. система называется системой твердой, если взаимные расстояния точек при движении системы остаются неизменными. Допустим, что система состоит из n точек. Т. к. положение каждой точки определяется 3 координатами, то положение всей системы определяется $3n$ координатами $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \ldots, x_n, y_n, z_n$. При движении системы все эти координаты суть нек-рые ф-ии

времени t. Зависимости между точками системы обусловливаются силами взаимодействия их или связями, т. е. такими условиями движения, к-рые налагают ограничения либо только на положение точек либо также на их скорости. В первом случае связи называются геометрическими, а во втором — кинематическими. Каждая геометрич. связь выражается ур-ием вида:

$$f(x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \ldots, x_n, y_n, z_n, t) = 0, \tag{55}$$

а кинематич. связь—ур-ием вида:

$$\varphi(x_1, y_1, z_1, \ldots, x_n, y_n, z_n, \frac{dx_1}{dt}, \frac{dy_1}{dt}, \frac{dz_1}{dt}, \ldots, \frac{dz_n}{dt}, t) = 0. \tag{56}$$

Допустим, что между n точками данной механической системы существует k геометрических связей:

$$f_i(x_1, y_1, z_1, \ldots, x_n, y_n, z_n, t) = 0 \quad (i = 1, 2, 3, \ldots, k). \tag{57}$$

Тогда из $3n$ координат $3n-k$ будут независимы, а остальные k координат определяются через них из ур-ий (57). Эти независимые координаты называются также координатами системы; число их определяет так называемую степень свободы системы (см. *Координаты*).

Всякое движение твердой системы точек, и в частности твердого тела, м. б. сведено к двум основным видам движения: поступательному и вращательному. Поступательным движением называется такое движение, при к-ром любая прямая, соединяющая две какие-либо точки системы, остается во время движения последней параллельной сама себе. Так, если прямая, соединяющая точки A и B, занимала положение A_1B_1, то спустя промежуток времени она займет положение $A_2B_2 \parallel A_1B_1$. Так как

$$\Delta\boldsymbol{r}_A = \Delta\boldsymbol{r}_B, \tag{58}$$

где

$$\Delta\boldsymbol{r}_A = \vec{A_1A_2};\quad \Delta\boldsymbol{r}_B = \vec{B_1B_2},$$

то

$$\lim_{\Delta t\to 0}\left(\frac{\Delta r_A}{\Delta t}\right) = \lim_{\Delta t\to 0}\left(\frac{\Delta r_B}{\Delta t}\right),$$

т. е.

$$\boldsymbol{v}_A = \boldsymbol{v}_B. \tag{59}$$

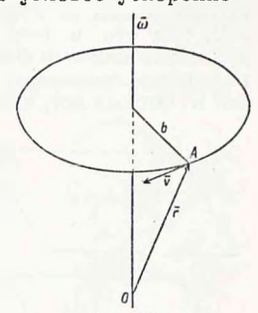
Т. о. при поступательном движении все точки системы имеют в данный момент равные скорости. Очевидно, что при поступательном движении траектории всех точек системы представляют собой конгруентные кривые. Способом, аналогичным вышеприведенному, получим, что

$$\boldsymbol{a}_A = \boldsymbol{a}_B, \tag{60}$$

т. е. что полные ускорения всех точек системы в данный момент между собою равны.

Вращательным движением тела называется такое движение, при к-ром две из его точек, A и B, остаются неподвижными. Нетрудно видеть, что в этом случае и все точки, лежащие на прямой AB, называемой осью вращения, будут также неподвижны. При вращательном движении очевидно каждая точка, за исключением точек, лежащих на оси вращения, движется в плоскости, перпендикулярной к оси вращения, по окружности, центр к-рой находится на этой же оси.

Угол поворота $\Delta\varphi$ тела за какой-нибудь промежуток времени Δt определяется дуговым перемещением какой-нибудь из его точек за тот же промежуток времени, вследствие чего угловая скорость ω и угловое ускорение θ какой-либо точки тела определяют соответственно эти же величины и для вращающегося тела. Угловая скорость м. б. вышеуказанным способом представлена при помощи вектора $\boldsymbol{\omega}$ на оси вращения тела. Пусть движущаяся точка вращающегося тела занимает на окружности положение A, определяемое по отношению к началу отсчета O, взятому на оси вращения, радиусом-вектором $\boldsymbol{r}$ (фиг. 12). Так как по (18') $v = b\cdot\omega$, где b — радиус окружности, и так как $b = r\sin(\boldsymbol{\omega}, \boldsymbol{r})$, то



Фиг. 12.

$$v = \omega r\sin(\omega, \boldsymbol{r}) \tag{61}$$

и следовательно

$$\boldsymbol{v} = [\boldsymbol{\omega}\boldsymbol{r}]. \tag{62}$$

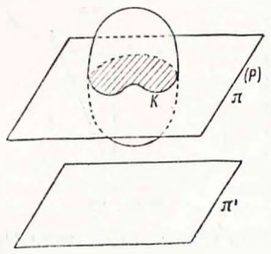
Если модули проекций вектора ω на три произвольные ортогональные оси координат с началом O обозначим через p, q, r, а модули проекций $\boldsymbol{r}$ на те же оси через x, y, z, то, пользуясь формулой проекции векторного произведения (см. *Векторное исчисление*), имеем:

$$\left.\begin{aligned} v_x &= qz - ry \\ v_y &= rx - pz \\ v_z &= py - qx \end{aligned}\right\}. \tag{63}$$

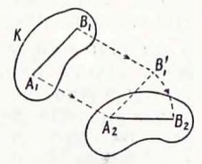
Это—т. н. ф-лы Эйлера. В общем случае вектор $\boldsymbol{\omega}$ меняет как величину, так и направление, определяемое ω_1, и каждому моменту времени соответствует определенная мгновенная ось вращения. В частности ω может менять лишь свой модуль, т. е. менять лишь свою угловую скорость, сохраняя одну и ту же ось вращения. В последнем случае вращательное движение называется перманентным.

Плоскопараллельным движением твердого тела называется такое его движение, когда все точки тела описывают плоские траектории, лежащие в плоскостях, параллельных некоторой неподвижной основной плоскости. В этом случае очевидно имеем: 1) все точки тела при своем движении остаются на неизменном расстоянии от основной плоскости, 2) если данное тело находится в плоскопараллельном движении по отношению к плоскости π', то оно находится в таком же движении и по отношению к любой другой плоскости π, параллельной первой (фиг. 13). Следовательно можно основную плоскость π всегда выбрать так, чтобы она пересекала данное тело по нек-рому контуру K. Зная положение контура K на теле и в основной плоскости, можно определить и положение тела в пространстве. Т. о. исследование рассматриваемого движения тела сводится к исследованию движения контура K в плоскости

π, т. е., что то же самое, движения подвижной плоскости p, связанной с K, в плоскости π. С другой стороны, положение плоской фигуры, ограниченной контуром K, в плоскости π определяется положением двух произвольных ее точек A и B или отрезком AB, так что в свою очередь определение движения плоской фигуры K сводится к определению движения отрезка AB в плоскости π. Отсюда нетрудно притти к следующим

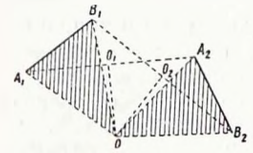


Фиг. 13.

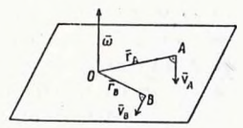


Фиг. 14.

выводам: 1) Из любого предшествующего положения плоской фигуры K, находящейся в плоскости π, можно привести ее в любое последующее положение в той же плоскости при помощи одного поступательного и одного вращательного движения, или наоборот. В самом деле, если первое положение фигуры определяется положением отрезка A_1B_1 (фиг. 14), а второе положение—тем же отрезком, но в положении A_2B_2, то можно сначала переместить отрезок A_1B_1 параллельно самому себе до A_2B_1', а затем повернуть последний отрезок до положения A_2B_2. При первом движении отрезка плоская фигура будет перемещаться поступательно, а при втором—вращательно. Порядок этих движений очевидно м. б. изменен. 2) Из всякого положения плоской фигуры в плоскости π можно



Фиг. 15.



Фиг. 16.

привести ее в любое другое положение в той же плоскости при помощи одного вращения около нек-рого центра O. В самом деле, пусть имеются два положения плоской фигуры, определяемые положениями A_1B_1 и A_2B_2 отрезка AB, так что $A_1B_1=A_2B_2$ (фиг. 15). Проведя прямые A_1A_2 и B_1B_2 и восставив из их середин O_1 и O_2 перпендикуляры, получим в пересечении этих перпендикуляров точку O; $\triangle A_1OB_1=\triangle A_2OB_2$, т. к. $A_1B_1=A_2B_2$, $A_1O=A_2O$, $B_1O=B_2O$. Т. о., вращая $\triangle A_1OB_1$ около точки O, можно его привести в положение A_2OB_2, т. е. привести A_1B_1 в положение A_2B_2. Точка O представляет собой центр вращения, соответствующий двум рассматриваемым отдельным положениям плоской фигуры. Если центр вращения соответствует двум бесконечно близким положениям плоской фигуры, то он называется мгновенным. Мгновенный центр вращения занимает определенное положение как в плоскости π, так и в плоскости p, перемещающейся вместе с фигурой. Т. к. движение плоской фигуры состоит в непрерывном переходе от одного положения к бесконечно близкому к нему другому положению, то этому движению соответствует бесконечно большое число мгновенных центров вращения, непрерывно следующих друг за другом. Геометрич. место мгновенных центров вращения в плоскости π называется неподвижной полодией, или центроидой, а в плоскости p—подвижной полодией. Эти кривые соприкасаются всегда в точке, представляющей мгновенный центр вращения в данный момент. Если же бесконечно малое вращение происходит около мгновенного центра вращения O_2, то принадлежащие плоскостям π и p две точки O_1' и O_1'', совпадавшие в предшествующем центре вращения O_1, разойдутся; при этом $\smile O_1'O_2=\smile O_1''O_2$; это указывает на то, что при движении плоской фигуры подвижная полодия перемещается, и притом без скольжения, по неподвижной полодии. Каждому определенному движению фигуры соответствует определенная пара полодий. Если подвижную полодию сделать неподвижной, а неподвижную—подвижной, то движение плоскости π по отношению к p называется движением обращенным по сравнению с первым. В общем обращенное движение совершенно отлично от данного. Так, если прямая перемещается в плоскости, касаясь данной окружности, то каждая точка подвижной плоскости описывает эвольвенту круга, а если, наоборот, окружность катится по прямой, то каждая точка плоскости описывает циклоиду. Траектория какой-либо точки подвижной плоскости p по отношению к неподвижной π называется рулеттой.

Угловая скорость вращения плоскости p около мгновенного центра вращения называется мгновенной угловой скоростью. Очевидно все точки плоскости обладают в данный момент одной и той же мгновенной угловой скоростью. Пусть имеем в плоскости p две точки A и B, положение к-рых относительно системы отсчета с началом в мгновенном центре вращения O определяется $\boldsymbol{r}_A$ и $\boldsymbol{r}_B$. Из ур-ия (62) имеем:

$$\boldsymbol{v}_A=[\boldsymbol{\omega}\boldsymbol{r}_A];\ \boldsymbol{v}_B=[\boldsymbol{\omega}\boldsymbol{r}_B], \qquad (64)$$

где $\boldsymbol{v}_A$ и $\boldsymbol{v}_B$—скорости точек A и B в данный момент (фиг. 16). Т. к. $\boldsymbol{\omega}\perp\boldsymbol{r}_A$ и $\boldsymbol{\omega}\perp\boldsymbol{r}_B$, то из уравнения (64) имеем также: $v_A=\omega r_A$, $v_B=\omega r_B$ и

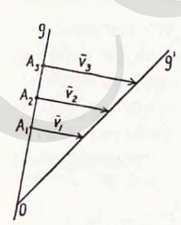
$$\frac{v_A}{v_B}=\frac{r_A}{r_B}. \qquad (65)$$

Т. о. из ур-ий (64) и (65) имеем: 1) скорости всех точек плоскости p перпендикулярны к прямым, соединяющим их с мгновенным центром вращения; 2) величины скоростей пропорциональны расстояниям от соответствующих точек до мгновенного центра вращения. Отсюда следует далее, что концы векторов скоростей для точек прямой, проходящей через мгновенный центр вращения O (фиг. 17), лежат на прямой, также проходящей через O, т. к. лишь в этом случае величины векторов скоростей $\boldsymbol{v}_1$, $\boldsymbol{v}_2$, ... пропорциональны расстояниям A_1O, A_2O, ... Если повернуть векторы скорости $\boldsymbol{v}_A$ и $\boldsymbol{v}_B$ (фиг. 18) в одну и

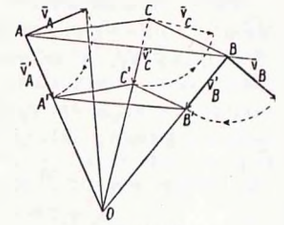
ту же сторону на 90°, то получаются т. н. ортогональные скорости $\boldsymbol{v}_A$ и $\boldsymbol{v}_B'$. Т. к. на основании ур-ия (65)

$$\frac{v_A}{r_A}=\frac{v_B}{r_B},\ \text{то}\ \frac{v_A'}{r_A}=\frac{v_B'}{r_B}.$$

Отсюда следует, что, соединив концы A' и B' ортогональных скоростей, получаем прямую $A'B'$, параллельную AB. Это соображение дает легкий способ построения скорости и любой другой точки C. Для этого достаточно соединить C с A и B и из точек A' и B' провести прямые $A'C'\parallel AC$ и $A'B'\parallel AB$; $\overrightarrow{CC'}=\boldsymbol{v}_C'$ дает ортогональную скорость точки C, так что, повернув $\boldsymbol{v}_C'$ на 90° в сторону, противоположную прежней, получим $\boldsymbol{v}_C$. Очевидно, если C лежит на AB, то C' лежит на $A'B'$. Т. о., если прямая g (фиг. 19) не проходит через мгновенный центр вращения, то концы векторов ортогональных скоростей точек прямой g лежат на одной прямой, параллельной g, причем все ортогональные скорости пересекаются в точке O. Проектируя ортогональные скорости $\boldsymbol{v}_A'$, $\boldsymbol{v}_B'$, $\boldsymbol{v}_C'$, ... на перпендикулярное к g направление g_n, получим одинаковые проекции, и т. к. эти скорости



Фиг. 17.



Фиг. 18.

суть повернутые на 90° истинные скорости $\boldsymbol{v}_A$, $\boldsymbol{v}_B$, $\boldsymbol{v}_C$ и т. д., то проекции последних по направлению g также равны между собой.

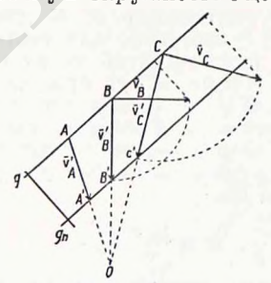
Что касается ускорения точек плоскости p, то, так как по ур-нию (46) ускорение каждой точки зависит от радиуса кривизны ϱ ее траектории, необходимо предварительно рассмотреть зависимость между ϱ и другими элементами движения. Возьмем какую-нибудь точку плоскости, перемещающуюся по траектории T (фиг. 20), и рассмотрим два бесконечно близких положения ее при увеличении времени на величину dt. Нормали AK и $A'K$, восставленные к T в точках A и A', пересекаются в центре кривизны K и пересекают неподвижную полодию S в точках P и P'. Пусть $\overline{AP}=l$; $\overline{PK}=c$; $\smile PP'=d\sigma$; $\smile AA'=ds$; далее $\sphericalangle AKA'=d\tau$; $\sphericalangle APA'=d\varphi$; $\sphericalangle NPA=\alpha$, где NP нормаль к S в точке P. Проведя радиусом KP дугу PB, имеем:

$$\frac{\smile PB}{\smile AA'}=\frac{d\sigma\cdot\cos\alpha}{ds}=\frac{\overline{KP}}{\overline{KA}}=\frac{c}{l\pm c}, \qquad (66)$$

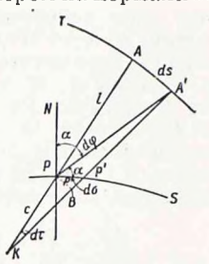
причем знак минус следует взять, если K лежит между P и A; так как $ds=l\cdot d\varphi$, то

$$\frac{d\sigma}{d\varphi}\cdot\frac{\cos\alpha}{l}=\frac{c}{l\pm c}\ \text{или}\ \left(\frac{1}{c}\pm\frac{1}{l}\right)\cos\alpha=\frac{d\varphi}{d\sigma}=\frac{1}{d}. \qquad (67)$$

Величины в левой части ур-ия (67) зависят от выбранной на плоскости p точки, в то время как $\frac{d\varphi}{d\sigma}$ имеет в данный момент одно и то же значение для всех точек p, вращающихся около мгновенного центра P. В следующий момент $\frac{d\varphi}{d\sigma}$ изменит в общем свое значение, но новое значение опять будет одним и тем же для всех точек p, так что $\frac{d\varphi}{d\sigma}$ есть нек-рая ф-ия от t. Т. к. l и α суть полярные координаты точки A, то геометрич. место точек, для к-рых $\frac{\cos\alpha}{l}=\text{Const}$, есть проходящая через точку P окружность с центром на нормали N,



Фиг. 19.

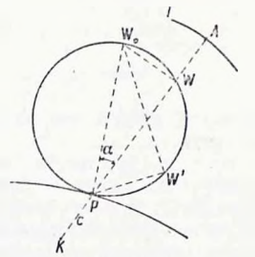


Фиг. 20.

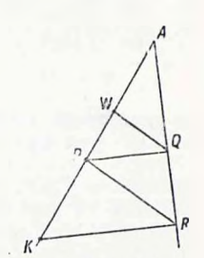
Из ур-ия (67) видно, что и $\frac{\cos\alpha}{c}$ в данный момент также постоянно для всех точек, для которых и $\frac{\cos\alpha}{l}=\text{Const}$, т. е. представляет также окружность. Обе эти окружности соприкасаются в той же точке P, что и полодии. Т. о. центры кривизны траекторий всех точек, лежащих на окружности, проходящей через P, также лежат на окружности, проходящей через P. В частности, если $PK=\infty$, то из ур-ия (67) имеем:

$$\frac{l}{\cos\alpha}=d, \qquad (68)$$

что представляет собой геометрич. место точек, траектории которых имеют в данный момент $\varrho=\infty$, т. е. точек, проходящих в данный момент через точки поворота. Геометрич. место точек, представляемое ур-нием (68), есть окружность диаметра d, проходящая через P и называющаяся поворотным кругом. Соответствующая поворотному кругу окружность $\frac{c}{\cos\alpha}=\text{Const}$ превратилась в бесконечно удаленную прямую. Если на поворотном круге взять какую-ни-



Фиг. 21.



Фиг. 22.

будь точку W (фиг. 21), то т. к. мгновенное вращение точки W происходит около P, т. е. в направлении, перпендикулярном к WP, отрезок W_0W, дающий направление поворотной касательной, проходит через W_0—крайнюю точку диаметра d поворотного круга, называемую полюсом поворота. Т. о. все поворотные касательные проходят через точку W_0. Проведя из точки A

плоскости p прямую AP, на которой лежит и центр кривизны K траектории T, и обозначив $PW = u$, имеем $u = d\cos\alpha$, а из уравнения (67) получаем:

$$\frac{1}{c} \pm \frac{1}{l} = \frac{1}{u}$$

или

$$\frac{l \pm c}{c} = \frac{l}{u}, \qquad (69)$$

что дает возможность найти ϱ и K для точки A, если W и P известны; для этого следует соединить какую-нибудь точку Q с точками A, W и P (фиг. 22) и провести из P прямую $PR \parallel WQ$ до ее пересечения с AQ в точке R, затем из R следует провести $R \parallel KPQ$ до ее пересечения с AP в точке K, к-рая и представляет собой центр кривизны. В самом деле,

$$\frac{\overline{AK}}{\overline{PK}} = \frac{\overline{AR}}{\overline{QR}} = \frac{\overline{AP}}{\overline{WP}}, \text{ или } \frac{l \pm c}{c} = \frac{l}{u}.$$

Скорость w, с какою мгновенный центр вращения перемещается по S, равняется $\frac{d\sigma}{dt}$, так что

$$w = \frac{d\sigma}{dt}. \qquad (70)$$

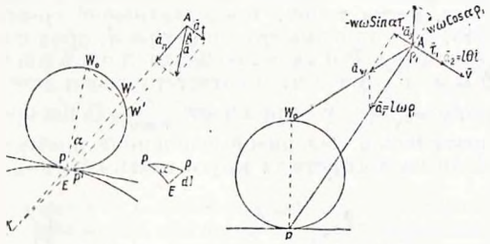
Эту скорость не следует смешивать со скоростью точки P, принадлежащей плоскости p и имеющей скорость равную 0. С другой стороны, имеем:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \qquad (71)$$

так что, деля (70) на (71), имеем на основании ур-ия (67):

$$d = \frac{w}{\omega}. \qquad (72)$$

Т. о. скорость перемещения мгновенного центра вращения равняется произведению



Фиг. 23.

Фиг. 24.

из диаметра поворотного круга на мгновенную угловую скорость.

Пусть скорость точки A равняется $\boldsymbol{v}$, так что $\boldsymbol{v} \perp AP$, а ускорение равно $\boldsymbol{a}$. Разлагая $\boldsymbol{a}$ на две компоненты: $\boldsymbol{a}_n$—по направлению AP, а $\boldsymbol{a}_t$ — по направлению перпендикулярному, имеем на основании ур-ия(45′):

$$a_n = \frac{v^2}{\varrho} = \frac{\overline{AP}^2 \cdot \omega^2}{\varrho^2} = \frac{l^2\omega^2}{\varrho^2} = \frac{l^2}{l+c}\omega^2; \qquad (73)$$

или, т. к. на основании ур-ия (69)

$$\overline{AW} = l - u = \frac{l^2}{l+c},$$

то $a_n = \overline{AW} \cdot \omega^2$; с другой стороны, $\overline{AW} = \overline{AP} - \overline{WP} = l - d\cos\alpha$, так что на основании ур-ия (72)

$$a_n = (l - d\cos\alpha)\,\omega^2 = l\omega^2 - w\omega\cos\alpha. \qquad (74)$$

Из ур-ий (44′) и (18′) имеем также:

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d(\omega l)}{dt} = \omega\frac{dl}{dt} + l\frac{d\omega}{dt}.$$

При перемещении точки из A в A' прямая $A'K$ пересекает S уже в новой точке P', так что $\smile PP' = d\sigma$, а отрезок $l = AP$ уменьшается на величину $P'E = dl$ (фиг. 23); следовательно

$$\frac{dl}{dt} = -\frac{d\sigma}{dt}\sin\alpha = -w\sin\alpha = -\omega \cdot d \cdot \sin\alpha.$$

Таким образом

$$a_t = l\frac{d\omega}{dt} - d\cdot\omega^2\cdot\sin\alpha = l\theta - w\omega\sin\alpha, \qquad (75)$$

где θ—мгновенное угловое ускорение плоскости p, или, пользуясь (44) и (45), имеем из (74) и (75):

$$\boldsymbol{a} = (l\omega^2 - w\omega\cos\alpha)\,\boldsymbol{\varrho}_1 + (l\theta - w\omega\sin\alpha)\,\boldsymbol{\tau}_1 =$$
$$= l\omega^2\boldsymbol{\varrho}_1 + l\theta\,\boldsymbol{\tau}_1 - w\omega\cos\alpha\cdot\boldsymbol{\varrho}_1 - w\omega\sin\alpha\cdot\boldsymbol{\tau}_1. \qquad (76)$$

Т. о. $\boldsymbol{a}$ состоит из трех компонент (фиг. 24):

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{a}_1 &= l\omega^2\boldsymbol{\varrho}_1 \\ \boldsymbol{a}_2 &= l\theta\,\boldsymbol{\tau}_1 \\ \boldsymbol{a}_3 &= -w\omega\cos\alpha\cdot\boldsymbol{\varrho}_1 - w\omega\sin\alpha\cdot\boldsymbol{\tau}_1 \end{aligned}\right\}, \qquad (77)$$

причем первый вектор направлен по нормали в сторону $\boldsymbol{\varrho}_1$, второй—по касательной в сторону $\boldsymbol{\tau}_1$, а третий, в свою очередь, имеет одну компоненту в сторону, противоположную $\boldsymbol{\varrho}_1$, а другую—в сторону, противоположную $\boldsymbol{\tau}_1$. Нетрудно видеть, что $\boldsymbol{a}_3$ параллелен диаметру PW_0 поворотного круга, направлен от P к W_0 и имеет модуль

$$a_3 = w\omega = d\cdot\omega^2. \qquad (77')$$

Так как $\frac{a_1}{a_3} = \frac{\overline{AP}}{\overline{W_0P}}$, то, взяв результирующую $\boldsymbol{a}_w = \boldsymbol{a}_1 + \boldsymbol{a}_3$, получим вектор, направленный от A к W_0, причем

$$a_w = \overline{AW_0}\cdot\omega^2. \qquad (78)$$

Т. о. полное ускорение м. б. представлено еще и как сумма двух векторов $\boldsymbol{a}_w$ и $\boldsymbol{a}_2$:

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_w + \boldsymbol{a}_2. \qquad (79)$$

Ускорение $\boldsymbol{a}_3$ называется полюсным ускорением. Модуль a_3, как видно из (77′), один и тот же для всех точек. Это есть в то же время ускорение той точки плоскости p, к-рая совпадает с P и к-рая имеет следовательно скорость=0. Ускорение $\boldsymbol{a}_w$ называется поворотным ускорением. Т. к. всем точкам поворотного круга соответствуют радиусы кривизны их траекторий равные ∞, то поворотный круг есть в то же время геометрич. место всех точек, нормальные ускорения к-рых $a_n = \frac{v^2}{\varrho} = 0$. Для того чтобы найти геометрич. место точек, для к-рых тангенциальные ускорения равны 0, т. е. для к-рых $a_t = 0$, имеем из (75):

$$l\theta - d\cdot\omega^2\cdot\sin\alpha = 0; \quad \frac{l}{\sin\alpha} = \frac{d\cdot\omega^2}{\theta} = h. \qquad (75')$$

Так как в правой части (75′) имеется выражение, постоянное для всех точек p, то (75′) представляет собой окружность, диаметр которой $h = \frac{l}{\sin\alpha}$ перпендикулярен к нормали N и проходит через P. Из сравнения (75′) и (68) видно, что найденная окружность, называющаяся кругом перемен, пересекает

поворотный круг в нек-рой точке B, не имеющей ни тангенциального ни нормального ускорения, т. е. в точке, полное ускорение к-рой равняется нулю. Точка B называется поэтому центром ускорений. Определение центра ускорений B имеет большое значение при определении ускорений точек плоскости p. Так как $\measuredangle W_0PB = \measuredangle W_0HP = \beta$ (фиг 25), то из (75′) имеем:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{d}{h} = \frac{\theta}{\omega^2}. \qquad (75'')$$

Ускорение $\boldsymbol{a}$ точки A можно разложить на две компоненты $\boldsymbol{a}'$ и $\boldsymbol{a}''$ по направлению AB и по перпендикулярному к AB направлению, для чего, разложив $\boldsymbol{a}_n$ и $\boldsymbol{a}_t$ по этим двум направлениям, сложим соответствующие компоненты. Обозначая

$$\measuredangle W_0PA = \alpha; \quad \measuredangle W_0PB = \measuredangle W_0HP = \beta;$$
$$\measuredangle BAP = \gamma; \quad \measuredangle LBP = \delta,$$

имеем, принимая во внимание (74), (75) и (72):

$$a' = a_n\cos\gamma - a_t\sin\gamma = (l\omega^2 - w\omega\cos\alpha)\cos\gamma -$$
$$-(l\theta - w\omega\sin\alpha)\sin\gamma = l(\omega^2\cos\gamma - \theta\sin\gamma) -$$
$$-d\omega^2\cos(\alpha+\gamma), \qquad (79')$$

$$a'' = a_n\sin\gamma + a_t\cos\gamma = l(\omega^2\sin\gamma + \theta\cos\gamma) -$$
$$-d\cdot\omega^2\sin(\alpha+\gamma). \qquad (80)$$

Опуская из P перпендикуляр на AL, имеем:

$$PL = l\sin\gamma = \overline{BP}\sin\delta = d\cos\beta\sin\delta. \qquad (81)$$

Принимая во внимание (81) и (75″), имеем из (79′) и (80) после соответствующего преобразования:

$$a' = \omega^2(l\cos\gamma - d\cos\beta\cos\delta), \qquad (82)$$
$$a'' = \theta(l\cos\gamma - d\cos\beta\cos\delta). \qquad (83)$$

Но выражения, стоящие в скобках правых частей последних равенств, равняются $AB = e$, так что окончательно имеем:

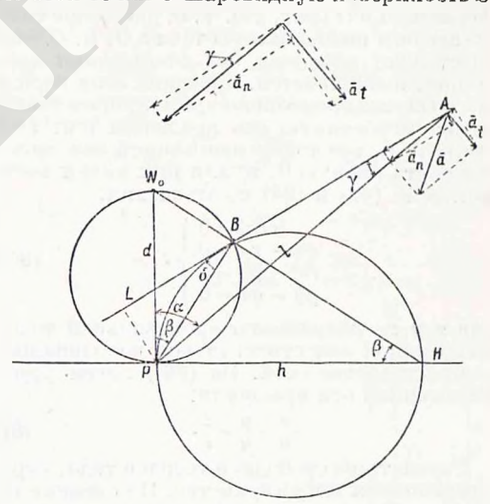
$$a' = e\omega^2, \qquad (84)$$
$$a'' = e\theta, \qquad (85)$$
$$a = e\sqrt{\omega^4 + \theta^2}. \qquad (86)$$

Кроме того

$$\frac{a''}{a'} = \frac{\theta}{\omega^2} = \operatorname{tg}\beta.$$

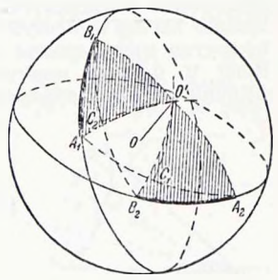
Из (86) видно, что величина ускорения любой точки плоскости p пропорциональна расстоянию e точки до центра ускорения, а направление полного ускорения образует один и тот же угол β с прямой, соединяющей точку с центром ускорения.

Возвращаясь к плоскопараллельному движению тела, нетрудно притти к заключению, что мгновенному вращению плоской фигуры около мгновенного центра P соответствует мгновенное вращение тела около оси, перпендикулярной к π и проходящей через точку P. Т. о. подвижной и неподвижной полодиям соответствуют две цилиндр. поверхности, пересекаемые плоскостью π ортогонально, так что в сечении получаются данные полодии. Цилиндрич. поверхность, проходящая через подвижную полодию, называется подвижной аксоидой, другая же поверхность называется неподвижной аксоидой. Плоскопараллельное движение тела происходит следовательно так, как будто подвижная аксоида, неподвижно скрепленная с телом, катится без скольжения по неподвижной в пространстве аксоиде, причем общая образующая представляет в данный момент мгновенную ось вращения. Если данное тело движется так, что одна точка O остается неподвижной, то, описав в теле около этой точки O шаровидную поверхность S,



Фиг. 25.

можно определить положение тела в пространстве, зная положение S, так что изучение движения тела сводится к изучению движения поверхности S. Положение же последней определяется положением дуги большого круга, проведенной по шаровой поверхности между двумя какими-либо точками последней. Пусть эта дуга перешла за какой-нибудь промежуток времени каким-нибудь образом из положения A_1B_1 в положение A_2B_2 (фиг. 26). Соединив точки A_1, A_2 и B_1, B_2 дугами большого круга и восставив к серединам C_1, C_2 последних перпендикулярные дуги большого круга, найдем нек-рую точку O' пересечения последних, находящуюся также на поверхности S. Соединив O' с A_1, B_1 и с A_2, B_2 дугами большого круга, получим два, равных сферических тр-ка $A_1O'B_1$ и $A_2O'B_2$.



Фиг. 26.

Закрепляя точку O' на поверхности S, можно, вращая тр-к $A_1O'B_1$, привести его в положение $A_2O'B_2$, что очевидно равносильно вращению всей шаровой поверхности S около оси $O'O$. Т. о. из всякого любого предшествующего положения в любое последующее можно рассматриваемое тело привести при помощи одного вращения около нек-рой оси, соответствующей этим двум положениям. Если тело переходит из одного положения в бесконечно близкое к нему другое положение, то соответствующая ось вращения называется мгновенной. При движении тела мгновенные оси вращения, проходя через точку O и следуя непрерывно друг за

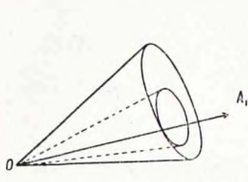
другом, образуют в пространстве нек-рую конич. поверхность с вершиною в O, представляющую неподвижную аксоиду. Геометрич. место мгновенных осей вращения в самом теле, т. е. подвижная аксоида, представляет очевидно также конич. поверхность с вершиной в O (фиг. 27). Т. о. движение тела, имеющего неподвижную точку O, м. б. осуществлено качением без скольжения двух конич. поверхностей, имеющих свои вершины в O и касающихся по прямой, представляющей мгновенную ось вращения (см. *Волчок*). Т. к. все точки мгновенной оси имеют скорость равную 0, то для них имеют место согласно (62) и (63) соотношения:

$$\left.\begin{array}{r}[\omega r]=0\\ qz-ry=0\\ rx-pz=0\\ py-qx=0\end{array}\right\}, \qquad (86')$$

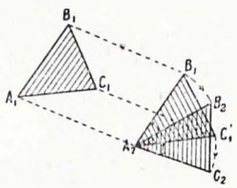
где x,y,z—координаты произвольной точки мгновенной оси относительно неподвижных в пространстве осей. Из (86′) имеем ур-ия мгновенной оси вращения:

$$\frac{x}{p}=\frac{y}{q}=\frac{z}{r}. \qquad (87)$$

Рассмотрим свободное твердое тело, перемещающееся в пространстве. Положение тела определяется положением трех его точек, не лежащих на одной прямой, т. е. положением нек-рого тр-ка $A_1B_1C_1$. Пусть тело пришло из положения, определяемого тр-ком $A_1B_1C_1$, в положение, определяемое треугольником $A_2B_2C_2$ (фиг. 28). Из первого положения во второе можно было бы привести тело след. обр.: переместив тело поступательно по направлению A_1A_2 до совпадения точек A_1 и A_2 так, чтобы тр-к $A_1B_1C_1$ занял положение $A_2B_1'C_1'$, повернуть затем тело около нек-рой оси, проходящей через A_2 так, чтобы тр-к $A_2B_1'C_1'$ совпал с тр-ком $A_2B_2C_2$, что на основании изложенного всегда представляется возможным. Т. о. свободное тело можно всегда привести из одного положения в другое при помощи одного поступательного и одного вращательного движений, причем порядок следования движений роли

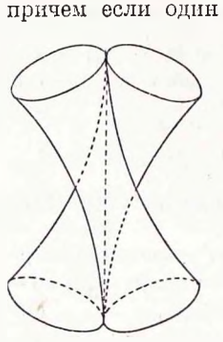


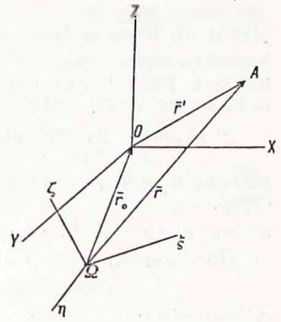
Фиг. 27.



Фиг. 28.

не играет. Отсюда следует, что и бесконечно малое перемещение тела м. б. представлено бесконечно малым вращением и бесконечно малым поступательным движением, которые могут происходить одновременно. Совокупность поступательного и вращательного движений называется винтовым движением. Ось вращения называется осью винтового движения. Если эти движения бесконечно малы, то винтовое движение называется мгновенным. Т. о. при своем движении свободное тело в каждый момент совершает нек-рое мгновенное винтовое движение, причем в общем винтовые оси меняют свои положения как в самом теле, так и в пространстве. Геометрич. место винтовых осей, т. е. подвижная аксоида, представляет собой нек-рую линейчатую поверхность, соприкасающуюся по прямой с другой линейчатой поверхностью — неподвижной аксоидой. Общая образующая представляет собою мгновенную винтовую ось. Примером таких линейчатых поверхностей могут служить два однополостных гиперболоида, соприкасающихся по одной прямой (фиг. 29), причем если один из них неподвижен, то


Фиг. 29.



Фиг. 30.

другой может перемещаться по поверхности первого, совершая около общей образующей бесконечно малое вращение и скользя в то же самое время вдоль нее, вследствие чего мгновенная винтовая ось называется также мгновенной осью скольжения-вращения (см. *Винт* в теоретической механике и *Мóторное исчисление*).

Пусть некоторое тело перемещается по отношению к некоторой системе отсчета $Oxyz$, которая вместе с телом перемещается по отношению к системе отсчета $\Omega\xi\eta\zeta$, так что каждая точка тела принимает участие в двух движениях: по отношению к $Oxyz$ и вместе с последней системой по отношению к $\Omega\xi\eta\zeta$. Движение тела по отношению к первой системе называется относительным, движение $Oxyz$ по отношению к $\Omega\xi\eta\zeta$—переносным, а движение тела по отношению к $\Omega\xi\eta\zeta$—движением сложным. Два первых движения называются составляющими движениями. Число составляющих движений м. б. и больше двух. Скорости в этих движениях носят соответствующие этим движениям названия: относительной, переносной и сложной скоростей. Пусть радиусы-векторы, определяющие положение A по отношению к $Oxyz$ и $\Omega\xi\eta\zeta$ будут $\boldsymbol{r}'$ и $\boldsymbol{r}$, а радиус-вектор, определяющий положение O по отношению к $\Omega\xi\eta\zeta$ будет $\boldsymbol{r}_0$ (фиг. 30), т. ч.

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}'+\boldsymbol{r}_0, \qquad (88)$$

откуда имеем:

$$\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}=\frac{d\boldsymbol{r}'}{dt}+\frac{d\boldsymbol{r}_0}{dt}. \qquad (89)$$

Обозначая относительную, переносную и сложную скорости точки A тела соответственно через $\boldsymbol{v}_r$, $\boldsymbol{v}_e$ и $\boldsymbol{v}$, имеем:

$$\boldsymbol{v}_r=\frac{d\boldsymbol{r}'}{dt};\quad \boldsymbol{v}_e=\frac{d\boldsymbol{r}_0}{dt};\quad \boldsymbol{v}=\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}, \qquad (90)$$

так что из (89) имеем:

$$\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_e+\boldsymbol{v}_r, \qquad (91)$$

т. е. вектор скорости в сложном движении равняется сумме векторов скоростей составляющих движений. Составляющими движениями м. б. движения поступательные, вращательные, винтовые и т. п. При различных видах составляющих движений получаются различные виды сложных движений. Пусть тело в своем относительном движении перемещается поступательно со скоростью $\boldsymbol{v}_1$, а система $Oxyz$ вместе с телом движется также поступательно, но со скоростью $\boldsymbol{v}_2$. Т. к. $\boldsymbol{v}_1$ и $\boldsymbol{v}_2$ в данный момент постоянны для всех точек тела, то каждая из них также имеет одну и ту же сложную скорость $\boldsymbol{v}$, т. е. сложное движение также поступательно. Если составляющие движения представляют собой мгновенные вращения, векторы мгновенных угловых скоростей к-рых суть $\bar{\omega}_1$ и $\bar{\omega}_2$, то могут представиться такого рода случаи: 1) оси вращения пересекаются, 2) оси вращения параллельны и 3) оси вращения перекрещиваются. Если оси вращения пересекаются, то, рассматривая скорость вершины A (фиг. 31) параллелограма, построенного на $\bar{\omega}_1$ и $\bar{\omega}_2$, смещенных в O, имеем из (62):

$$(\boldsymbol{v}_1)_A=[\omega_1\boldsymbol{r}_A] \text{ и } (\boldsymbol{v}_2)_A=[\omega_2\boldsymbol{r}_A],$$

так что

$$\boldsymbol{v}_A=[\omega_1\boldsymbol{r}_A]+[\omega_2\boldsymbol{r}_A],$$

где

$$\boldsymbol{r}_A=\overrightarrow{OA},$$

но так как

$$[\omega_1\boldsymbol{r}_A]=-[\omega_2\boldsymbol{r}_A], \text{ то } \boldsymbol{v}_A=0,$$

так что A в данный момент находится в покое,—другими словами, вся прямая OA также находится в покое, и следовательно сложное движение представляет собою мгновенное вращение, происходящее около диагонали OA. Пусть мгновенная угловая скорость сложного движения равна Ω, тогда скорость сложного движения какой-либо точки M будет

$$\boldsymbol{v}_M=[\Omega\boldsymbol{r}_M], \qquad (91')$$

с другой стороны, по (91) имеем:

$$\boldsymbol{v}_M=[\omega_1\boldsymbol{r}_M]+[\omega_2\boldsymbol{r}_M]=\big[(\omega_1+\omega_2)\boldsymbol{r}_M\big]; \qquad (92)$$

сравнивая (91′) и (92) получаем:

$$\Omega=\omega_1+\omega_2. \qquad (93)$$

Обобщая этот результат для случая n составляющих мгновенных вращательных движений, можно написать:

$$\Omega=\sum_{i=1}^{n}\omega_i \quad (i=1,2,3,\ldots,n). \qquad (94)$$

Пусть далее $\bar{\omega}_1 \parallel \bar{\omega}_2$ и направлены в одну и ту же сторону. Проведем плоскость, перпендикулярную к ω_1, пересекающую $\bar{\omega}_1$ в точке A_1, а ω_2—в точке A_2 (фиг. 32). На прямой A_1A_2 можно найти такую точку A, к-рая имела бы в данный момент сложную скорость, равную нулю. В самом деле, пусть C—некоторая точка на A_1A_2; тогда скорость относительного движения C будет $(\boldsymbol{v}_1)_C=[\omega_1\overrightarrow{A_1C}]$, а переносная скорость $(\boldsymbol{v}_2)_C=[\omega_2\overrightarrow{A_2C}]$, причем направления этих векторов противоположны. Т. о. для нахождения A имеем:

$$\omega_1\cdot A_1A=\omega_2\cdot A_2A, \text{ или } \frac{\omega_1}{\omega_2}=\frac{\overline{A_2A}}{\overline{A_1A}}, \qquad (95)$$

так что A делит A_1A_2 внутренним образом на части, обратно пропорциональные ω_1 и ω_2. Очевидно все точки, лежащие на прямой $AD\,|\,\omega_1$, имеют также $v=0$, так что AD есть мгновенная ось вращения сложного движения. Пусть мгновенная угловая скорость сложного вращения равняется Ω. Рассматривая точку A_2, имеем для нее:

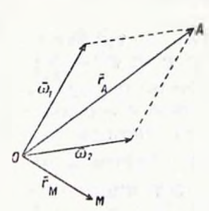
$$(v)_{A_2}=\Omega\cdot\overline{AA_2};\quad (v_1)_{A_2}=\omega_1\cdot\overline{A_1A_2};\quad (\boldsymbol{v}_2)_{A_2}=0.$$

Таким образом $\Omega\cdot AA_2=\omega_1\cdot A_1A_2$, или на основании (95):

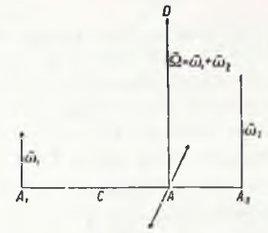
$$\Omega=\frac{\omega_1\cdot\overline{A_1A_2}}{AA_2}=\omega_1\left(\frac{\overline{A_1A}+\overline{A_2A}}{\overline{A_2A}}\right)=\omega_1\left(1+\frac{\overline{AA_1}}{AA_2}\right)=$$

$$=\omega_1\left(1+\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)=\omega_1+\omega_2;\qquad \bar{\Omega}=\bar{\omega}_1+\bar{\omega}_2.$$

Если $\bar{\omega}_1$ и $\bar{\omega}_2$ антипараллельны, то точно таким же образом получаем, что точка A делит отрезок A_1A_2 внешним образом на части, обратно пропорциональные ω_1 и ω_2, и что $\Omega=\omega_2-\omega_1$ (если $\omega_2>\omega_1$). В последнем случае, если $\omega_2=-\omega_1$ (пара вращений), то мгновенная ось вращения удаляется в бесконечность, и тело в своем сложном движении перемещается поступательно со скоростью, перпендикулярной к плоскости, образованной ω_1 и ω_2. В самом деле, для какой-либо точки M тела имеем (фиг. 33):



Фиг. 31.

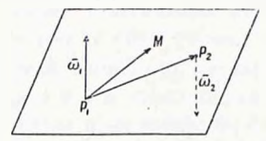


Фиг. 32.

$$\boldsymbol{v}=[\omega_1\overrightarrow{P_1M}]+[\bar{\omega}_2\overrightarrow{P_2M}]=[\omega_1(\overrightarrow{P_1M}-\overrightarrow{P_2M})]=$$

$$=[\omega_1\overrightarrow{P_1P_2}] \text{ и } v=\omega_1\overline{P_1P_2}. \qquad (96)$$

Точно такую же скорость $\boldsymbol{v}$ будет иметь и любая другая точка тела. Отсюда следует,



Фиг. 33.

Фиг. 34.

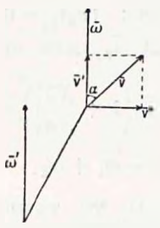
что всякое поступательное движение тела м. б. рассматриваемо как составное движение пары вращений.

Пусть далее одно из составляющих движений будет мгновенное вращение, а другое движение—поступательное, перпендикулярное к мгновенной оси вращения. Заменим скорость $\boldsymbol{v}$ поступательного движения парою вращений $\bar{\omega}_1$ и $\bar{\omega}_2$ так, чтобы $\omega_1=\omega=-\omega_2$ (фиг. 34), причем на основании (95) имеем:

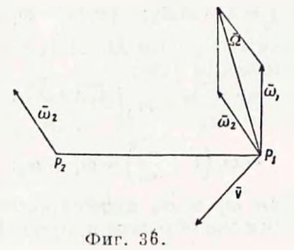
$$\overline{P_1P_2}=\frac{v}{\omega_1};$$

т. к. $\bar{\omega}_2=-\bar{\omega}$, то эти два вращения взаимно уничтожаются, и остается одно вращение ω_1.

Т. о. сложное движение в данном случае есть мгновенное вращение, происходящее с мгновенной угловой скоростью, равной данной, но около оси, параллельной первой и отстоящей от нее на расстоянии $\frac{v}{\omega}$. Если мгновенная ось вращения не перпендикулярна к скорости v поступательного движения, образуя с последней угол α, то разложив v на два составляющих поступательных движения со скоростями v' и v''—первое по направлению ω, а второе по перпендикулярному направлению—имеем $v' = v\cos\alpha$; $v'' = v\sin\alpha$ (фиг. 35). В свою очередь движения v'' и ω м. б. заменены одним мгновенным вращением $\omega' \parallel \omega$ и отстоящим от ω на расстоянии $d = \frac{v''}{\omega} = \frac{v\cdot\sin\alpha}{\omega}$; в окончательном итоге имеем сложное движение, состоящее из поступательного движения со скоростью v' и мгновенного вращения с угловой скоростью ω', причем $\omega' \parallel v'$, т. е. получаем мгновенное винтовое движение.

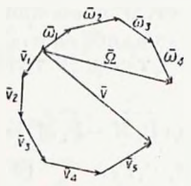


Фиг. 35.

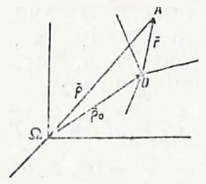


Фиг. 36.

Пусть наконец имеются два мгновенных вращения с угловыми скоростями ω_1 и ω_2, направления которых перекрещиваются. Перенося ω_2 параллельно самому себе в точку приложения P_1 вектора ω_1, прибавим в то же время поступательную скорость $v \perp \omega_2$ (фиг. 36). Мгновенные вращения ω_1 и ω_2 заменим одним вращением $\Omega = \omega_1 + \omega_2$. Т. о. имеется вращение Ω и поступательное движение v, к-рые м. б. заменены, как выше было доказано, одним винтовым движением. Обобщая вышеприведенные результаты, можно сказать, что если имеются n мгновенных составных вращения $\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_n$ и m составных поступательного движения $v_1, v_2, \ldots, v_m$, то, заменив все составляющие вращения одним результирующим вращением Ω (фиг. 37), а все поступательные движения одним результирующим поступательным движением со скоростью v, заменим затем Ω и v одним результирующим винтовым движением.



Фиг. 37.



Фиг. 38.

Определение полного ускорения точек тела при сложном движении последнего м. б. произведено след. обр. Пусть обе системы отсчета O и Ω имеют одно общее начало и пусть мгновенная угловая скорость вращения системы O будет ω; скорость какой-либо точки A, определяемой радиусом-вектором r, складывается из переносной скорости $[\omega r]$ и относительной скорости v_r, равной $\frac{d'r}{dt}$, где знак (′) указывает на то, что изменение рассматривается по отношению к системе O (т. н. локальная производная). Т. о.

$$v = \frac{dr}{dt} = [\omega r] + \frac{d'r}{dt}. \qquad (97)$$

Так как всякий другой вектор $b = b(t)$ м. б. рассматриваем как радиус-вектор конечной точки его, то и по отношению к b м. б. применено соотношение (97), т. е.

$$\frac{db}{dt} = [\omega b] + \frac{d'b}{dt}. \qquad (97')$$

Если же начало O не совпадает с началом Ω, то, обозначив $\overrightarrow{OA} = r$, $\overrightarrow{\Omega O} = \varrho_0$ и $\overrightarrow{\Omega A} = \varrho$ (фиг. 38), имеем:

$$\varrho = \varrho_0 + r. \qquad (98)$$

Отсюда на основании (97) имеем:

$$v = \frac{d\varrho}{dt} = \frac{d\varrho_0}{dt} + [\omega r] + \frac{d'r}{dt} = v_0 + [\omega r] + v_r, \qquad (99)$$

где v_0 — скорость точки O. Беря производную по t от (99) и применяя к v_r и r ф-лу (97′), имеем:

$$a = \frac{d}{dt}\left\{v_0 + [\omega r]\right\} + \frac{dv_r}{dt} = \frac{dv_0}{dt} + \left[\frac{d\omega}{dt} r\right] + \left[\omega \frac{dr}{dt}\right] + \frac{d'v_r}{dt} + [\omega v_r] = \frac{dv_0}{dt} + \left[\frac{d\omega}{dt} r\right] + \left[\omega \frac{d'r}{dt}\right] + [\omega [\omega r]] + \frac{d'v_r}{dt} + [\omega v_r],$$

или же, так как $\frac{d'r}{dt} = v_r$, имеем после приведения:

$$a = \frac{dv_0}{dt} + \left[\frac{d\omega}{dt} r\right] + [\omega [\omega r]] + 2[\omega v_r] + \frac{d'v_r}{dt}. \qquad (100)$$

Если бы не было относительного движения, то, так как $v_r = 0$, ускорение a равнялось бы ускорению переносного движения a_e, и следовательно

$$a_e = \frac{dv_0}{dt} + \left[\frac{d\omega}{dt} r\right] + [\omega [\omega r]]; \qquad (101)$$

член $\frac{d'v_r}{dt}$ представляет очевидно относительное ускорение

$$a_r = \frac{d'r_r}{dt}. \qquad (102)$$

Таким образом

$$a = a_e + a_r + 2[\omega v_r]; \qquad (103)$$

последний член правой части (103) представляет т. н. добавочное или поворотное (кориолисово) ускорение a_c, так что

$$a_c = 2[\omega v_r] \qquad (104)$$

и

$$a_c = 2\omega \cdot v_r \cdot \sin(\omega, v_r). \qquad (105)$$

Динамика точки. До сих пор явления движения рассматривались нами вне зависимости от «причин», вызывающих их, т. е. вне зависимости от тех факторов, без наличия которых данное движение не могло бы

состояться, каковы напр. мускульное усилие руки при бросании нами предмета, притяжение земли, натяжение нити при качании маятника и т. п. Зависимости, существующие между данными «причинами» движения или силами и вызываемыми ими движениями, составляют предмет изучения динамики. В основу последней положены следующие принципы, нашедшие свое подтверждение в совпадении полученных на их основе теоретич. выводов с фактич. явлениями природы. 1) Всякая материальная точка, на которую никакая сила не действует, находится в состоянии прямолинейного и равномерного движения (так наз. принцип инерции, или 1-я аксиома Ньютона). В этом случае имеем очевидно

$$v = \text{Const},$$

т. ч. характер движения точки определяется равенствами (12) и (12′). 2) Всякая сила, действующая на материальную точку, сообщает последней ускорение, пропорциональное величине силы; направление же полного ускорения a совпадает с направлением действующей силы F (2-я аксиома Ньютона). Обозначая постоянный для данной материальной точки фактор пропорциональности между a и F, характеризующий также массу точки, через m (см. *Масса*), имеем следовательно:

$$\frac{F}{a} = m \qquad (106)$$

и

$$F = ma$$

или по (37) и (15)

$$F = m\frac{dv}{dt} = m\frac{d^2r}{dt^2}. \qquad (107)$$

Проектируя F на три взаимно-перпендикулярные оси координат Ox, Oy, Oz и обозначая эти проекции через X, Y, Z, имеем из (2) и (38′):

$$\left.\begin{aligned} X &= ma_x = m\frac{d^2x}{dt^2}i \\ Y &= ma_y = m\frac{d^2y}{dt^2}j \\ Z &= ma_z = m\frac{d^2z}{dt^2}k \end{aligned}\right\} \text{ или } \left.\begin{aligned} X &= m\frac{d^2x}{dt^2} \\ Y &= m\frac{d^2y}{dt^2} \\ Z &= m\frac{d^2z}{dt^2} \end{aligned}\right\}. \qquad (108)$$

Ур-ия (108), равносильные ур-ию (106), называются основными уравнениями динамики. Обозначая углы, образованные вектором F с положительными направлениями осей координат, через α, β, γ, имеем:

$$\cos\alpha = \frac{X}{F};\ \cos\beta = \frac{Y}{F};\ \cos\gamma = \frac{Z}{F}; \qquad (109)$$

$$F = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}; \qquad (110)$$

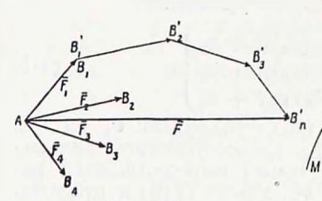
что дает возможность определить величину и направление силы, зная величины X, Y, Z. Так как одновременное динамич. воздействие X, Y, Z эквивалентно действию F, то X, Y, Z называются поэтому компонентами, или составляющими, силы F по осям координат. Аналогично этому проекция F по какому-нибудь произвольному направлению называется ее компонентой, или составляющей, по этому направлению. Пусть к данной материальной точке приложены силы $F_1, F_2, \ldots, F_n$, компоненты которых по осям координат суть соответственно $X_1, Y_1, Z_1; X_2, Y_2, Z_2; \ldots; X_n, Y_n, Z_n$. Заменив силы, действующие по одной и той же оси, равнодействующими X, Y, Z, имеем:

$$X = \sum_1^n X_i;\ Y = \sum_1^n Y_i;\ Z = \sum_1^n Z_i.$$

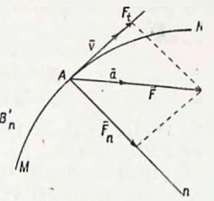
Вектор F, компоненты которого по осям координат суть X, Y, Z, называется равнодействующей данной системы сил $F_1, F_2, \ldots, F_n$, а последние называются силами составляющими. Т. о. имеем:

$$F = X + Y + Z = (X_1 + X_2 + \ldots + X_n) + (Y_1 + Y_2 + \ldots + Y_n) + (Z_1 + Z_2 + \ldots + Z_n) = (X_1 + Y_1 + Z_1) + (X_2 + Y_2 + Z_2) + \ldots + (X_n + Y_n + Z_n) = F_1 + F_2 + \ldots + F_n, \qquad (110')$$

т. е. вектор равнодействующей силы равен сумме векторов сил составляющих. Мн-к $AB_1'B_2'B_3' \ldots B_n'$ (фиг. 39), построенный так, что



Фиг. 39.



Фиг. 40.

$\overrightarrow{A_1'B_2'} = F_2$; $\overrightarrow{B_2'B_3'} = F_3$; …; $\overrightarrow{B_{n-1}'B_n'} = F_n$, называется многоугольником сил, или силовым многоугольником. Вектор F очевидно равен замыкающей стороне силового мн-ка, проведенной от начала мн-ка A к концу его B_n'. Из (110) имеем в этом случае:

$$F = \sqrt{\left(\sum_1^n X_i\right)^2 + \left(\sum_1^n Y_i\right)^2 + \left(\sum_1^n Z_i\right)^2}. \qquad (110'')$$

Пользуясь ур-иями (108) или, что равносильно, ур-ием (106), можно себе поставить следующие две основные проблемы: 1) зная движение точки, т. е. ур-ия движения (2), определить действующую силу, т. е. функциональную зависимость величины и направления силы от времени t, и 2) зная силу, т. е. значения величин (108) как ф-ии времени, определить движения точки, т. е. ур-ия движения (2). Масса точки в обоих случаях предполагается известной. Для решения первой проблемы очевидно достаточно взять вторые производные по t от функции (2) и умножить эти производные на m, что и определит X, Y, Z в функции t. Величина и направление F в зависимости от t определяются уже затем равенствами (109) и (110). Для решения второй проблемы, обратной первой, необходимо очевидно проинтегрировать систему трех диференциальных ур-ий 2-го порядка (108), вследствие чего x, y, z окажутся зависимыми не только от t, но и от шести произвольных постоянных интеграции $C_1, C_2, \ldots, C_6$, так что:

$$x = f_1(t, C_1, C_2, \ldots, C_6);\ y = f_2(t, C_1, C_2, \ldots, C_6);\ z = f_3(t, C_1, C_2, \ldots, C_6),$$

или

$$r = r(t, C_1, C_2, \ldots, C_6). \qquad (111)$$

Произвольные постоянные $C_1, C_2, \ldots, C_6$ принимают однако вполне конкретные значения, если известны условия движения точки в какой-нибудь момент, т. е.

если известны положение, величина и направление скорости точки в определенный момент. В частности эти условия м. б. и начальными, т. е. соответствующими моменту $t=0$. Так, если $\boldsymbol{F}=0$, т. е. если движение равномерно и прямолинейно, то из (106) имеем $\boldsymbol{a}=0$, и следовательно

$$\boldsymbol{v}=\text{Const}=\boldsymbol{v}_0 \qquad (112)$$

или

$$\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}=\boldsymbol{v}_0. \qquad (112')$$

Интегрируя (112′), получаем:

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{v}_0 t+\boldsymbol{C}. \qquad (113)$$

Если при $t=0$, $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_0$, то из (113) получаем: $\boldsymbol{C}=\boldsymbol{r}_0$, т. ч. вместо (113) имеем:

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{v}_0 t+\boldsymbol{r}_0, \qquad (114)$$

что равносильно трем ур-иям:

$$\left.\begin{aligned} x&=(v_0)_x t+x_0\\ y&=(v_0)_y t+y_0\\ z&=(v_0)_z t+z_0 \end{aligned}\right\}, \qquad (115)$$

где $(v_0)_x$, $(v_0)_y$ и $(v_0)_z$—проекции $\boldsymbol{v}_0$ на оси координат, а x_0, y_0, z_0—координаты начального положения точки определяемого радиусом-вектором $\boldsymbol{r}_0$. Ур-ия (115) и представляют собой ур-ия движения точки, содержащие шесть постоянных $(v_0)_x$, $(v_0)_y$, $(v_0)_z$, x_0, y_0, z_0. Ур-ия прямолинейной траектории точки получим, исключив t из (115):

$$\frac{x-x_0}{(v_0)_x}=\frac{y-y_0}{(v_0)_y}=\frac{z-z_0}{(v_0)_z}. \qquad (116)$$

Пусть материальная точка, находящаяся под действием силы $\boldsymbol{F}$ и имеющая в данный момент скорость v, движется по траектории MN (фиг. 40). Разложим $\boldsymbol{F}$ на две компоненты: одну $\boldsymbol{F}_t$, называемую тангенциальной компонентой—по направлению касательной, проведенной к траектории в рассматриваемом положении точки, и другую, F_n, называемую нормальной компонентой,—по направлению соответствующей главной нормали кривой MN. Из (106), (44) и (45) имеем тогда:

$$\boldsymbol{F}_t=(m\boldsymbol{a})_t=m\boldsymbol{a}_t=\pm m\frac{dv}{dt}\tau_1, \qquad (117)$$

$$\boldsymbol{F}_n=(m\boldsymbol{a})_n=m\boldsymbol{a}_n=m\frac{v^2}{\varrho}\varrho_1, \qquad (118)$$

причем модули этих компонент:

$$F_t=m\frac{dv}{dt}, \qquad (117')$$

$$F_n=m\frac{v^2}{\varrho}, \qquad (118')$$

а модуль силы:

$$F=m\sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2+\left(\frac{v^2}{\varrho}\right)^2}. \qquad (119)$$

Так как вектор полного ускорения $\boldsymbol{a}$ лежит всегда в соприкасающейся плоскости кривой и направлен всегда внутрь кривизны кривой, то, как это видно из (106), и вектор $\boldsymbol{F}$ лежит в соприкасающейся плоскости и также всегда направлен внутрь кривизны траектории. Отсюда также следует, что компонента силы $\boldsymbol{F}$ по бинормали всегда равна нулю. Как видно из (117), тангенциальная компонента $\boldsymbol{F}_t$ влияет лишь на изменение линейной скорости v, т. е. обусловливает изменение равномерности движения точки; нормальная же компонента, как видно из (118), влияет на радиус кривизны траектории, т. е. обусловливает отклонение движения точки от прямолинейности. Т. о., если $\boldsymbol{F}_t=0$, т. е. если сила $\boldsymbol{F}$ в любом положении точки направлена по главной нормали, то точка движется равномерно; в самом деле, в этом случае имеем из (117′):

$$\frac{dv}{dt}=0 \quad \text{и} \quad v=\text{Const}.$$

Если же в любом положении точки $\boldsymbol{F}_n=0$, то точка движется прямолинейно; в самом деле, в этом случае имеем на основании (118) $\frac{v^2}{\varrho}=0$ и $\varrho=\infty$, что указывает на прямолинейность траектории. При круговом движении точки имеем на основании (44″), (45″) и (46′):

$$F_t=\pm mR\frac{d\omega}{dt}=\pm R0, \qquad (117'')$$

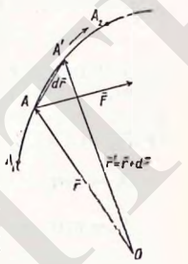
$$F_n=mR\omega^2, \qquad (118'')$$

$$F=mR\sqrt{0^2+\omega^4}, \qquad (119')$$

где R—попрежнему радиус окружности. по которой движется точка. Если точка движется при этом равномерно, и так как в этом случае $F_t=0$, то

$$F=F_n=mR\omega^2, \qquad (119'')$$

так что сила $\boldsymbol{F}$ в равномерном движении по кругу все время будет направлена к центру окружности. Эта последняя сила представляет собой частный случай т. н. центральных сил, таких сил, линии действия к-рых проходят через одну и ту же точку. Пусть $\boldsymbol{F}$ представляет собою некоторую центральную силу, проходящую через точку O. Далее, так как направление $\boldsymbol{a}$ всегда совпадает с направлением $\boldsymbol{F}$, то линия действия $\boldsymbol{a}$ также все время проходит через O, так что точка будет совершать центральное движение, т. е., как это видно из равенства (54′), секториальная скорость движения точки постоянна, а радиус-вектор, определяющий положение движущейся точки и имеющий начало в O, ометает площади, пропорциональные истекшим промежуткам времени. Такого рода движения совершают например планеты, находящиеся под действием силы притяжения солнца (законы Кеплера).



Фиг. 41.

Пусть точка, находящаяся под действием силы $\boldsymbol{F}$, переместилась за бесконечно малый промежуток времени dt из положения A, определяемого радиусом-вектором $\boldsymbol{r}$, в бесконечно близкое положение A' (фиг. 41), определяемое вектором

$$\boldsymbol{r}'=\boldsymbol{r}+d\boldsymbol{r}.$$

Элементарной работой dT силы $\boldsymbol{F}$ называется скалярное произведение векторов $\boldsymbol{F}$ и $d\boldsymbol{r}$, так что

$$dT=\boldsymbol{F}\cdot d\boldsymbol{r}=F\cdot dr\cos(\boldsymbol{F},\,d\boldsymbol{r}), \qquad (120)$$

причем dr м. б. отождествлен с элементом ds пройденного пути. В зависимости от того, будет ли $\measuredangle(\boldsymbol{F},\,d\boldsymbol{r})>$ или $<90°$, и элементарная работа dT будет либо положительна либо отрицательна. В последнем случае $\boldsymbol{F}$ называется тормозящей силой. Если же $\measuredangle(\boldsymbol{F},\,d\boldsymbol{r})=90°$, т. е. если $\boldsymbol{F}$ нормальна к траектории, то и $dT=0$. Если модули проекций $d\boldsymbol{r}$ на оси координат обозначить через dx, dy, dz, то, пользуясь ф-лой векторного исчисления $\boldsymbol{AB}=A_xB_x+A_yB_y+A_zB_z$, имеем из (120):

$$dT=X\,dx+Y\,dy+Z\,dz. \qquad (121)$$

Пусть, далее, за промежуток времени от t_1 до t_2, равный Δt, точка переместилась из положения A_1 в положение A_2. Полной работой T силы $\boldsymbol{F}$ за этот промежуток времени на этом пути называется сумма всех элементарных работ за этот же промежуток на этом же пути, т. е.

$$T=\int_{A_1}^{A_2}\boldsymbol{F}\,d\boldsymbol{r}=\int_{A_1}^{A_2}F\cos(\boldsymbol{F},\,d\boldsymbol{r})\,dr=$$

$$=\int_{A_1}^{A_2}(X\,dx+Y\,dy+Z\,dz). \qquad (122)$$

В частности, если точка движется прямолинейно и если $\boldsymbol{F}$ совпадает с направлением движения, и так как в этом случае $\cos(\boldsymbol{F},\,\boldsymbol{r})=1$, то из (122) имеем:

$$T=\int_{A_1}^{A_2}F\,dr. \qquad (122')$$

Если к тому же $F=\text{Const}$, то имеем из последнего равенства:

$$T=Fs, \qquad (122'')$$

где $s=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1$—путь, пройденный точкой за рассматриваемый промежуток времени. Если же в любом положении точки $\boldsymbol{F}$ нормальна к траектории, т. е. $\boldsymbol{F}\perp d\boldsymbol{r}$, и т. к. в этом случае $\cos(\boldsymbol{F},\,d\boldsymbol{r})=0$, то из (122) имеем $T=0$. Если на точку действует ряд сил $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}_2$, $\boldsymbol{F}_3$, ..., $\boldsymbol{F}_n$, причем равнодействующая их $\boldsymbol{F}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2+\ldots+\boldsymbol{F}_n$, то из (122) имеем:

$$T=\int_{A_1}^{A_2}\boldsymbol{F}\,d\boldsymbol{r}=\int_{A_1}^{A_2}(\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2+\ldots+\boldsymbol{F}_n)\,d\boldsymbol{r}=$$

$$=\int_{A_1}^{A_2}\boldsymbol{F}_1\,d\boldsymbol{r}+\int_{A_1}^{A_2}\boldsymbol{F}_2\,d\boldsymbol{r}+\ldots=T_1+T_2+\ldots+T_n,$$

где T_1, T_2, T_3, ..., T_n—полные работы сил составляющих. Следовательно полная работа равнодействующей силы будет равна алгебраической сумме работ сил составляющих. Если вообще работа силы за промежуток Δt равняется ΔT, то средней мощностью работы $W_{cp.}$ за рассматриваемый промежуток времени называется частное $\frac{\Delta T}{\Delta t}$, так что

$$W_{cp.}=\frac{\Delta T}{\Delta t}. \qquad (123)$$

Истинною же мощностью W в данный момент называется предел частного (123) при $\Delta t\to 0$, так что

$$W=\lim_{\Delta t\to 0}\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)=\frac{dT}{dt}. \qquad (124)$$

Из равенств (120), (106), (37) и (15) имеем далее:

$$dT=\boldsymbol{F}\,d\boldsymbol{r}=m\boldsymbol{a}\,d\boldsymbol{r}=m\left(\frac{d\boldsymbol{v}}{dt}d\boldsymbol{r}\right)=m(d\boldsymbol{v}\,\boldsymbol{v})=$$

$$=d\left(\tfrac{1}{2}m\boldsymbol{v}^2\right)=d\left(\tfrac{1}{2}mv^2\right)=dL. \qquad (125)$$

Выражение $L=\frac{1}{2}mv^2$ называется живою силою, или кинетической энергией точки. Т. о. по (125) имеем, что элементарная работа силы $\boldsymbol{F}$ равняется дифференциалу живой силы точки. Если в положении A_1 линейная скорость точки равнялась v_1, а в положении A_2 равнялась v_2, то из (122) и (125) имеем:

$$T=\int_{A_1}^{A_2}d\left(\tfrac{1}{2}mv^2\right)=\frac{mv_2^2}{2}-\frac{mv_1^2}{2}, \qquad (125')$$

т. е. полная работа силы за какой-нибудь промежуток времени равняется изменению кинетич. энергии точки за тот же промежуток времени, причем это изменение м. б. как положительно, так и отрицательно, в соответствии с чем и работа будет либо положительной либо отрицательной.

Понятия работы, мощности и живой силы принадлежат к т. наз. производным понятиям динамики. К числу последних принадлежат также и понятия количество движения и импульс силы. Количеством движения точки называется произведение массы m точки на скорость $\boldsymbol{v}$ последней. Обозначая количество движения через $\boldsymbol{K}$, имеем следовательно:

$$\boldsymbol{K}=m\boldsymbol{v}. \qquad (126)$$

Очевидно вектор $\boldsymbol{K}$ в m раз больше вектора $\boldsymbol{v}$ и совпадает по направлению с последним. Вектор $\boldsymbol{F}\,dt$ называется элементарным импульсом силы, а вектор $\boldsymbol{F}_l dt$, где $\boldsymbol{F}_l$ есть компонента $\boldsymbol{F}$ по некоторому направлению l, называется элементарным импульсом силы по направлению l. Полным импульсом силы $\boldsymbol{J}$ за промежуток времени от t_1 до t_2 называется сумма всех элементарных импульсов силы за рассматриваемый промежуток времени, т. е.

$$\boldsymbol{J}=\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{F}\,dt. \qquad (127)$$

Аналогично этому имеем полный импульс силы по направлению l:

$$J_l=\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{F}\,dt. \qquad (127')$$

Так как $\boldsymbol{F}=\boldsymbol{X}+\boldsymbol{Y}+\boldsymbol{Z}$, то из (127) имеем:

$$\boldsymbol{J}=\int_{t_1}^{t_2}(\boldsymbol{X}+\boldsymbol{Y}+\boldsymbol{Z})\,dt=$$

$$=\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{X}\,dt+\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{Y}\,dt+\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{Z}\,dt=\boldsymbol{J}_x+\boldsymbol{J}_y+\boldsymbol{J}_z,$$

т. е. полный импульс силы равен сумме полных импульсов силы по осям координат. Из (127) непосредственно следует, что

$$\frac{d\boldsymbol{J}}{dt}=\boldsymbol{F}, \qquad (128)$$

т. е. производная по времени от полного импульса силы равняется действующей в данный момент силе $\boldsymbol{F}$. Из (127) имеем также, принимая во внимание (106) и (37):

$$\boldsymbol{J}=\int_{t_1}^{t_2}m\boldsymbol{a}\,dt=m\int_{t_1}^{t_2}d\boldsymbol{v}=m\boldsymbol{v}_2-m\boldsymbol{v}_1, \qquad (129)$$

где v_1 и v_2 — скорости точки в моменты t_1 и t_2. Т. о. видно, что полный импульс силы за какой-нибудь промежуток времени равен изменению количества движения за тот же промежуток времени.

Рассмотрим теперь такую силу F, величина и направление к-рой зависят только от положения точки приложения силы, так что

$$F = F(x, y, z), \qquad (130)$$

или, что равносильно:

$$\left.\begin{aligned} X &= X(x, y, z) \\ Y &= Y(x, y, z) \\ Z &= Z(x, y, z) \end{aligned}\right\}. \qquad (130')$$

Если последние ф-ии однозначны и непрерывны в определенной области, то каждой точке области соответствует сила определенной величины и определенного направления. Совокупность всех таких точек составляет т. н. силовое поле, или поле сил. Допустим кроме того, что имеется такая однозначная непрерывная ф-ия $U(x, y, z)$, которая обладает следующими свойствами:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial x} &= -X \\ \frac{\partial U}{\partial y} &= -Y \\ \frac{\partial U}{\partial z} &= -Z \end{aligned}\right\}. \qquad (131)$$

Если такая ф-ия U для данной силы (130) существует, то она называется по отношению к данной силе силовой, или потенциальной, а сама сила называется потенциальной. Нетрудно видеть, что если данная сила потенциальна, то т. к. из (131) имеем:

$$\frac{\partial X}{dy} = -\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial x} \quad \text{и} \quad \frac{\partial Y}{\partial x} = -\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y},$$

то

$$\frac{\partial X}{\partial y} = \frac{\partial Y}{\partial x}$$

и аналогично:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial Y}{\partial z} &= \frac{\partial Z}{\partial y} \\ \frac{\partial Z}{\partial x} &= \frac{\partial X}{\partial z} \end{aligned}\right\}. \qquad (132)$$

Последние равенства и представляют собой условия, необходимые и достаточные для того, чтобы данная сила F была потенциальной. В последнем случае имеем на основании равенства (131):

$$F = Xi + Yj + Zk = -\frac{\partial U}{\partial x} i - \frac{\partial U}{\partial y} j - \frac{\partial U}{\partial z} k =$$
$$= -\nabla U = -\operatorname{grad} U, \qquad (133)$$

так что F — градиент функции U (см. *Векторное исчисление*). Так как функция U однозначна, то каждой точке рассматриваемого силового поля соответствует одно, и только одно, значение функции U, получаемое подстановкой в $U(x, y, z)$ координат данной точки x_i, y_i, z_i вместо текущих координат x, y, z. Полученное т. о. значение U называется потенциалом поля в рассматриваемой точке. Пусть точка переместилась под действием потенциальной силы F из положения A, определяемого радиусом-вектором r, в бесконечно близкое положение. Элементарная работа силы F при этом перемещении будет по (121) и (131):

$$dT = X\,dx + Y\,dy + Z\,dz =$$
$$= -\left(\frac{\partial U}{\partial x}\,dx + \frac{\partial U}{\partial y}\,dy + \frac{\partial U}{\partial z}\,dz\right). \qquad (133')$$

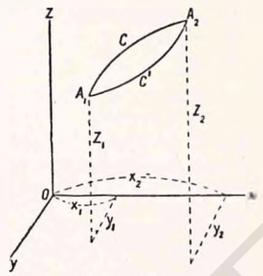
Допустим далее, что под действием данной потенциальной силы F точка переместилась из положения $A_1(x_1, y_1, z_1)$ в положение $A_2(x_2, y_2, z_2)$ по некоторой траектории A_1CA_2 (фиг. 42). Пусть потенциалы поля в этих точках будут соответственно

$$U_1 = U(x_1, y_1, z_1); \quad U_2 = U(x_2, y_2, z_2).$$

Тогда полная работа силы F при рассматриваемом перемещении точки будет равна на основании (122) и (131):

$$T = \int_{A_1}^{A_2} (X\,dx + Y\,dy + Z\,dz) =$$
$$= -\int_{A_1}^{A_2} \left(\frac{\partial U}{\partial x}\,dx + \frac{\partial U}{\partial y}\,dy + \frac{\partial U}{\partial z}\,dz\right) =$$
$$= -\int_{A_1}^{A_2} dU = U_1 - U_2, \qquad (134)$$

так что полная работа T равняется разности потенциалов $U_1 - U_2$. Отсюда видно, что работа T потенциальной силы F не зависит от самой траектории A_1CA_2, а только от положения крайних точек ее. Это свойство называют свойством консервативности потенциальной силы. На этом основании нетрудно притти к выводу, что работа потенциальной силы по всякому замкнутому контуру $A_1CA_2C'A_1$ равняется 0. Сравнивая равенства (125′) и (134), имеем также:



Фиг. 42.

$$\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = U_1 - U_2, \qquad (135)$$

или

$$\frac{mv_1^2}{2} + U_1 = \frac{mv_2^2}{2} + U_2, \qquad (135')$$

так что для всех точек поля

$$\frac{mv_i^2}{2} + U_i = \text{Const}. \qquad (136)$$

Живая сила $\frac{mv_i^2}{2}$ характеризует кинетическую энергию материальной точки массы m в положении (x_i, y_i, z_i), а потенциал U_i — потенциальную энергию материальной точки в том же ее положении. Т. о. ур-ие (136) выражает, что сумма кинетич. и потенциальной энергии материальной точки, перемещающейся под действием потенциальной силы, есть величина постоянная для данного силового поля. Совокупность всех точек поля, имеющих один и тот же потенциал, представляет собою в виду однозначности и непрерывности функции U очевидно некоторую поверхность называемую эквипотенциальной, или поверхностью уровня. Уравнение эквипотенциальной поверхности очевидно будет:

$$U(x, y, z) = C, \qquad (137)$$

или

$$dU = 0, \qquad (137')$$

где C — нек-рая произвольная постоянная. Меняя значение постоянной C, получим целое семейство эквипотенциальных поверхностей. Проведем из какой-либо точки O (фиг. 43) поверхности уровня $U(x, y, z) = C$ нормаль n к последней и пусть эта нормаль образует с осями координат углы α, β, γ. Тогда имеем на основании выводов *дифференциальной геометрии* (см.):

$$\left.\begin{aligned} \cos\alpha &= \frac{\frac{\partial U}{\partial x}}{\sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2}} \\ \cos\beta &= \frac{\frac{\partial U}{\partial y}}{\sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2}} \\ \cos\gamma &= \frac{\frac{\partial U}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2}} \end{aligned}\right\}. \qquad (138)$$

Пусть, с другой стороны, линия действия силы F, действующей в точке O, образует с осями координат углы α', β', γ'. Из равенств (109), (110) и (138) имеем:

$$\cos\alpha' = \frac{X}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} =$$
$$= \frac{\frac{\partial U}{\partial x}}{\sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2}} = \cos\alpha$$

и аналогично:

$$\cos\beta = \cos\beta',$$
$$\cos\gamma = \cos\gamma'.$$

Т. о. потенциальная сила F направлена по нормали к поверхности уровня, проходящей через точку приложения F. Это же можно усмотреть и непосредственно из формулы (133), исходя из самого понятия градиента функции U. Так как по определению все точки поверхности уровня имеют один и тот же потенциал, то из (134) имеем: 1) полная работа потенциальной силы при перемещении точки по поверхности уровня равняется нулю и 2) работа потенциальной силы по произвольному незамкнутому контуру, имеющему крайние точки на одной и той же поверхности уровня, равна 0.

Нетрудно видеть, что всякая центральная сила есть сила потенциальная. В самом деле: допустим, что имеется некоторая центральная сила F, линия действия к-рой проходит через центр O и величина к-рой F зависит от расстояния $AO = r$, где A — точка приложения силы F (фиг. 44), так что

$$F = f(r).$$

Если r_1 — единичный вектор, определяющий направление OA, то вследствие центральности силы F имеем:

$$F = \pm F r_1 = \pm f(r) r_1, \qquad (139)$$

причем знак (+) соответствует случаю о т т а л к и в а ю щ е й от O силы, а знак (−) соответствует случаю п р и т я г и в а ю щ е й к O силы. Элементарная работа силы F равняется, на основании (120) и (139):

$$dT = F \cdot dr = \pm f(r)\,(r_1 \cdot dr) =$$
$$= \pm f(r) dr\,(r_1 \cdot r_1) \pm f(r) \cdot r (r_1 \cdot dr_1) =$$
$$= \pm f(r) dr, \qquad (140)$$

т. к. $(r_1 \cdot r_1) = 1$, а $(r_1 \cdot dr_1) = 0$, ибо $r_1 \perp dr_1$. Обозначая

$$\mp \int f(r)\,dr + C = U, \qquad (141)$$

имеем из (140):

$$dT = -dU, \text{ или } T = U_1 - U_2,$$

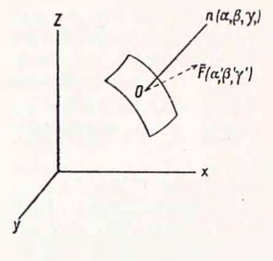
что и доказывает свойство консервативности всякой центральной силы, а вместе с тем и то, что она потенциальна. Ур-ие поверхности уровня будет по (137′):

$$dU = 0,$$

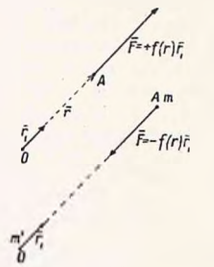
или

$$f(r)\,dr = 0; \quad dr = 0; \quad r = \text{Const},$$

т. е. поверхности уровня представляют концентрические шаровые поверхности, центр которых совпадает с центром O. В частности сила взаимного тяготения, действующая по закону Ньютона как сила центральная, есть в то же время и сила потенциальная, так что по отношению к ней применимы все выводы, сделанные выше по отношению



Фиг. 43.



Фиг. 44.

к потенциальным силам вообще. Если имеются две материальные точки, массы которых равны m и m' и которые отстоят друг от друга на расстоянии r, то, как известно, величина силы взаимного притяжения, действующая между ними, прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату их взаимного расстояния. Если точку массы m' поместить в точке O, то сила притяжения F, действующая на точку массы,

$$F = -k \frac{m'm}{r^2} r_1, \qquad (142)$$

где k — некоторый универсальный фактор пропорциональности. Обозначая km' через μ^2, имеем также

$$F = -\frac{\mu^2 m}{r^2} r_1. \qquad (142')$$

Сравнивая равенства (142′) и (139) и принимая во внимание, что в данном случае F есть сила притяжения, имеем:

$$f(r) = \frac{\mu^2 m}{r^2}, \qquad (143)$$

так что по (141):

$$U = \int \frac{\mu^2 m}{r^2}\,dr = \mu^2 m \int \frac{dr}{r^2} = -\frac{\mu^2 m}{r} + C. \qquad (144)$$

Если при $r = r_0$ потенциальная ф-ия U имеет значение U_0, то из (144) имеем:

$$U_0 = -\frac{\mu^2 m}{r_0} + C, \text{ или } C = U_0 + \frac{\mu^2 m}{r_0},$$

так что

$$U = -\mu^2 m \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right) + U_0. \qquad (144')$$

Нетрудно видеть, что сила тяжести $P = mg$ есть также сила потенциальная. В самом

деле, если оси координат Ox и Oy взять в горизонтальной плоскости, а положительное направление оси Oz взять вертикально вверх, то

$$X=0;\quad Y=0;\quad Z=-mg. \tag{145}$$

Так как условия (132) при этом удовлетворяются, то сила $\boldsymbol{P}$ потенциальна. Для того чтобы найти соответствующую потенциальную функцию, имеем из (133′), принимая во внимание (145),

$$-dU=X\,dx+Y\,dy+Z\,dz=-mg\,dz, \tag{146}$$

откуда интегрируя получаем:

$$U=+mgz+C. \tag{147}$$

Если точке, имеющей ординату $z=z_0$, соответствует потенциал U_0, то из (147) находим:

$$C=U_0-mgz_0,$$

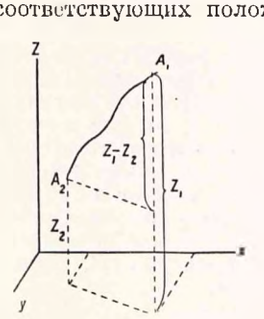
так что

$$U=mg\,(z-z_0)+U_0. \tag{147′}$$

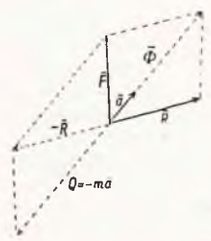
Ур-ие поверхности уровня $U=\text{Const}$ дает в данном случае: $z=\text{Const}$. Т. о. поверхности уровня представляют собой в рассматриваемом случае горизонтальные плоскости. Пусть точка переместилась из положения A_1, где потенциал U_1, в положение A_2, где потенциал U_2 (фиг. 45). Полная работа силы тяжести $\boldsymbol{P}$ при этом перемещении по (134) и (147′):

$$T=U_1-U_2=[mg(z_1-z_0)+U_0]-$$
$$-[mg(z_2-z_0)+U_0]=mg(z_1-z_2)=P(z_1-z_2), \tag{148}$$

где z_1 и z_2 представляют собой координаты соответствующих положений точки. Т. о.



Фиг. 45.



Фиг. 46.

работа силы тяжести при всяком перемещении весомой точки равняется произведению величины силы P на разность высот положений точки. Очевидно, если точка перемещается в горизонтальной плоскости, то, так как разность высот равна нулю, работа силы тяжести также равняется нулю.

До сих пор мы рассматривали движения лишь т. н. свободных точек, т. е. точек, подвергавшихся воздействию только нек-рых сил, из к-рых каждая стремилась сообщить точке определенное движение. Но имеются случаи, когда на движение данной материальной точки помимо данных сил влияют еще и другие причины, как напр. воздействие данной поверхности или кривой, по к-рым материальная точка вынуждена перемещаться (тело, перемещающееся по данной поверхности, шарик, перемещающийся внутри трубочки и т. п.). В последнем случае точка называется несвободной или находящейся под действием связей. Очевидно представляется возможным найти такую силу, действие которой могло бы заменить действие данной связи; такая сила называется реакцией, или силой, связи. Прибавив реакцию $\boldsymbol{R}$ данной связи к данным силам, приложенным к точке и имеющим равнодействующую $\boldsymbol{F}$, можно будет опять рассматривать точку как свободную, к к-рой приложены силы $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{R}$, так что ур-ие движения точки будет по (107):

$$m\frac{d^2r}{dt^2}=\boldsymbol{F}+\boldsymbol{R}. \tag{149}$$

Равнодействующая $\boldsymbol{\Phi}=\boldsymbol{F}+\boldsymbol{R}$ называется эффективною силою в отличие от $\boldsymbol{F}$, называемой силою движущей. Если реакция связи $\boldsymbol{R}$ не дана, то очевидно, что ур-ия (149) недостаточно для определения движения точки, т. к. содержит в сущности три неизвестных компонента силы $\boldsymbol{R}$ по осям координат, вследствие чего является необходимым получить три новых ур-ия. Если точка вынуждена перемещаться по нек-рой поверхности S, то ур-ие этой поверхности

$$f(x,y,z)=0 \tag{150}$$

и представляет собою одно из необходимых дополнительных ур-ий. Если же точка вынуждена перемещаться по нек-рой кривой C, то ур-ия этой кривой

$$\left.\begin{aligned}f_1(x,y,z)&=0\\f_2(x,y,z)&=0\end{aligned}\right\} \tag{151}$$

представляют собой два из необходимых дополнительных ур-ий. Три ур-ия

$$\left.\begin{aligned}f_1(x,y,z)&=0\\f_2(x,y,z)&=0\\f_3(x,y,z)&=0\end{aligned}\right\} \tag{152}$$

дают только одно определенное положение точки, так что перемещение последней оказывается невозможным. Если связи абсолютно гладкие, т. е. если реакция связей не имеет тангенциальных компонент, то $\boldsymbol{R}$ нормальна как к поверхности S, так и к кривой C. Принимая это обстоятельство во внимание, получаем два уравнения, выражающих перпендикулярность $\boldsymbol{R}$ к поверхности S, и одно ур-ие, выражающее перпендикулярность $\boldsymbol{R}$ к кривой C. И в том и в другом случае мы следовательно получаем по три добавочных ур-ия, необходимых как для полного определения движения точки, так и для нахождения неизвестных компонент реакции связи $\boldsymbol{R}$. Распространяя этот вывод и на крайние случаи абсолютно свободной и абсолютно несвободной точек, можно сказать, что в первом случае эти три добавочных уравнения дают условие $\boldsymbol{R}=0$, а во втором—условие $\boldsymbol{v}=0$. При наличии поверхности S можно две из переменных величин x, y, z выбрать произвольно, а третью определить через первые две из уравнения (150). Произвольно взятые координаты называются свободными (см. *Координаты*). При наличии же кривой C можно произвольно взять только одну из трех координат, а оставшиеся две определяются через первую из ур-ий (151). Так как в первом случае точка обладает большею свободою движения, чем во втором, то число свободных координат принимается как величина, определяющая степень свободы точки, находящейся под действием связей. Очевидно имеет 3, 2, 1 и 0 степеней свободы в зависимости от того, перемещается ли она свободно по поверхности, по кривой или совершенно неподвижна. Ур-ие движения (149) м. б. представлено еще и в следующем виде:

$$\boldsymbol{F}+\boldsymbol{R}+(-m\boldsymbol{a})=0, \tag{153}$$

что м. б. интерпретировано след. обр. Допустим, что кроме сил $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{R}$ к точке приложена еще одна сила

$$\boldsymbol{Q}=-m\boldsymbol{a}. \tag{154}$$

Тогда, как это видно из (153), все три силы взаимно уравновешиваются. Эта фиктивная по отношению к движущейся точке сила $\boldsymbol{Q}$ называется силою инерции. Т. о. получается, что данная материальная точка, находящаяся под действием сил $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{R}$, движется так, что в каждый момент движения силы $\boldsymbol{F}$, $\boldsymbol{R}$ и сила инерции взаимно уравновешиваются. В этом собственно и заключается т. наз. принцип, или начало, Д'Аламбера. Равнодействующая сил $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{Q}$, равная $-\boldsymbol{R}$, называется потерянною силою (фиг. 46). Очевидно также, что сила инерции $\boldsymbol{Q}$ по величине своей равна эффективной силе $\boldsymbol{\Phi}$, но по направлению противоположна последней, так что $\boldsymbol{Q}=-\boldsymbol{\Phi}$. При всей своей простоте принцип Д'Аламбера во многих случаях значительно облегчает исследование законов движения точки, сводя вопрос о движении точки к вопросу о ее равновесии.

Допустим, что материальная точка вынуждена перемещаться по некоторой кривой C. Спроектируем силы $\boldsymbol{F}$, $\boldsymbol{R}$ и $\boldsymbol{Q}$ на направления: касательной к кривой, проведенной в сторону движения точки, главной нормали, проведенной к центру кривизны кривой в рассматриваемом положении точки, и бинормали (фиг. 47). Так как $\boldsymbol{R}$ нормальна к кривой, т. е. $\boldsymbol{R}\perp\boldsymbol{\tau}_1$, где $\boldsymbol{\tau}_1$ попрежнему единичный вектор, определяющий направление касательной, то, обозначая компоненту $\boldsymbol{F}$ по касательной через $\boldsymbol{F}_t$, имеем из (117) и (149):

$$\boldsymbol{F}_t-m\frac{dv}{dt}\boldsymbol{\tau}_1=0. \tag{155}$$

Обозначая компоненты $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{R}$ по главной нормали через $\boldsymbol{F}_n$ и $\boldsymbol{R}_n$, имеем из (118) и (149):

$$\boldsymbol{F}_n+\boldsymbol{R}_n-\frac{mv^2}{\varrho}\boldsymbol{\varrho}_1=0. \tag{156}$$

Компонента силы инерции $\boldsymbol{Q}$ по главной нормали

$$\boldsymbol{Q}_n=-\frac{mv^2}{\varrho}\boldsymbol{\varrho}_1 \tag{156′}$$

называется центробежной силой инерции. Если точка движется по окружности с угловой скоростью ω, то, так как $v=\omega r$ и $\varrho=r$, имеем:

$$\boldsymbol{Q}_n=-m\omega^2r\boldsymbol{\varrho}_1 \tag{156″}$$

При равномерном круговом движении

$$\boldsymbol{Q}=\boldsymbol{Q}_n.$$

Т. к. далее по (47) проекция полного ускорения $\boldsymbol{a}$ на бинормаль равна 0, то из (153) имеем также

$$\boldsymbol{F}_b+\boldsymbol{R}_b=0, \tag{157}$$

где $\boldsymbol{F}_b$ и $\boldsymbol{R}_b$ суть компоненты сил $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{R}$ по бинормали. В виду того, что $\boldsymbol{R}$ при абсолютно гладких связях всегда нормальна к траектории точки, находящейся под действием этих связей, то полная работа $\boldsymbol{R}$ при любом перемещении точки равняется нулю, что справедливо и для вышеуказанных крайних случаев ($\boldsymbol{R}=0$ или $\boldsymbol{v}=0$). Таким образом

$$\int\boldsymbol{R}\cdot d\boldsymbol{r}=0. \tag{158}$$

Допустим, что точка, находящаяся под действием связи, представляемой поверхностью S, начала перемещаться из состояния покоя под действием сил $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{R}$. Это движение в начальный момент происходит по направлению равнодействующей их, т. е. по направлению эффективной силы $\boldsymbol{\Phi}$. Очевидно, что элементарная работа обеих сил в этот момент положительна, так что

$$(\boldsymbol{F}+\boldsymbol{R})\cdot d\boldsymbol{r}>0$$

и так как

$$\boldsymbol{R}\cdot d\boldsymbol{r}=0, \tag{158′}$$

то

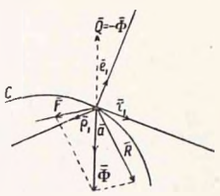
$$\boldsymbol{F}\cdot d\boldsymbol{r}>0,$$

т. е. $F\,dr\cos(\boldsymbol{F},d\boldsymbol{r})>0$ или $\cos(\boldsymbol{F},d\boldsymbol{r})>0$.

Отсюда видно, что начальное элементарное перемещение $d\boldsymbol{r}$ образует с силою $\boldsymbol{F}$ острый угол. Если сила $\boldsymbol{F}$ потенциальна, то так как по (133′) $dT=\boldsymbol{F}\cdot d\boldsymbol{r}=-dU$, то следовательно в рассматриваемый момент

$$dU<0, \tag{159}$$

т. е., другими словами, при начале движения потенциал U должен убывать. Отсюда следует, что если среди всех возможных элементарных перемещений, допускаемых данной связью, нет ни одного, при к-ром бы потенциал U убывал, то точка под действием сил $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{R}$ не может притти в движение и следовательно будет находиться в равновесии. Такой случай может представиться напр., если точка находится на поверхности S в таком положении, при котором U принимает максимальное или минимальное значения, так как в этом случае при всех возможных элементарных перемещениях, допускаемых связью, $dU=0$. В случае, если в качестве силы $\boldsymbol{F}$ является вес материальной точки $\boldsymbol{P}=m\boldsymbol{g}$, то так как в этом случае по (146)



Фиг. 47.

$$dU=mg\,dz$$

и так как в начале движения $dU<0$, то в этот же момент

$$dz<0,$$

т. е. весомая точка начинает двигаться под действием сил $\boldsymbol{P}$ и $\boldsymbol{R}$ так, что z убывает, т. е. начинает двигаться вниз. Т. к. работа силы $\boldsymbol{R}$ при движении точки равняется нулю, то ур-ия (125) и (125′) применимы и для несвободной точки, рассматриваемой как точка, к которой как будто бы никакие реакции связей не приложены. Если же сила

$\boldsymbol{F}$ потенциальна, то и ур-ие (135) м. б. применено при таком же игнорировании силы $\boldsymbol{R}$. Отсюда между прочим следует, что если имеем ряд материальных точек, падающих под действием силы тяжести в пустоте с одной и той же высоты, причем одни из них свободны, а другие вынуждены перемещаться по гладким поверхностям или кривым, то, находясь на одной и той же высоте, все они имеют одну и ту же скорость. Пусть нек-рая материальная точка вынуждена перемещаться по гладкой кривой C. Так как по (158′)

$$\boldsymbol{R}\cdot d\boldsymbol{r}=0,$$

то, умножая скалярно левую часть ур-ия (153) на $d\boldsymbol{r}$, получаем:

$$\boldsymbol{F}\cdot d\boldsymbol{r}-m\boldsymbol{a}\cdot d\boldsymbol{r}=0. \qquad (160)$$

Допустим, что рассматриваемая точка находится в покое. Тогда имеем из (160), так как $\boldsymbol{a}=0$:

$$\boldsymbol{F}\cdot d\boldsymbol{r}=0, \qquad (161)$$

т. е. $\boldsymbol{F}\perp d\boldsymbol{r}$. Т. о. для того, чтобы точка, находящаяся под воздействием связи C, была в равновесии, достаточно, чтобы движущая сила $\boldsymbol{F}$ была нормальна к кривой C. Если же точка перемещается по кривой C, причем $\boldsymbol{F}=0$, то из (155) имеем

$$m\frac{dv}{dt}\tau_1=0,$$

и следовательно $v=\mathrm{Const}$, так что в рассматриваемом случае точка перемещается по кривой с постоянною линейною скоростью v. Из (157) и (156) имеем также в этом случае

$$\boldsymbol{R}_b=0 \qquad (162)$$

и

$$\boldsymbol{R}_n=\frac{mv^2}{\varrho}\varrho_1. \qquad (163)$$

т. е. что

$$\boldsymbol{R}=\boldsymbol{R}_b+\boldsymbol{R}_n=\boldsymbol{R}_n=\frac{mv^2}{\varrho}\varrho_1. \qquad (164)$$

Выводы, касающиеся движения точки по данной кривой или по данной поверхности, имеют большое прикладное значение, как напр. при исследовании движения маятника и во многих других случаях (см. *Маятник*, *Колебательные движения*).

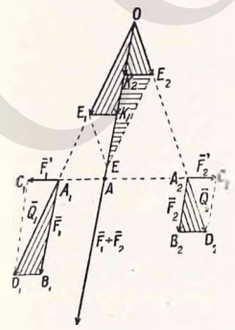
До сих пор мы рассматривали связи, не зависящие от времени t, т. е. не изменяющиеся с течением времени. Однако может случиться, что во время перемещения точки по данной связи сама связь также изменяется, что имеет напр. место, если точка перемещается по кривой или же по поверхности, к-рые в свою очередь перемещаются в пространстве. В последнем случае уравнения (151) кривой C или уравнение (150) поверхности S содержат в явной форме помимо переменных x, y, z также и переменную t. Для определения движения материальной точки, находящейся под действием силы $\boldsymbol{F}$ при наличии связи, зависящей от t, можно поступать точно таким же образом, как и выше, т. е. исходить из содержащихся в (149) трех основных координатных ур-ий динамики в соединении с тремя ур-иями, выражающими данную связь и перпендикулярность ее реакции. Но в дальнейшем выводы о движении точки при наличии связи, не зависящей от времени, к рассматриваемому случаю неприменимы. В то время как в первом случае, напр. траектория, описываемая точкою в пространстве, вполне совпадает со связью, осуществляемой кривою C, во втором траектория точки отличается от кривой C; вследствие этого сила $\boldsymbol{R}$ перпендикулярна к траектории при связи, не зависящей от времени, и не перпендикулярна к траектории при связи, зависящей от t. Если точка вынуждена перемещаться по прямой, в свою очередь вращающейся около одной из своих точек, то очевидно, что траектория точки есть некоторая кривая, и что перпендикулярная к прямой сила $\boldsymbol{R}$ не будет перпендикулярна к траектории точки.

Выше при установлении уравнения (153) мы видели, что законы движения точки м. б. сведены к законам равновесия точки, находящейся под действием определенных сил, и что это обстоятельство упрощает в значительной степени исследование законов движения. Этот метод оказывается еще в большей мере полезным при исследовании движения системы материальных точек. Поэтому целесообразно сначала установить общие законы статики точки и твердого тела, а затем перейти к исследованию законов движения системы точек и в частности—твердого тела.

Статика. Допустим, что к какому-нибудь твердому телу приложена система сил $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}_2$, ..., $\boldsymbol{F}_n$, величины, направления и линии действия которых известны. Основной задачей статики является определение условий, при которых данные силы взаимно уравновешиваются или, если данные силы не уравновешиваются, то каковы д. б. те силы, которые необходимо прибавить, чтобы равновесие имело место. При этом нужно различать следующие системы сил: 1) с х о д я щ у ю с я систему сил, т. е. такую систему сил, линии действия которых пересекаются в одной точке, в отличие от н е с х о д я щ е й с я системы сил, линии действия к-рых в одной точке не пересекаются; 2) п л о с к у ю систему сил, т. е. систему сил, линии действия которых лежат в одной плоскости, в отличие от н е п л о с к о й системы, у которой линии действия сил в одной плоскости не лежат. В основе всех выводов статики лежит следующий принцип: для того чтобы две силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$, приложенные к одному и тому же телу, взаимно уравновешивались, необходимо и достаточно, чтобы силы были равны по величине, противоположны по направлению и чтобы линии действия их совпадали (3-й з а к о н Н ь ю т о н а); при этом расстояние между точками приложения сил никакой роли не играет. Отсюда следует, что все силы, имеющие одну и ту же величину, общую линию действия и направленные в одну и ту же сторону,—э к в и в а л е н т н ы. Вследствие этого вектор силы в статике принадлежит к категории так наз. с к о л ь з я щ и х векторов. Отсюда также следует, что для полного определения силы необходимо знать не только ее величину и направление, но и линию действия ее.

Пусть к данному телу приложена сходящаяся система сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$, линии действия к-рых пересекаются в точке O. Переместив все силы по линиям их действия так, чтобы точки приложения их совпали с точкою O, получим новую систему сил $\boldsymbol{F}_1'$, $\boldsymbol{F}_2'$, ..., $\boldsymbol{F}_n'$, эквивалентную данной. Заменив последнюю систему сил их равнодействующей $\boldsymbol{F}$, по вышеприведенному способу, т. е. построив на этих силах силовой мн-к и проведя замыкающую сторону от точки O к концу силового мн-ка, получим также и равнодействующую для данной системы сил. Очевидно, что если прибавить к данной системе сил силу $-\boldsymbol{F}$, то вся совокупность сил уравновесится; поэтому сила $-\boldsymbol{F}$ называется у р а в н о в е ш и в а ю щ е й.

Пусть к данному телу приложена плоская несходящаяся система сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$, линии действия к-рых суть $l_1, l_2, \ldots, l_n$. Продолжив линии действия l_1 и l_2 до их взаимного пересечения в точке O_1 и сместив $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ в эту точку, заменим их одной равнодействующей $\boldsymbol{F}_{12}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2$. Продолжив затем линию действия l_{12} силы $\boldsymbol{F}_{12}$ до пересечения с прямой l_3 в точке O_2, заменим аналогичным способом силы $\boldsymbol{F}_{12}$ и $\boldsymbol{F}_3$ одною равнодействующей $\boldsymbol{F}_{13}$ и т. д. Т. о. всю данную плоскую несходящуюся систему сил можно в общем привести к одной равнодействующей силе $\boldsymbol{F}$. Однако, если в процессе последовательного сложения сил встретятся параллельные силы, то приведенный метод очевидно неприменим, ибо соответствующие им линии действия не дают точки пересечения, находящейся на конечном расстоянии. В этом случае сложение сил м. б.



Фиг. 48.

произведено след. образом. Допустим, что к двум различным точкам тела A_1 и A_2 (фиг. 48) приложены две силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$, параллельные и направленные в одну и ту же сторону, причем пусть $\boldsymbol{F}_1=\overrightarrow{A_1B_1}$ и $\boldsymbol{F}_2=\overrightarrow{A_2B_2}$. Соединив точки A_1 и A_2 прямою A_1A_2, приложим к ним 2 силы $\boldsymbol{F}_1'=\overrightarrow{A_1C_1}$ и $\boldsymbol{F}_2'=\overrightarrow{A_2C_2}$, равные по величине, противоположные по направлению и линии действия к-рых совпадают с A_1A_2. Очевидно, что система сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \boldsymbol{F}_1', \boldsymbol{F}_2'$ эквивалентна совокупности первоначальных двух сил. Заменив силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_1'$ их равнодействующей $\boldsymbol{Q}_1=\overrightarrow{A_1D_1}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_1'$, а силы $\boldsymbol{F}_2$ и $\boldsymbol{F}_2'$ равнодействующей $\boldsymbol{Q}_2=\overrightarrow{A_2D_2}=\boldsymbol{F}_2+\boldsymbol{F}_2'$, получим новую систему сил $\boldsymbol{Q}_1$ и $\boldsymbol{Q}_2$, эквивалентную первоначальной. Т. к. $\boldsymbol{Q}_1$ и $\boldsymbol{Q}_2$ уже не параллельны, то, продолжив линии действия их до пересечения их в точке O и сместив силы $\boldsymbol{Q}_1$ и $\boldsymbol{Q}_2$ в точку O, так что $\overrightarrow{OE_1}=\boldsymbol{Q}_1$ и $\overrightarrow{OE_2}=\boldsymbol{Q}_2$, получим равнодействующую силу $\boldsymbol{F}=\overrightarrow{OE}=\overrightarrow{OE_1}+\overrightarrow{OE_2}$ как для системы $\boldsymbol{Q}_1, \boldsymbol{Q}_2$, так равно и для данной системы сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2$. Проведя далее из точек E_1 и E_2 прямые E_1K_1 и E_2K_2, параллельные A_1A_2, имеем:

$\triangle OE_1K_1=\triangle A_1D_1B_1$ и $\triangle OE_2K_2=\triangle A_2D_2B_2$, так что $\overline{OK_1}=F_1$ и $\overline{OK_2}=F_2$. С другой стороны, так как $\triangle OE_1K_1=\triangle EK_2E_2$, то $OK_1=K_2E$ и $\overline{E_1K_1}=\overline{E_2K_2}$. Таким образом имеем: $F=\overline{OE}=\overline{OK_2}+\overline{K_2E}=\overline{OK_2}+\overline{OK_1}=F_1+F_2$, т. е. что величина (т. наз. м о д у л ь) равнодействующей силы равняется сумме величин сил составляющих. Так как $OE\parallel F_1\parallel F_2$, то имеем также $\boldsymbol{F}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2$. Продолжив OE до пересечения с A_1A_2 в точке A, имеем далее:

$$\triangle AA_1O\sim\triangle K_1E_1O \text{ и } \triangle AA_2O\sim\triangle K_2E_2O,$$

так что

$$\frac{\overline{AA_1}}{\overline{E_1K_1}}=\frac{\overline{AO}}{\overline{K_1O}} \text{ и } \frac{\overline{AA_2}}{\overline{E_2K_2}}=\frac{\overline{AO}}{\overline{K_2O}}.$$

Деля почленно последние два равенства, имеем:

$$\frac{\overline{AA_1}\cdot\overline{E_2K_2}}{\overline{AA_2}\cdot\overline{E_1K_1}}=\frac{\overline{K_2O}}{\overline{K_1O}},$$

или, принимая во внимание, что $\overline{E_1K_1}=\overline{E_2K_2}$, получаем:

$$\frac{\overline{AA_1}}{\overline{AA_2}}=\frac{F_2}{F_1}. \qquad (165)$$

Т. о. линия действия равнодействующей $\boldsymbol{F}$ делит отрезок A_1A_2 внутренним образом на части, обратно пропорциональные величинам сил F_1 и F_2. Из (165) имеем далее:

$$\frac{\overline{AA_1}}{\overline{AA_1}+\overline{AA_2}}=\frac{F_2}{F_1+F_2}, \text{ или } \frac{\overline{AA_1}}{\overline{A_1A_2}}=\frac{F_2}{F}. \qquad (166)$$

Если повернуть силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ около точек их приложения, сохраняя при этом их величины и параллельность, то т. к. при этом величины $\overline{A_1A_2}$, F_2 и F, как видно из (166), не изменятся, не изменится и расстояние AA_1, т. е. линия действия системы повернутых сил будет также проходить через точку A, к-рая вследствие этого и называется ц е н т р о м данных п а р а л л е л ь н ы х с и л. Если $\boldsymbol{r}_1$, $\boldsymbol{r}_2$ и $\boldsymbol{r}$—радиусы-векторы, определяющие соответственно положения точек A_1, A_2 и A, то, так как эти точки лежат на одной прямой, имеем:

$$[(\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}_1)(\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1)]=0, \qquad (167)$$

или, что равносильно:

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1}=\frac{y-y_1}{y_2-y_1}=\frac{z-z_1}{z_2-z_1}, \qquad (167')$$

где x_1, y_1, z_1 и x_2, y_2, z_2 — координаты точек A_1 и A_2. Ур-ие (167) или (167′) представляют собой ур-ия прямой A_1A_2. Если координаты центра A параллельных сил обозначить через x_0, y_0, z_0, то из (167′) и (166) имеем:

$$\frac{x_0-x_1}{x_2-x_1}=\frac{y_0-y_1}{y_2-y_1}=\frac{z_0-z_1}{z_2-z_1}=\frac{\overline{AA_1}}{\overline{A_1A_2}}=\frac{F_2}{F_1+F_2}=\frac{F_2}{F}. \qquad (168)$$

Из последних равенств получаем:

$$\left.\begin{aligned}x_0F&=x_1F_1+x_2F_2\\ y_0F&=y_1F_1+y_2F_2\\ z_0F&=z_1F_1+z_2F_2\end{aligned}\right\}, \qquad (169)$$

$$\left.\begin{aligned}x_0&=\frac{x_1F_1+x_2F_2}{F_1+F_2}\\ y_0&=\frac{y_1F_1+y_2F_2}{F_1+F_2}\\ z_0&=\frac{z_1F_1+z_2F_2}{F_1+F_2}\end{aligned}\right\}. \qquad (169')$$

Последние равенства определяют положение центра данных двух параллельных сил в зависимости от координат их точек приложения и от их величин. Если имеем три параллельные силы $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}_2$, $\boldsymbol{F}_3$, то, рассматривая отдельные силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$, имеем координаты центра их по (169′):

$$x_0'=\frac{x_1F_1+x_2F_2}{F_1+F_2};\quad y_0=\frac{y_1F_1+y_2F_2}{F_1+F_2};\quad z_0'=\frac{z_1F_1+z_2F_2}{F_1+F_2}.$$

Рассматривая затем систему, состоящую из равнодействующей $\boldsymbol{F}_{1-2}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2$ и третьей силы $\boldsymbol{F}_3$, получаем координаты центра всей данной системы:

$$\left.\begin{aligned} x_0&=\frac{x_0'F_{1-2}+x_3F_3}{F_{1-2}+F_3}=\frac{x_1F_1+x_2F_2+x_3F_3}{F_1+F_2+F_3}\\ y_0&=\frac{y_1F_1+y_2F_2+y_3F_3}{F_1+F_2+F_3}\\ z_0&=\frac{z_1F_1+z_2F_2+z_3F_3}{F_1+F_2+F_3}\end{aligned}\right\},\quad (169'')$$

и аналогично:

Обобщая этот вывод для случая n сил, имеем в общем:

$$x_0=\frac{\sum_1^n F_ix_i}{\sum_1^n F_i};\quad y_0=\frac{\sum_1^n F_iy_i}{\sum_1^n F_i};\quad z_0=\frac{\sum_1^n F_iz_i}{\sum_1^n F_i}.\quad (170)$$

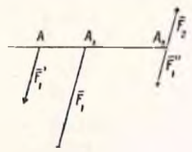
В частности силами $\boldsymbol{F}$ могут явиться силы веса $\boldsymbol{P}_1=m_1\boldsymbol{g}$; $\boldsymbol{P}_2=m_2\boldsymbol{g}$; …; $\boldsymbol{P}_n=m_n\boldsymbol{g}$ системы материальных точек, массы которых—m_1, m_2, …, m_n. Тогда имеем из (170):

$$\left.\begin{aligned} x_0&=\frac{\Sigma P_ix_i}{\Sigma P_i}=\frac{\Sigma m_ix_i}{\Sigma m_i}\\ y_0&=\frac{\Sigma P_iy_i}{\Sigma P_i}=\frac{\Sigma m_iy_i}{\Sigma m_i}\\ z_0&=\frac{\Sigma P_iz_i}{\Sigma P_i}=\frac{\Sigma m_iz_i}{\Sigma m_i}\end{aligned}\right\},\quad (171)$$

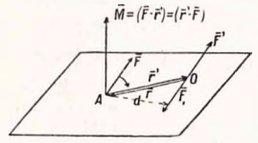
что м. б. представлено одним векторным равенством

$$m\boldsymbol{r}_0=\Sigma m_i\boldsymbol{r}_i,\quad (171')$$

где m—масса всей системы точек. В этом случае центр параллельных сил называется центром тяжести, или центром



Фиг. 49.



Фиг. 50.

масс, системы материальных точек. Если система точек—твердое тело, то, обозначая вес элемента тела через $d\boldsymbol{P}=dm\cdot\boldsymbol{g}$, имеем, суммируя (171) по всему объему тела:

$$\left.\begin{aligned} x_0&=\frac{\int_{(v)}dP\cdot x}{P}=\frac{\int_{(v)}dm\cdot x}{m}\\ y_0&=\frac{\int_{(v)}dP\cdot y}{P}=\frac{\int_{(v)}dm\cdot y}{m}\\ z_0&=\frac{\int_{(v)}dP\cdot z}{P}=\frac{\int_{(v)}dm\cdot z}{m}\end{aligned}\right\},\quad (172)$$

где P и m—вес и масса всего тела (см. *Масса*). В рассмотренных выше случаях силы были параллельны и направлены в одну и ту же сторону.

Для того чтобы сложить две силы F_1 и F_2 антипараллельные (фиг. 49), т. е. две силы параллельные, но направленные в противоположные стороны, можно проще всего поступить след. образом. Пусть $F_1>F_2$. Очевидно на основе вышесказанного можно силу $\boldsymbol{F}_1$ представить как равнодействующую двух параллельных ей сил: $\boldsymbol{F}''$, приложенную к точке приложения A_2 силы $\boldsymbol{F}_2$ и равную по величине этой последней силе, и $\boldsymbol{F}_1'=\boldsymbol{F}_1-\boldsymbol{F}_1''$, приложенную к нек-рой точке A. Тогда вместо системы сил $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ имеем систему $\boldsymbol{F}_1'$, $\boldsymbol{F}_1''$ и $\boldsymbol{F}_2$, а так как силы $\boldsymbol{F}_1''$ и $\boldsymbol{F}_2$ взаимно уничтожаются, то остается одна лишь сила $\boldsymbol{F}'$, равная по величине F_1-F_2 и приложенная к точке A, положение к-рой определяется след. обр. Из (166) имеем:

$$\frac{\overline{A_1A}}{\overline{A_1A_2}}=\frac{F_1''}{F_1'};\quad (173)$$

$$\frac{AA_1}{A_1A_2+AA_1}=\frac{F_1''}{F_1'+F_1''}\ \text{или}\ \frac{\overline{AA_1}}{\overline{AA_2}}=\frac{F_2}{F_1},\quad (173')$$

следовательно точка A делит отрезок A_1A внешним образом на части, обратно пропорциональные величинам данных сил. Из (173) имеем также:

$$AA_1=\overline{A_1A_2}\cdot\frac{F_1}{F_1'}=\overline{A_1A_2}\cdot\frac{F_2}{F_1-F_2}.$$

Из последнего равенства видно, что, чем больше $\boldsymbol{F}_2$ приближается по величине к $\boldsymbol{F}_1$, тем дальше отодвигается точка A, и тем меньше становится F_1', так что в пределе при $F_1=F_2$ получаем: $AA_1=\infty$ и $F_1'=0$. Таким образом две равные антипараллельные силы не имеют равнодействующей силы. Совокупность таких двух сил носит название *пары сил* (см.).

Из предыдущего ясно, что совокупность параллельных и антипараллельных сил можно привести к одной равнодействующей, величина которой равняется алгебраич. сумме величин сил составляющих, причем силы, направленные в одну сторону, берутся с одним знаком, а силы, направленные в другую сторону,—с противоположным знаком. При сохранении последн. правила формулы (170) определяют также положение центра рассматриваемой системы параллельных и антипараллельных сил. Если в частности $\Sigma F_i=0$, то положение центра становится неопределенным; в этом случае вся система сил либо приводится к паре сил, либо силы взаимно уравновешиваются. Последний случай очевидно имеет место, если линия действия равнодействующей всех сил, направленных в одну сторону, совпадает с линией действия равнодействующей сил, направленных в противоположную сторону; первый же случай имеет место, если эти линии действия не совпадают.

Пусть к точке A нек-рого тела приложена сила $\boldsymbol{F}$ (фиг. 50). Возьмем на теле какую-нибудь другую точку O, положение к-рой по отношению к системе отсчета с началом в A определяется радиусом-вектором $\boldsymbol{r}'$. Приложим к O две силы $\boldsymbol{F}'$ и $\boldsymbol{F}_1$, первую параллельно, а вторую антипараллельно $\boldsymbol{F}$, причем пусть $F'=F_1=F$. Система сил $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}'$ и $\boldsymbol{F}$, эквивалентная силе $\boldsymbol{F}$, м. б. рассматриваема как состоящая из силы $\boldsymbol{F}'$ и пары сил $(\boldsymbol{F}, \boldsymbol{F}_1)$. Т. о. силу $\boldsymbol{F}$ можно перенести, сохраняя ее величину и направление, в другую точку тела, прибавив при этом соответствующую пару сил. Момент пары сил, которую следует прибавить, равен (см. *Пара сил*):

$$\boldsymbol{M}=[\boldsymbol{F}\,\boldsymbol{r}'],\quad (174)$$

или, если обозначить вектор $\vec{OA}$ через $\boldsymbol{r}=-\boldsymbol{r}'$, то

$$\boldsymbol{M}=[\boldsymbol{r}\,\boldsymbol{F}].\quad (174')$$

Последний вектор определяет также момент силы $\boldsymbol{F}$ относительно точки O. Если длина перпендикуляра, опущенного из O на линию действия силы F, равняется d, то получаем:

$$M=Fr\sin(\boldsymbol{F},\boldsymbol{r})=Fd.\quad (174'')$$

Нетрудно видеть, что если O лежит на линии действия $\boldsymbol{F}$, то т. к. в этом случае $d=0$, то и $M=0$; $\boldsymbol{M}=0$. Пользуясь ф-лами векторного исчисления, имеем из (174′):

$$\left.\begin{aligned} M_x&=yZ-zY\\ M_y&=zX-xZ\\ M_z&=xY-yX\end{aligned}\right\},\quad (175)$$

где x, y, z—координаты точки A по отношению к системе осей с началом в O, а X, Y, Z—модули компонент $\boldsymbol{F}$ по этим же осям. Векторы $\boldsymbol{M}_x=M_x\boldsymbol{i}$; $\boldsymbol{M}_y=M_y\boldsymbol{j}$; $\boldsymbol{M}_z=M_z\boldsymbol{k}$ называются моментами силы $\boldsymbol{F}$ по отношению к осям координат. В частности, если $\boldsymbol{F}$ лежит в плоскости xy, то т. к. $z=0$ и $Z=0$, имеем из (175):

$$M_x=0;\ M_y=0;\ M_z=xY-yX.$$

Последнее равенство представляет собой также момент рассматриваемой силы $\boldsymbol{F}$ относительно начала O. Отсюда видно, что проекция момента какой-либо силы, взятого относительно нек-рой точки, на какую-либо ось равняется моменту проекции силы на плоскость, перпендикулярную к оси, взятому по отношению к точке пересечения оси с плоскостью. Если к телу приложены n сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$, то, взяв на теле произвольную точку O, можно к ней перенести все данные силы, сохраняя их величину и направление и прибавляя соответствующие этим переносам пары сил, моменты к-рых по (174′) будут равны:

$$\boldsymbol{M}_i=[\boldsymbol{r}_i\,\boldsymbol{F}_i]\quad (i=1, 2, \ldots, n),\quad (176)$$

а модули моментов определяются равенствами (175). Все силы $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$, приведенные к точке O, м. б. затем заменены одной равнодействующей силой:

$$\boldsymbol{F}=\sum_1^n\boldsymbol{F}_i'=\sum_1^n\boldsymbol{F}_i,\quad (177)$$

а все пары—одною равнодействующей парою, момент к-рой (см. *Пара сил*)

$$\boldsymbol{M}=\sum_1^n\boldsymbol{M}_i=\sum_1^n[\boldsymbol{r}_i\,\boldsymbol{F}_i].\quad (178)$$

Последний вектор называется главным моментным вектором системы сил по отношению к данной точке приведения сил. Т. о. всякую систему сил можно привести бесчисленным множеством способов к одной силе и одной паре сил. Очевидно для того, чтобы силы данной системы взаимно уравновешивались, необходимо и достаточно, чтобы как сила $\boldsymbol{F}$, так и главный моментный вектор $\boldsymbol{M}$ равнялись нулю, т. е. чтобы

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{F}&=\sum_1^n\boldsymbol{F}_i=0\\ \boldsymbol{M}&=\sum_1^n\boldsymbol{M}_i=\sum_1^n[\boldsymbol{r}_i\,\boldsymbol{F}_i]=0\end{aligned}\right\},\quad (179)$$

что равносильно наличию шести ур-ий:

$$\sum_1^n X_i=0;\quad \sum_1^n Y_i=0;\quad \sum_1^n Z_i=0;\quad (179')$$

$$\sum_1^n(y_iZ_i-z_iY_i)=0;\quad \sum_1^n(z_iX_i-x_iZ_i)=0;$$

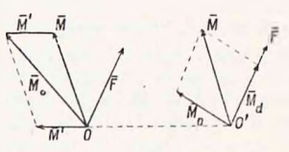
$$\sum_1^n(x_iY_i-y_iX_i)=0.\quad (179'')$$

В частности, если система сил сходящаяся, то для равновесия системы необходимо и достаточно наличия только трех ур-ий (179′), если система плоская—необходимо и достаточно наличия двух каких-либо уравнений (179′) и соответствующего одного ур-ия из (179″); если же наконец система плоская и сходящаяся, то для равновесия системы необходимо и достаточно наличия только двух из ур-ий (179′).

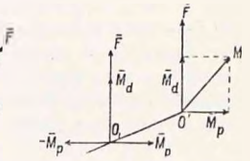
Допустим, что данная система сил, приведенная к точке O', дала равнодействующую силу $\boldsymbol{F}$ и равнодействующую пару момента $\boldsymbol{M}$. Если мы возьмем затем другую точку приведения O, то равнодействующая $\boldsymbol{F}$ остается та же; изменится лишь главный моментный вектор, превратившись в

$$\boldsymbol{M}_0=\boldsymbol{M}+\boldsymbol{M}',\quad (180)$$

где $\boldsymbol{M}'$—момент той пары, которую следует прибавить при перемещении $\boldsymbol{F}$ из O' в O (фиг. 51). Разложим момент $\boldsymbol{M}$ (фиг. 52),



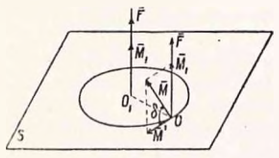
Фиг. 51.



Фиг. 52.

получившийся при приведении системы сил к точке O', на две составляющие: $\boldsymbol{M}_d$—по направлению равнодействующей силы $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{M}_p$—по перпендикулярному к $\boldsymbol{F}$ направлению. Проведя к плоскости $(\boldsymbol{F}, \boldsymbol{M})$ в точке O' перпендикулярную прямую, можно очевидно найти на этой прямой такую точку O_1, что при перенесении силы $\boldsymbol{F}$ из O' в O_1 нужно будет прибавить пару момента $\boldsymbol{M}'=-\boldsymbol{M}_p$. Т. о. при приведении данной системы к точке O_1 и получаются сила $\boldsymbol{F}$ и три момента пар $\boldsymbol{M}_d$, $\boldsymbol{M}_p$ и $\boldsymbol{M}'$, причем последние два момента взаимно уничтожаются, так что остаются только сила $\boldsymbol{F}$ и направленный по ней момент пары $\boldsymbol{M}_d$. Отсюда видно, что всякую систему сил можно привести к одной силе и одной паре, момент которой совпадает с направлением силы (см. *Винт* в теоретич. механике). Из вышесказанного следует, что всякой точке тела при данной

системе сил соответствует определенная пара векторов $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{M}$; при переходе от одной точки тела к другой меняется лишь вектор $\boldsymbol{M}$, вектор же $\boldsymbol{F}$ один и тот же для всех точек тела. Нетрудно однако убедиться, что если провести какую-нибудь прямую l, параллельную $\boldsymbol{F}$, то моментный вектор для всех точек этой прямой будет один и тот же. В самом деле, пусть система сил, приведенная к точке O, не лежащей на l, дала векторы $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{M}$. Т. к. расстояние d от O до l остается одно и то же, какую бы мы точку на прямой l ни взяли, то, как видно из (174′′), момент $\boldsymbol{M}'$ силы $\boldsymbol{F}$ по отношению к любой точке O' прямой l будет один и тот же, почему при приведении системы сил к любой точке прямой l придется к $\boldsymbol{M}$ прибавлять один и тот же вектор $\boldsymbol{M}'$, что и доказывает вышеприведенное предложение. Отсюда следует, что если провести плоскость S, перпендикулярную к $\boldsymbol{F}$, то, исследовав характер изменений вектора $\boldsymbol{M}$ для всех точек этой плоскости, мы тем самым исследуем характер этих изменений для всех точек тела. Если точке O_1 плоскости S (фиг. 53) соответствуют векторы $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{M}_1 \parallel \boldsymbol{F}$, то, перейдя к другой точке O той же плоскости, т. е. перенеся силу $\boldsymbol{F}$ из O_1 в O, получим от этого переноса новый момент $\boldsymbol{M}'$, перпендикулярный плоскости $(\boldsymbol{M}_1,\ O_1O)$, причем $M' = F \cdot \overline{O_1O}$, и главный момент относительно O будет:



Фиг. 53.

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{M}_1 + \boldsymbol{M}', \qquad (181)$$

или

$$M^2 = M_1^2 + M'^2 = M_1^2 + F^2 \cdot \overline{O_1O}^2 \qquad (181')$$

и

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{M_1}{M'}, \qquad (181'')$$

где δ — угол между $\boldsymbol{M}$ и $\boldsymbol{M}'$. Если провести в плоскости S из O_1 радиусом O_1O окружность, то так как M' для всех точек окружности один и тот же, то и M для всех этих точек при данной системе сил есть величина постоянная, причем, как видно из (181′) и (181′′), с удалением O от O_1 величина M увеличивается, а вектор $\boldsymbol{M}$ все больше наклоняется к плоскости S. Если перейти к точкам в пространстве, то нетрудно усмотреть, что все точки, лежащие на круглой цилиндрической поверхности, ось которой проходит через точку O_1, перпендикулярно S, будут иметь одну и ту же величину M. Ось цилиндра, представляющая геометрич. место точек, по отношению к к-рым данная система сил приводится к совпадающим по направлению силе $\boldsymbol{F}$ и главному моменту $\boldsymbol{M}$, называется центральной осью данной системы сил. Очевидно, что для точек центральной оси величина M достигает своего минимума. В частности, если в точке O_1 главный моментный вектор равен нулю, то система сил для всех точек тела приводится к одной силе $\boldsymbol{F}$. Очевидно в этом случае

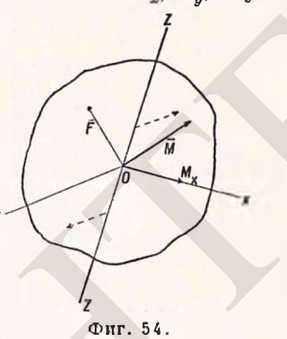
$$\boldsymbol{M} \cdot \boldsymbol{F} = \sum_1^n \boldsymbol{M}_i \cdot \sum_1^n \boldsymbol{F}_i = 0, \qquad (182)$$

или по (174′)

$$\sum_1^n [\boldsymbol{r}_i \boldsymbol{F}_i] \cdot \sum_1^n \boldsymbol{F}_i = 0. \qquad (182')$$

Если же $\boldsymbol{F} = 0$, то положение центральной оси становится неопределенным, так как вся система сил приводится к паре, момент которой $\boldsymbol{M}$ свободен, т. е. момент к-рой м. б. перемещаем параллельно самому себе в любую точку тела (см. *Пара сил*).

При выводе условий равновесия (179) мы полагали, что тело, к которому приложены данные силы $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$, свободно. Допустим однако, что тело находится под воздействием не только сил $\boldsymbol{F}_i$, но и нек-рых связей. Очевидно, что, присовокупив силы реакции связей к данным силам $\boldsymbol{F}_i$, мы можем тело вновь рассматривать как свободное, к к-рому следовательно применимы условия равновесия (179), с тем однако отличием, что в числе сил $\boldsymbol{F}_i$ этих равенств находятся также и силы реакции связей. Допустим, в теле имеется неподвижно закрепленная прямая, вокруг которой оно способно вращаться. Выбрав эту прямую в качестве оси z (фиг. 54), зафиксируем на ней начало O, к к-рому приведем систему сил, приложенных к телу. Действие равнодействующей силы $\boldsymbol{F}$ очевидно уничтожится реакцией неподвижной оси: главный же моментный вектор $\boldsymbol{M}$ м. б. разложен на компоненты $\boldsymbol{M}_x, \boldsymbol{M}_y, \boldsymbol{M}_z$. Силы пары, момент к-рой равен $\boldsymbol{M}_x$, параллельны оси y и приложены к точкам неподвижной оси, вследствие чего действие их уничтожается реакцией оси; точно так же уничтожается действие пары, момент которой равен $\boldsymbol{M}_y$. Остается только пара с моментом $\boldsymbol{M}_z$, вращающая тело около оси z; момент $\boldsymbol{M}_z$ называется вращающим моментом. Для того чтобы рассматриваемое тело находилось в равновесии, необходимо и достаточно, чтобы $\boldsymbol{M}_z = 0$, т. е., как видно из (179′′), чтобы



Фиг. 54.

$$\sum_1^n (x_i Y_i - y_i X_i) = 0. \qquad (183)$$

Т. о. вместо 6 ур-ий (179′) и (179′′), необходимых и достаточных для равновесия системы сил, приложенных к свободному телу, мы здесь имеем лишь одно необходимое и достаточное условие для равновесия. Остальные же пять ур-ий определяют силы реакции оси, приложенные к телу, к-рые очевидно состоят из силы $-\boldsymbol{F}$ и пар, моменты которых равны $-\boldsymbol{M}_x$ и $-\boldsymbol{M}_y$. Если ось O_z может перемещаться вдоль своего направления, то уравнения (183) недостаточно для равновесия тела, необходимо еще, чтобы

$$Z = \sum_1^n Z_i = 0, \qquad (184)$$

т. к. в этом случае не может возникнуть сила реакции вдоль направления оси, которая

уничтожила бы действие силы $\boldsymbol{Z}$. Если тело имеет только одну закрепленную точку O, то, приведя систему сил к этой точке, нетрудно видеть, что сила $\boldsymbol{F}$ уничтожается реакцией неподвижной точки, так что остается пара момента $\boldsymbol{M}$. Следовательно для того, чтобы тело в рассматриваемом случае находилось в равновесии, необходимо и достаточно, чтобы $\boldsymbol{M} = 0$, т. е., как видно из (179′′), чтобы имели место следующие 3 ур-ия:

$$\left.\begin{aligned} \sum_1^n (y_i Z_i - z_i Y_i) &= 0 \\ \sum_1^n (z_i X_i - x_i Z_i) &= 0 \\ \sum_1^n (x_i Y_i - y_i X_i) &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad (185)$$

Т. о. при наличии тела, имеющего неподвижную ось вращения, необходимо и достаточно для равновесия одно условие (183); если эта ось может перемещаться вдоль собственного направления, требуются два условия—(183) и (184); если же тело имеет лишь одну неподвижную точку, требуется уже для равновесия тела три условия (185).

Отсюда следует, что чем тело свободнее, тем больше условий, налагаемых на силы при равновесии тела. Тело, имеющее неподвижную ось, обладает одной степенью свободы, так как положение тела определяется одним параметром—углом поворота тела около оси; в соответствии с этим имеется только одно условие равновесия. Если эта ось может перемещаться вдоль своего направления, то тело обладает уже двумя степенями свободы, и в связи с этим имеются два условия равновесия тела. Если тело наконец имеет одну неподвижную точку, то, так как положение тела определяется тремя параметрами (см. *Координаты*), имеются 3 условия равновесия и т. д.

Допустим, что имеется n материальных точек $A_1, A_2, \ldots, A_n$, координаты которых соответственно $x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2; \ldots; x_n, y_n, z_n$ и к к-рым приложены силы $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$. Допустим далее, что эти точки находятся под воздействием нек-рых связей, что аналитически выражается в том, что $3n$ координат точек связаны между собою некоторым числом уравнений:

$$\left.\begin{aligned} f_1(x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2; \ldots; x_n, y_n, z_n) &= 0 \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ f_p(x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2; \ldots; x_n, y_n, z_n) &= 0 \end{aligned}\right\}, \qquad (186)$$

число к-рых пусть будет p. Из общего числа $3n$ координат $3n-p$ м. б. взяты совершенно произвольно, а остальные p координат м. б. выражены через произвольно взятые при помощи ур-ий (186). Поэтому число $3n-p$ и определяет степень свободы рассматриваемой системы точек. Очевидно, что p не м. б. больше $3n$. Если $p = 3n$, то координаты всех точек системы вполне определяются из (186), т. е. система неподвижна; если же $p = 0$, то все точки системы свободны.

Пусть равнодействующая всех реакций связей, действующих на какую-либо точку A_i системы, равна R_i $(i = 1, 2, \ldots, n)$, так что эта точка находится под действием силы, равной $\boldsymbol{F}_i + \boldsymbol{R}_i$. Следовательно для того чтобы вся система находилась в равновесии, необходимо, чтобы

$$\boldsymbol{F}_i + \boldsymbol{R}_i = 0 \quad (i = 1, 2, \ldots, n), \qquad (187)$$

что равносильно наличию $3n$ ур-ий

$$X_i + X_i' = 0;\ Y_i + Y_i' = 0;\ Z_i + Z' = 0 \quad (i = 1, 2, \ldots, n), \qquad (187')$$

где X_i, Y_i, Z_i—модули компонент $\boldsymbol{R}_i$ по осям координат. Выше было показано, что в случае одной несвободной точки сила $\boldsymbol{R}$ будет нормальна к кривой или к поверхности, осуществляющей связь, и что следовательно полная работа T' силы $\boldsymbol{R}$ равна по (158′) нулю:

$$dT' = \boldsymbol{R} \cdot d\boldsymbol{r} = 0;\ T' = \int \boldsymbol{R} \cdot d\boldsymbol{r} = 0.$$

Несмотря однако на то, что при наличии системы несвободных точек реакции связей м. б. совершенно другие, чем реакции кривых линий или поверхностей, условие (158′) имеет место и в данном случае, так что $\boldsymbol{R}_i \cdot d\boldsymbol{r}_i = 0$, и следовательно

$$\sum_1^n \boldsymbol{R}_i \cdot d\boldsymbol{r}_i = 0. \qquad (188)$$

Последнее ур-ие, являющееся основным уравнением движения системы несвободных точек, м. б. интерпретировано след. обр.: реакции связей, действующих на систему материальных точек, не могут в своей совокупности ни поглощать ни давать работу, хотя для отдельных сил реакций это является возможным. Это предложение стоит в связи с принципом сохранения энергии, ибо, поскольку осуществление связей не влечет за собой ни затраты энергии ни получения таковой, постольку реакции связей не могут ни поглощать ни давать никакой работы. Исходя из (158), (158′) и (188), можно в отношении системы точек притти к точно таким же выводам, что и в отношении одной материальной точки, а именно: точки рассматриваемой несвободной системы, находящиеся сначала в покое, начинают каждая свое движение по направлению соответствующей равнодействующей сил $\boldsymbol{F}_i$ и $\boldsymbol{R}_i$, так что в начальный элемент времени имеем:

$$\sum_1^n (\boldsymbol{F}_i + \boldsymbol{R}_i) \cdot d\boldsymbol{r} > 0, \qquad (189)$$

или, принимая во внимание (188):

$$\sum_1^n \boldsymbol{F}_i\, d\boldsymbol{r}_i > 0. \qquad (190$$

Т. о. в начале движения сумма элементарных работ всех движущихся сил $\boldsymbol{F}_i$ положительна. Если же в числе всех возможных перемещений, допускаемых данными связями, нет ни одного, для которого неравенство (190) имело бы место, то очевидно, что система в движение притти не может; другими словами, необходимым условием для равновесия системы несвободных точек является неравенство:

$$\sum_1^n (\boldsymbol{F}_i \cdot \delta\boldsymbol{r}_i) \leqslant 0, \qquad (191)$$

где символом $\delta\boldsymbol{r}_i$ обозначены возможные, или виртуальные, т. е. допус-

каемые связями, элементарные перемещения точек, в отличие от действительных элементарных перемещений точек, обозначаемых $d\boldsymbol{r}_i$. Неравенство (191) выражает т. н. принцип (начало) возможных перемещений, или принцип возможных, или виртуальных, работ (Бернулли, 1717). Пользуясь ф-лой векторного исчисления, неравенство (191) можно представить еще и в следующем виде:

$$\sum_1^n (X_i\,\delta x_i + Y_i\,\delta y_i + Z_i\,\delta z_i) \leqslant 0, \qquad (191')$$

где δx_i, δy_i, δz_i,—модули компонент по осям координат вектора $\delta\boldsymbol{r}_i$. Если уравнения связей не содержат неравенств, а даны например равенствами вида (186), то всякой системе возможных перемещений $\delta\boldsymbol{r}_i$ соответствует система возможных же, но противоположных перемещений $-\delta\boldsymbol{r}_i$, так что, если система точек находится в положении, при котором $\sum_1^n \boldsymbol{F}_i \cdot \delta\boldsymbol{r}_i < 0$, то будет иметься система перемещений, для которых $\sum_1^n \boldsymbol{F}_i \cdot \delta\boldsymbol{r}_i > 0$. В этом случае равновесие будет иметь место, если при всех возможных перемещениях существует равенство:

$$\sum_1^n \boldsymbol{F}_i \cdot \delta\boldsymbol{r}_i = \sum_1^n (X_i\,\delta x_i + Y_i\,\delta y_i + Z_i\,\delta z_i) = 0. \qquad (192)$$

Значение принципа возможных перемещений заключается в том, что при его применении нет надобности знать для определения условий равновесия несвободной системы точек ни характера механизмов, осуществляющих данные связи, ни величины реакций их; для этого достаточно знать лишь все возможные элементарные перемещения точек системы при данных связях.

Допустим в частности, что все возможные перемещения, или вариации перемещений, $\delta\boldsymbol{r}_i$ совершенно произвольны, т. е. что точки системы свободны. Тогда, положив все вариации координат δx_1, δy_1, δz_1, δx_2, ... равными нулю за исключением δz_n, получим из (192):

$$Z_n \delta z_n = 0 \text{ или } Z_n = 0.$$

Точно так же получим:

$$X_1 = 0;\ Y_1 = 0;\ Z_1 = 0;\ X_2 = 0 \text{ и т. д.},$$

так что вместо равенства (192), выражающего условия равновесия, получим равенства:

$$\boldsymbol{F}_1 = 0;\ \boldsymbol{F}_2 = 0;\ \ldots;\ \boldsymbol{F}_n = 0,$$

что конечно совпадает и со сделанными ранее выводами. В противоположном крайнем случае, т. е. когда все точки систем не могут менять своего положения, так что: $\delta\boldsymbol{r}_i = 0$, $(i = 1,2,3,\ldots,n)$, равенство (192) тождественно удовлетворяется при всевозможных силах $\boldsymbol{F}_i$, т. е. система будет в равновесии, каковы бы ни были силы $\boldsymbol{F}_i$, что конечно очевидно.

В общем же случае при наличии p ур-ий связей (186) для системы точек, имеющей $3n-p$ степеней свободы, можно притти от ур-ия равновесия (192) к ур-иям равновесия, связывающим компоненты сил $\boldsymbol{F}_i$ с координатами точек, след. обр. Из общего числа $3n$ вариаций δx_i, δy_i, δz_i $(i = 1, 2, \ldots, n)$ выберем произвольно $3n-p$ вариаций, придав им произвольные значения; остальные же p вариаций выразим через первые при помощи ур-ий (186), для чего нужно будет совместно решить относительно желаемых вариаций систему p однородных линейных ур-ий, полученных из (186):

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\delta x_1 + \frac{\partial f_1}{\partial y_1}\delta y_1 + \ldots + \frac{\partial f_1}{\partial z_n}\delta z_n = 0 \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &\frac{\partial f_p}{\partial x_1}\delta x_1 + \frac{\partial f_p}{\partial y_1}\delta y_1 + \ldots + \frac{\partial f_p}{\partial z_n}\delta z_n = 0 \end{aligned}\right\}. \qquad (193)$$

Подставив затем найденные p вариаций, выраженные через $3n-p$ произвольных вариаций в равенство (192), получим сумму элементарных виртуальных работ сил $\boldsymbol{F}_i$ как однородную, линейную функцию от $3n-p$ произвольных вариаций. В виду же произвольности этих вариаций придем способом, аналогичным вышеприведенному, к выводу, что коэф-ты при произвольных вариациях равны нулю. Таким образом получим $3n-p$ ур-ий равновесия, связывающих координаты точек системы с компонентами сил $\boldsymbol{F}_i$, т. е. получим число условий равновесия, равное степени свободы системы, что и обобщает сделанный нами вывод, касавшийся условий равновесия твердого несвободного тела.

Выполнение всех указанных выше действий на практике однако весьма утомительно, вследствие чего применяется еще и следующий метод. Умножив ур-ия (193) соответственно на p множителей λ_1, λ_2, λ_3, ..., λ_p, величины которых определяются впоследствии, и сложив эти результаты с ур-ием (192), получаем:

$$\sum_{i=1}^{i=n}\left(X_i + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial x_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial x_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial x_i}\right)\delta x_i + \sum_{i=1}^{i=n}\left(Y_i + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial y_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial y_i}\right)\delta y_i + \sum_{i=1}^{i=n}\left(Z_i + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial z_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial z_i}\right)\delta z_i = 0. \qquad (194)$$

Последнее равенство справедливо при всевозможных значениях λ и для всех возможных перемещений системы. Выберем множители так, чтобы коэф-ты при p первых вариациях, начиная от δx_1, аннулировались. Тогда в левой части ур-ия (194) останутся только $3n-p$ вариаций, и притом совершенно произвольных, вследствие чего коэф-ты при них аннулируются. В конечном итоге следовательно все сводится к тому, что коэф-ты при $3n$ вариациях в ур-ии (194) равняются нулю, т. е. что

$$\left.\begin{aligned} &X_i + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial x_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial x_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial x_i} = 0 \\ &Y_i + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial y_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial y_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial y_i} = 0 \\ &Z_i + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial z_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial z_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial z_i} = 0 \end{aligned}\right\}. \qquad (195)$$

Если исключить из последней системы множители λ, то получатся опять $3n-p$ ур-ий равновесия. Указанный метод нахождения

условий равновесия носит название метода неопределенных множителей (Лагранж). Сравнивая ур-ия (195) и (187′), можно сразу же получить компоненты сил реакции:

$$\left.\begin{aligned} X_i' &= \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial x_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial x_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial x_i} \\ Y_i' &= \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial y_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial y_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial y_i} \\ Z_i' &= \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial z_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial z_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial z_i} \end{aligned}\right\} (i = 1,2,\ldots,n). \qquad (196)$$

До сих пор мы разделяли силы, действующие на систему, на две категории: на силы движущие $\boldsymbol{F}_i$ и силы реакции связей $\boldsymbol{R}_i$. Можно однако действующие на систему точек силы разделить на другие две категории, а именно: на силы внешние и силы внутренние. Внешними по отношению к данной системе называют силы, к-рые исходят из точек, не входящих в данную систему; внутренними же силами называются силы, источниками которых являются материальные точки, сами входящие в состав данной системы. Так, если рассматривать систему, состоящую из земли и луны, то силы притяжения солнца будут силами внешними, а силы взаимного притяжения земли и луны—силами внутренними. Если же в состав системы включить также и солнце, то все перечисленные силы будут силами внутренними. Группировка сил на движущие силы и силы реакций не совпадает с группировкою на внутренние и внешние силы, т. к. бывают движущие силы внутренние и внешние, точно так же, как и силы реакции связей бывают внешними и внутренними. Характерной особенностью сил внутренних является то, что они, на основании принципа равенства действия и противодействия, попарно равны и противоположны. Т. к. вследствие этого все внутренние силы во всяком случае взаимно уравновешиваются, то при равновесии системы и все внешние силы должны между собою взаимно уравновешиваться. Последнее предложение находит многочисленные применения при определении законов равновесия нетвердых систем, как напр. жидкостей, газов и т. п.

Динамика системы точек и твердого тела. Для того чтобы обобщить вышеприведенные выводы так, чтобы законы движения материальной точки и законы равновесия системы материальных точек оказались частными случаями более общих выводов, рассмотрим систему n точек, массы которых m_1, m_2, ..., m_n находятся под воздействием следующих связей, которые могут зависеть также и от времени t:

$$\left.\begin{aligned} &f_1(x_1, y_1, z_1, x_2, \ldots, z_n; t) = 0 \\ &f_2(x_1, y_1, z_1, x_2, \ldots, z_n; t) = 0 \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &f_p(x_1, y_1, z_1, x_2, \ldots, z_n; t) = 0 \end{aligned}\right\}. \qquad (197)$$

Пусть кроме того к точкам системы приложены соответственно силы $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$. Если прибавить к этим точкам силы инерции $-m_1\boldsymbol{a}_1, -m_2\boldsymbol{a}_2, \ldots$, то на основании принципа Д'Аламбера, выраженного формулою (153), точки системы будут находиться в равновесии, вследствие чего можно будет применен принцип возможных перемещений, выраженный равенством (192). Т. о. как синтез обоих принципов получаем:

$$\sum_1^n (\boldsymbol{F}_i - m_i\boldsymbol{a}_i)\,\delta\boldsymbol{r}_i = 0, \qquad (198)$$

или, что то же самое:

$$\sum\left[\left(X_i - m_i\frac{d^2x_i}{dt^2}\right)\delta x_i + \left(Y_i - m_i\frac{d^2y_i}{dt^2}\right)\delta y_i + \left(Z_i - m_i\frac{d^2z_i}{dt^2}\right)\delta z_i\right] = 0. \qquad (198')$$

Вместо ур-ия (198) имеем также, пользуясь системой ур-ий (195), заменившей, как мы видели, ур-ие (192):

$$\left.\begin{aligned} &X_i - m_i\frac{d^2x_i}{dt^2} + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial x_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial x_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial x_i} = 0 \\ &Y_i - m_i\frac{d^2y_i}{dt^2} + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial y_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial y_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial y_i} = 0 \\ &Z_i - m_i\frac{d^2z_i}{dt^2} + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial z_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial z_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial z_i} = 0 \end{aligned}\right\} (i = 1, 2, \ldots, n). \qquad (199)$$

Последние ур-ия носят название уравнений движения Лагранжа 1-го рода. Умножив $3n$ ур-ий (199) соответственно на δx_i, δy_i, δz_i, сложив результаты и приняв во внимание ур-ие (193), получаем снова ур-ие (198′) или (198). Исключив величины λ_j $(j = 1, 2, \ldots, p)$ из (199), получаем $3n-p$ линейных ур-ия между проекциями ускорений точек и компонентами движущих сил. Эти ур-ия вместе с p ур-иями связей и определяют однозначно движения точек системы. Ур-ие (198) удовлетворяется любой системой возможных элементарных перемещений $\delta\boldsymbol{r}_i$, если последние удовлетворяют системе ур-ий (193). Если же рассматривать систему элементарных перемещений $d\boldsymbol{r}_i$, которые в действительности имеют место за промежуток времени dt, то они должны удовлетворять системе ур-ий:

$$\frac{\partial f_j}{\partial x_1}dx_1 + \frac{\partial f_j}{\partial y_1}dy_1 + \frac{\partial f_j}{\partial z_1}dz_1 + \frac{\partial f_j}{\partial x_2}dx_2 + \ldots + \frac{\partial f_j}{\partial z_n}dz_n + \frac{\partial f_j}{\partial t}dt = 0 \quad (j = 1, 2, \ldots, n), \qquad (200)$$

отличающейся от ур-ий (193) тем, что она содержит еще и члены $\frac{\partial f_j}{\partial t}dt$. Вследствие этого истинные элементарные перемещения $d\boldsymbol{r}_i$ не совпадают в общем с возможными элементарными перемещениями $\delta\boldsymbol{r}_i$ системы. Таким образом в общем нельзя смешивать перемещения $d\boldsymbol{r}_i$ и $\delta\boldsymbol{r}_i$. Если же ур-ия связей (197) не содержат t в явной форме, то члены $\frac{\partial f_j}{\partial t}dt$ в ур-ии (200) исчезают, а вместе с тем исчезает и различие между действительными и возможными перемещениями системы. В последнем случае можно следовательно писать вместо (198) также:

$$\sum_1^n (\boldsymbol{F}_i - m_i\boldsymbol{a}_i)\,d\boldsymbol{r}_i = 0. \qquad (201)$$

Т. к. на основании (125)

$$\sum_1^n m_i\boldsymbol{a}_i\,d\boldsymbol{r}_i = \sum_1^n dL_i, \qquad (202)$$

то имеем из (201):

$$\sum_1^n (\boldsymbol{F}_i \cdot d\boldsymbol{r}_i) = \sum_1^n dL_i = dL, \qquad (203)$$

где $L = \sum_1^n L_i$, т. е. в этом частном случае сумма элементарных работ всех движущих сил равняется сумме диференциалов живых сил точек системы. Интегрируя (203) в пределах от t_1 до t_2, получаем, что полная работа всех движущих сил за какой-нибудь промежуток времени равняется изменению суммы кинетич. энергии всех точек системы за тот же промежуток времени. Это предложение имеет место, если ур-ия связей не содержат t в явной форме, в противном же случае сумма работ сил реакций при действительных перемещениях точек системы не равняется нулю, поэтому надлежит учесть и работу последних сил. В общем среди движущих сил $\boldsymbol{F}_i$ могут быть как потенциальные, так и непотенциальные силы. Сумма элементарных работ первых сил равняется по (133′) $-dU$, где $U = \Sigma U_j$, а U_j—силовые функции, соответствующие имеющимся потенциальным силам; сумма элементарных работ непотенциальных сил:

$$\sum_{k=1}^{\nu} \boldsymbol{F}' \cdot d\boldsymbol{r}_k = dA, \qquad (204)$$

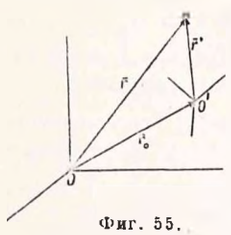
где $\boldsymbol{F}'$—непотенциальные силы, число которых ν. Тогда имеем:

$$\sum_1^n \boldsymbol{F}_i \cdot d\boldsymbol{r}_i = -dU + dA, \qquad (205)$$

или по (203):

$$dL = -dU + dA,$$
$$d(L+U) = dA. \qquad (206)$$

Так как кинетич. энергия L системы зависит от скоростей точек и так как эти скорости—понятия относительные, то и кинетич. энергия системы точек есть также величина относительная, зависящая от состояния системы отсчета. Допустим, что имеются две системы отсчета: одна с началом O, не связанным с данной системой точек, и другая с началом O', неподвижно связанным с системой точек. Пусть $\boldsymbol{r}_i$ и $\boldsymbol{r}'_i$ (фиг. 55) суть радиусы-векторы, определяющие положение точки A_i по отношению к системам O и O' соответственно, а $\boldsymbol{r}_0$—радиус-вектор, определяющий положение точки O' по отношению к системе с началом O. Тогда имеем:



Фиг. 55.

$$\boldsymbol{r}_i = \boldsymbol{r}'_i + \boldsymbol{r}_0,$$

или, что то же самое,

$$x_i = x'_i + x_0; \quad y_i = y'_i + y_0; \quad z_i = z'_i + z_0.$$

Беря производные по времени от последних равенств и обозначая производные точкою над соответствующей переменной, имеем:

$$\dot{x}_i = \dot{x}'_i + \dot{x}_0; \quad \dot{y}_i = \dot{y}'_i + \dot{y}_0; \quad \dot{z}_i = \dot{z}'_i + \dot{z}_0. \qquad (207)$$

Для кинетической энергии L системы точек, принимая во внимание (26′):

$$L = \tfrac{1}{2}\sum_1^n m_i v_i^2 = \tfrac{1}{2}\sum_1^n m_i (\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2 + \dot{z}_i^2) =$$

$$= \tfrac{1}{2}\sum_1^n m_i [(\dot{x}'_i + \dot{x}_0)^2 + (\dot{y}'_i + \dot{y}_0)^2 + (\dot{z}'_i + \dot{z}_0)^2] =$$

$$= \tfrac{1}{2}\sum_1^n m_i v_i'^2 + \tfrac{1}{2} v_0^2 \sum_1^n m_i + \sum_1^n m_i \dot{x}_0 \dot{x}'_i +$$

$$+ \sum_1^n m_i \dot{y}_0 \dot{y}'_i + \sum_1^n m_i \dot{z}_0 \dot{z}'_i, \qquad (208)$$

где

$$v' = \sqrt{\dot{x}'^2 + \dot{y}'^2 + \dot{z}'^2} \text{ и } v_0 = \sqrt{\dot{x}_0^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$$

суть линейные скорости точки A_i по отношению к системе O' и точки O' по отношению к системе O соответственно. Пусть далее координаты центра масс системы точек по отношению к системе отсчета с началом O' будут $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$. Тогда на основании (171):

$$\bar{x} \cdot \sum m_i = \sum m_i x'_i; \quad \bar{y} \cdot \sum m_i = \sum m_i y'_i;$$
$$\bar{z} \cdot \sum m_i = \sum m_i z'_i.$$

Если точка O' совпадает как раз с центром масс, то так как $x=0$, $y=0$, $z=0$, получим:

$$\sum m_i x'_i = 0; \quad \sum m_i y'_i = 0; \quad \sum m_i z'_i = 0,$$

и следовательно

$$\sum m_i \dot{x}'_i = 0; \quad \sum m_i \dot{y}'_i = 0; \quad \sum m_i \dot{z}' = 0.$$

В этом случае следовательно три последних члена левой части равенства (208) равны нулю, так что получаем:

$$L = \tfrac{1}{2} v_0^2 \sum_1^n m_i + \tfrac{1}{2}\sum_1^n m_i v_i'^2. \qquad (208')$$

Т. о. кинетическая энергия системы точек равна сумме кинетической энергии центра масс, если в нем сосредоточить массу всей системы, и кинетической энергии системы в ее движении относительно системы отсчета, имеющей начало в центре масс.

Основной динамический закон движения, выраженный ур-ием (198), допускает еще ряд других формулировок, имеющих в конечном итоге один и тот же физич. смысл. К числу последних принадлежит так наз. принцип наименьшего действия, или принцип Гамильтона. Так как ур-ие (198) справедливо для любого момента времени, то, умножив ур-ие на dt и проинтегрировав результат в пределах от t_1 до t_2, получим:

$$\int_{t_1}^{t_2} dt \left[\sum \left(X - m\frac{d^2x}{dt^2} \right) \delta x + \sum \left(Y - m\frac{d^2y}{dt^2} \right) \delta y + \right.$$
$$\left. + \sum \left(Z - m\frac{d^2z}{dt^2} \right) \delta z \right] = 0, \qquad (209)$$

где индексы i для упрощения опущены. В последнем ур-ии следует рассматривать как функции времени не только координаты x_i, y_i, z_i, но и вариации δx_i, δy_i, δz_i, что вытекает из следующих соображений. Допустим, что все координаты точек зависят не только от t, но еще и от нек-рого параметра η. Определенному значению η соответствует тогда определенное движение точки A_i; значению же $\eta + \delta\eta$ соответствует нек-рое бесконечно близкое соседнее движение, к-рое конечно в общем не удовлетворяет уравнению данного движения. Действия d и δ, соответствующие изменениям величин по времени и по параметру, независимы друг от друга, вследствие чего можно писать:

$$\frac{d\delta x}{dt} = \delta \frac{dx}{dt}, \qquad (210)$$

причем вариации $\delta x = \frac{\partial x}{\partial \eta}\delta\eta$, будучи в любой момент произвольными, должны однако удовлетворять условиям (193). Применяя полученную ф-лу (210), имеем, интегрируя по частям:

$$\int_{t_1}^{t_2} dt \cdot \frac{d^2x}{dt^2}\delta x = \left[\frac{dx}{dt}\cdot\delta x\right]_{t_1}^{t_2} - \int_{t_1}^{t_2} dt \cdot \frac{dx}{dt}\cdot\frac{d\delta x}{dt} =$$
$$= \left[\frac{dx}{dt}\cdot\delta x\right]_{t_1}^{t_2} - \int_{t_1}^{t_2} dt \cdot \frac{dx}{dt}\cdot\delta\frac{dx}{dt} =$$
$$= \left[\frac{dx}{dt}\cdot\delta x\right]_{t_1}^{t_2} - \frac{1}{2}\delta\int_{t_1}^{t_2} dt \left(\frac{dx}{dt}\right)^2. \qquad (211)$$

Если предположить, что вариации всех координат равны нулю при $t = t_1$ и $t = t_2$, то $\left[\frac{dx}{dt}\cdot\delta x\right]_{t_1}^{t_2} = 0$, и тогда имеем из (211):

$$\int_{t_1}^{t_2} dt \cdot \frac{d^2x}{dt^2}\cdot\delta x = -\frac{1}{2}\delta\int_{t_1}^{t_2} dt \left(\frac{dx}{dt}\right). \qquad (211')$$

С другой стороны, по (205) имеем:

$$\sum (X\,\delta x + Y\,\delta y + Z\,\delta z) = -\delta U + \delta A. \qquad (212)$$

Подставляя (211′) и (212) в (209), получаем:

$$\int_{t_1}^{t_2} dt\,(\delta H + \delta A) = 0, \qquad (213)$$

где $H = L - U$. Величина H называется кинетическим потенциалом, или лагранжевой функцией системы. Равенство (213) и выражает принцип Гамильтона. Т. к. формулировка этого принципа не зависит от системы координат и т. к. кинетич. потенциал H и работа непотенциальных сил A встречаются во многих областях физики, то применение этого принципа встречается очень часто при исследовании вопросов не только М. т., но и электродинамики, термодинамики и т. п. Очень часто положение точек системы определяется не при помощи прямолинейных ортогональных координат, а при помощи других координат: полярных, цилиндрических и т. д. (см. *Координаты*), к-рые удобнее применять при данных условиях движения. Как и в приведенных выше случаях, число таких координат, к-рые обозначим через $q_1, q_2, \ldots$, должно равняться степени свободы системы, если они независимы друг от друга. Координаты же x_i, y_i, z_i суть тогда определенные функции от $q_1, q_2, \ldots$, а если связи зависят от времени, то и в явной форме от t:

$$\left.\begin{aligned} x_i &= x_i(q_1, q_2, \ldots; t) \\ y_i &= y_i(q_1, q_2, \ldots; t) \\ z_i &= z_i(q_1, q_2, \ldots; t) \end{aligned}\right\}. \qquad (214)$$

Если связи от времени не зависят, то, как видно из (214), полные производные их по t, т. е. v_{x_i}, v_{y_i}, v_{z_i} — однородные линейные функции от $\frac{dq_j}{dt}$, коэф-ты при которых могут содержать q_j. Так как, с другой стороны, вариации δx_i, δy_i, δz_i—однородные линейные функции от δq_j, а δA—линейная однородная функция от δx_i, δy_i, δz_i, то δA м. б. представлена в следующем виде:

$$\delta A = \theta_1\delta q_1 + \theta_2\delta q_2 + \theta_3\delta q_3 + \ldots, \qquad (215)$$

причем δA может содержать элементарные возможные работы как потенциальных, так и непотенциальных внешних сил. Так как величины θ_j играют ту же роль, что и компоненты X_i, Y_i, Z_i в ф-ле (212), то они называются обобщенными компонентами сил.

Нетрудно усмотреть, что кинетич. потенциал H представляет собой в рассматриваемом случае ф-ию 2-й степени от производных $\dot{q}_j$, коэф-ты к-рых суть ф-ии от q, а возможно и от t. Т. к. при вариировании координат q_j время t не меняется, то

$$\delta H = \frac{\partial H}{\partial \dot{q}_1}\delta\dot{q}_1 + \frac{\partial H}{\partial \dot{q}_2}\delta\dot{q}_2 + \ldots +$$
$$+ \frac{\partial H}{\partial q_1}\delta q_1 + \frac{\partial H}{\partial q_2}\delta q_2 + \ldots \qquad (216)$$

Из (216) имеем, принимая во внимание, что

$$\delta\dot{q} = \delta\frac{dq}{dt} = d\frac{\delta q}{dt},$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial H}{\partial \dot{q}_j}\delta\dot{q}_j\,dt = \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial H}{\partial \dot{q}_j}\cdot\frac{d\delta q}{dt}\,dt =$$
$$= -\int_{t_1}^{t_2} \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial H}{\partial \dot{q}_j}\right)\delta q_j\,dt \quad (j=1,2,\ldots), \qquad (217)$$

так как при $t = t_1$ и $t = t_2$ все вариации δq_j равны нулю. Подставив значения (216) в (213), получим, принимая во внимание (217). а также и то, что δq_j независимы друг от друга:

$$\left.\begin{aligned} \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial H}{\partial \dot{q}_1}\right) - \frac{\partial H}{\partial q_1} &= \theta_1 \\ \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial H}{\partial \dot{q}_2}\right) - \frac{\partial H}{\partial q_2} &= \theta_2 \\ \cdots\cdots\cdots & \end{aligned}\right\}. \qquad (218)$$

Последние ур-ия называются уравнениями движения Лагранжа 2-го рода. В качестве примера рассмотрим движение свободной материальной точки, положение к-рой определяется цилиндрич. координатами r, φ, z. Из (215) имеем:

$$\delta A = \theta_1\delta r + \theta_2\delta\varphi + \theta_3\delta z. \qquad (219)$$

При отсутствии потенциальной энергии

$$H = L = \frac{mv^2}{2}.$$

Так как

$$x = r\cos\varphi \text{ и } y = r\sin\varphi,$$

то

$$v^2 = \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 =$$
$$= (\dot{r}\cos\varphi - r\sin\varphi\cdot\dot{\varphi})^2 + (\dot{r}\sin\varphi + r\cos\varphi\cdot\dot{\varphi})^2 +$$
$$+ \dot{z}^2 = \dot{r}^2 + r^2\dot{\varphi}^2 + \dot{z}^2,$$

следовательно

$$H = \frac{m}{2}(\dot r^2 + r^2\dot\varphi^2 + \dot z^2).$$

Отсюда получаем, сообразно (218):

$$\left.\begin{array}{ll} \frac{\partial H}{\partial \dot r} = m\dot r & \frac{\partial H}{\partial r} = mr\dot\varphi^2 \\ \frac{\partial H}{\partial \dot\varphi} = mr^2\dot\varphi & \frac{\partial H}{\partial \varphi} = 0 \\ \frac{\partial H}{\partial \dot z} = m\dot z & \frac{\partial H}{\partial z} = 0 \\ \theta_1 = \frac{d}{dt}(m\dot r) - mr\dot\varphi^2 & \\ \theta_2 = \frac{d}{dt}(mr^2\dot\varphi) & \\ \theta_3 = \frac{d}{dt}(m\dot z) & \end{array}\right\}. \quad (220)$$

Выше мы разделяли все силы, действующие на систему материальных точек, находящуюся в покое, на силы внутренние и силы внешние. Аналогичное подразделение можно сделать и в отношении сил, действующих на движущуюся систему, причем отмеченное выше основное свойство внутренних сил сохраняется и в данном случае. Обозначая внешние силы через $\boldsymbol{\Phi}_i$, имеем, применяя к движущейся системе принцип Д'Аламбера, на основании ур-ий (179):

$$\sum_1^n(\boldsymbol{\Phi}_i - m_i\boldsymbol{a}_i) = 0, \quad (220')$$

$$\sum_1^n[\boldsymbol{r}_i\cdot(\boldsymbol{\Phi}_i - m_i\boldsymbol{a}_i)] = 0, \quad (220'')$$

т. е. во время движения системы точек силы внешние и силы инерции в любой момент времени взаимно уравновешиваются. Ур-ия (220′ и 220″) применимы как к твердым, так равно и к нетвердым системам точек, как то: к газу, жидкости и т. п. и в частности к твердым телам. Т. к. из (171′) следует, что

$$\frac{d^2\boldsymbol{r}_0}{dt^2}m = \sum_1^n m_i\frac{d^2\boldsymbol{r}_i}{dt^2} = \sum_1^n m_i\boldsymbol{a}_i, \quad (221)$$

где $m = \sum_1^n m_i$—масса всей системы точек, то, вставляя (221) в (220′), получаем:

$$m\frac{d^2\boldsymbol{r}_0}{dt^2} = \sum_1^n \boldsymbol{\Phi}_i, \quad (222)$$

т. е. что ц. т. системы материальных точек движется так, как будто масса всех точек системы собрана в нем и как будто все внешние силы, действующие на систему, приложены непосредственно к этой точке. Отсюда видно, что на движение центра тяжести системы внутренние силы никакого влияния не оказывают. Из (220′) имеем также:

$$\frac{d}{dt}\sum_1^n m_i\boldsymbol{v}_i = \sum_1^n\boldsymbol{\Phi}_i, \quad (223)$$

т. е. производная по времени от суммы количеств движения точек равняется сумме (векторной) внешних сил, действующих на систему. Если все внешние силы равны 0 или если $\sum_1^n\boldsymbol{\Phi}_i = 0$, то из (223) имеем:

$$\sum_1^n m_i\boldsymbol{v}_i = \text{Const}.$$

Т. о., если $\sum_1^n\boldsymbol{\Phi}_i = 0$, то сумма количеств движения точек системы, называющаяся также результирующим количеством движения, остается во время движения без изменения. Особенное значение имеет последнее предложение при исследовании явления удара (см. *Удар*). При $\sum\boldsymbol{\Phi}_i = 0$ имеем также из (222):

$$\frac{d^2\boldsymbol{r}_0}{dt^2} = \boldsymbol{a}_0 = 0, \quad (224)$$

т. е. если на систему точек не действуют никакие внешние силы или если действуют силы, сумма к-рых равняется нулю, то центр тяжести системы движется прямолинейно и равномерно. Из (220″) имеем далее:

$$\sum[\boldsymbol{r}_i m_i\boldsymbol{a}_i] = \sum[\boldsymbol{r}_i\boldsymbol{\Phi}_i],$$

или, так как $[\boldsymbol{v}\,\boldsymbol{v}] = 0$,

$$\frac{d}{dt}\sum[\boldsymbol{r}_i m_i\boldsymbol{v}_i] = \sum[\boldsymbol{r}_i\boldsymbol{\Phi}_i], \quad (225)$$

т. е. производная по времени от суммы моментов количеств движения точек системы по отношению к какой-либо точке равняется сумме моментов всех внешних сил по отношению к той же точке. Сумма моментов количеств движения точек называется также главным моментом количества движения системы. Если в частности имеется свободное твердое тело, причем внешние силы $\boldsymbol{\Phi}_i$ даны, то уравнения (220′) и (220″) вполне определяют движение тела, т. к. число этих ур-ий, равное 6, соответствует 6 степеням свободы тела. Допустим однако, что тело, к к-рому приложены данные силы, не свободно, а имеет одну неподвижную ось вращения, к-рую мы примем за ось Oz. Взяв на этой прямой произвольную точку O', приведем к ней всю систему сил $\boldsymbol{\Phi}_i$, так что получится одна равнодействующая сила $\boldsymbol{\Phi}$ и пара момента $\boldsymbol{M}$. Аналогичным образом можно к той же точке привести и неизвестные силы реакции оси, получив силу $\boldsymbol{\Phi}'$ и момент $\boldsymbol{M}'$. Из всех шести ур-ий (220′) и (220″) только последнее не будет содержать компонент неизвестных сил реакции, а именно:

$$\sum m_i\left(x_i\frac{d^2y_i}{dt^2} - y_i\frac{d^2x_i}{dt^2}\right) = M_z, \quad (226)$$

а следовательно только оно и определяет движение тела, в соответствии с одной степенью свободы его. Параметром, определяющим положение тела, служит угол поворота φ, который образует плоскость в теле, проходящую через Oz, с плоскостью, неподвижной в пространстве и проходящей через ту же ось Oz. Обозначая расстояние точки (x_i, y_i, z_i) до оси Oz через ϱ_i, имеем:

$$x_i = \varrho_i\cos\varphi; \quad y_i = \varrho_i\sin\varphi; \quad (227)$$

$$\frac{dx_i}{dt} = -\varrho_i\sin\varphi\cdot\dot\varphi; \quad \frac{dy_i}{dt} = \varrho_i\cos\varphi\cdot\dot\varphi; \quad (228)$$

$$\frac{d^2x_i}{dt^2} = -\varrho_i\cos\varphi\cdot\dot\varphi^2 - \varrho_i\sin\varphi\cdot\ddot\varphi;$$

$$\frac{d^2y_i}{dt^2} = -\varrho_i\sin\varphi\cdot\dot\varphi^2 + \varrho_i\cos\varphi\cdot\ddot\varphi. \quad (229)$$

Вставляя равенства (227) и (228) в (226) и принимая во внимание, что угловое ускорение $\ddot\varphi$ постоянно для всех точек тела, получаем:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2}\int_{(V)}\varrho^2\,dm = M_z, \quad (230)$$

где знак $\sum$ заменен знаком $\int$ в виду того, что суммирование произведено по всем точкам объема тела, dm представляет массу элемента объема, находящегося на расстоянии ϱ от оси Oz.

Величина

$$I_z = \int_{(V)}\varrho^2\,dm \quad (231)$$

называется моментом инерции тела относительно оси Oz (см. *Момент инерции*). Т. о., обозначив угловое ускорение через θ, имеем:

$$\theta\cdot I_z = M_z. \quad (232)$$

Полученная формула (232) аналогична формуле (107) прямолинейн. движения, причем вместо массы здесь имеется момент инерции, вместо линейного ускорения—ускорение угловое, а вместо силы—вращающий момент внешних сил. Интегрирование ур-ия (232) производится точно таким же способом, как и при прямолинейном движении. Кинетич. энергия тела получается в рассматриваемом случае из следующего общего выражения:

$$L = \frac{1}{2}\int_{(V)}dmv^2 = \frac{1}{2}\int_{(V)}dm\left[\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2\right], \quad (233)$$

из которого, воспользовавшись формулами (228) и обозначив угловую скорость через ω, имеем:

$$L = \frac{1}{2}I\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 = \frac{1}{2}I\omega^2. \quad (234)$$

Если в какой-нибудь момент t_1 кинетич. энергия тела равна $L_1 = \frac{1}{2}I_1\omega_1^2$, а в момент t_2 равна $L_2 = \frac{1}{2}I_2\omega_2^2$, то на основании закона живой силы, выраженного ур-ием (125′), имеем:

$$T = \frac{1}{2}I_2\omega_2^2 - \frac{1}{2}I_1\omega_1^2. \quad (235)$$

Из шести координатных ур-ий (220′ и 220″) остались еще неиспользованными пять ур-ий, определяющие реакции оси, а именно:

$$\boldsymbol{\Phi}' = \sum m_i\boldsymbol{a}_i - \boldsymbol{\Phi}, \quad (236)$$

$$\left.\begin{array}{l} M'_x = \sum m_i\left(y_i\frac{d^2z_i}{dt^2} - z_i\frac{d^2y_i}{dt^2}\right) - M_x \\ M'_y = \sum m_i\left(z_i\frac{d^2x_i}{dt^2} - x_i\frac{d^2z_i}{dt^2}\right) - M_y \end{array}\right\}, \quad (237)$$

которые и определяют $\boldsymbol{M}' = \boldsymbol{M}'_x + \boldsymbol{M}'_y$ и $\boldsymbol{\Phi}'$. Если в частности все силы $\boldsymbol{\Phi}$ равны нулю, то из (232) имеем:

$$\theta = 0 \text{ и } \frac{d\varphi}{dt} = \omega = \text{Const}. \quad (238)$$

В этом случае реакции оси определяются ур-иями:

$$\left.\begin{array}{l} \boldsymbol{\Phi}' = \sum m_i\boldsymbol{a}_i \\ M'_x = \sum m_i\left(y_i\frac{d^2z_i}{dt^2} - z_i\frac{d^2y_i}{dt^2}\right) \\ M'_y = \sum m_i\left(z_i\frac{d^2x_i}{dt^2} - x_i\frac{d^2z_i}{dt^2}\right) \end{array}\right\}. \quad (239)$$

Вставляя в $\Phi'_x = \sum m_i\frac{d^2x_i}{dt^2}$, и $\Phi'_y = \sum m_i\frac{d^2y_i}{dt^2}$ значения $\frac{d^2x_i}{dt^2}$ и $\frac{d^2y_i}{dt^2}$ из (229), получим:

$$\left.\begin{array}{l} \Phi'_x = -\dot\varphi^2\sum m_i x_i \\ \Phi_y = -\dot\varphi^2\sum m_i y_i \end{array}\right\} \quad (240)$$

или на основании (171):

$$\left.\begin{array}{l} \Phi'_x = -\dot\varphi^2 x_0\sum m_i = -\omega^2 x_0\sum m_i \\ \Phi_y = -\dot\varphi^2 y_0\sum m_i = -\omega^2 y_0\sum m_i \end{array}\right\}. \quad (241)$$

Т. к. проекции центробежной силы инерции точки, масса которой m, по осям координат суть $\omega^2 x\cdot m$ и $\omega^2 y\cdot m$, то согласно (241) результирующая реакция связи Φ', противоположна центробежной силе инерции центра тяжести, в котором сосредоточена вся масса тела и который вращается с угловой скоростью ω. Если ось вращения проходит через центр тяжести тела, то, как это видно из (241), $\Phi' = 0$, т. е. в этом случае результирующая сила реакции оси равна нулю, но вращающие моменты M'_x и M'_y в общем случае не равны нулю:

$$\left.\begin{array}{l} M'_x = -\sum m_i z_i\frac{d^2y_i}{dt^2} \\ M_y = +\sum m_i z_i\frac{d^2x_i}{dt^2} \end{array}\right\}. \quad (242)$$

Т. к. далее $\frac{d^2\varphi}{dt^2} = 0$, то из (229) имеем:

$$\left.\begin{array}{l} \frac{d^2x_i}{dt^2} = -x_i\dot\varphi^2 \\ \frac{d^2y_i}{dt^2} = -y_i\dot\varphi^2 \end{array}\right\}. \quad (243)$$

Вставляя значения (243) в (242), имеем:

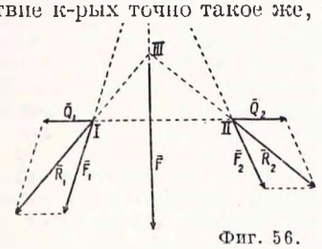
$$\left.\begin{array}{l} M'_x = \sum m_i z_i y_i\dot\varphi^2 = \dot\varphi^2\sum m_i z_i y_i = I_{yz}\dot\varphi^2 \\ M'_y = -\sum m_i z_i x_i\dot\varphi^2 = -\dot\varphi^2\sum m_i x_i z_i = -I_{xz}\dot\varphi^2 \end{array}\right\}. \quad (244)$$

где I_{yz} и I_{xz}—т. наз. центробежные моменты инерции. Т. о. даже в рассматриваемом частном случае для того, чтобы осуществить неподвижную ось вращения тела, нужно будет приложить два вращающих момента $-M_x$ и $+M_y$; если же ось сделать свободной, то, несмотря на отсутствие движущих сил, ось вращения все же неподвижной не останется, а будет перемещаться определенным образом в пространстве. Лишь если центробежные моменты инерции тела I_{xz} и I_{yz} будут к тому же равны нулю, ось останется неподвижной в пространстве и без всякой поддержки. Такая ось вращения тела называется свободной, или перманентной.

Графостатика. Помимо вышеприведенных методов определения условий равновесия системы сил при помощи составления и решения определенного числа ур-ий, т. е. помимо методов аналитических, широко применяются, в особенности при решении практических задач статики, методы графические, составляющие предмет изучения графической статики, или графостатики. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и свои недостатки. Аналитич. метод даст в общем более точные результаты, достигаемые однако путем сложных и утомительных вычислений, связанных с составлением и решением ур-ий, выражающих условия равновесия. Графический метод, наоборот, давая более быстрые результаты и отличаясь легкостью усвоения и запоминания, дает однако менее точные результаты. Во всех тех случаях, когда особой точности результатов не требуется либо когда в сложных случаях приходится делать допущения, понижающие точность аналитич. методов, графич. мето-

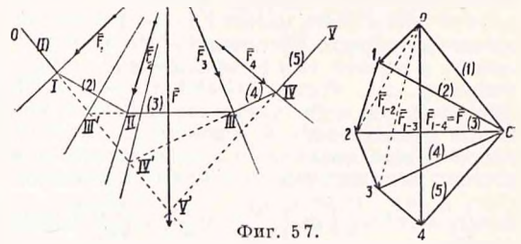
ды обладают несомненными преимуществами перед аналитическими. В последнее время графич. методы находят применение также в области динамики, составляя предмет изучения графической динамики. Однако во многих случаях применение одних лишь графических методов не является достаточным для решения поставленных задач статики, так что приходится применять смешанные графо-аналитические методы. В особенности это имеет место при определении неизвестных усилий в так наз. статически неопределимых системах (см. *Фермы*), когда помимо общих ур-ний статики необходимо принимать во внимание еще и упругие изменения системы. Развитие графостатики связано с развитием т. наз. проективной геометрии. Основными методами для графостатики являются построения силового многоугольника и т. наз. *веревочного многоугольника* (см.).

Если имеются две силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$, приложенные к двум различным точкам *I* и *II* (фиг. 56) и лежащие в одной и той же плоскости, линии действия к-рых пересекаются в некоторой точке *III′*, находящейся вне пределов чертежа, то прямое применение приведенного метода полного решения не дает. В самом деле: построив от какой-нибудь произвольной точки *0* силовой мн-к *012*, так что $\overrightarrow{01} = \boldsymbol{F}_1$ и $\overrightarrow{12} = \boldsymbol{F}_2$, получим равнодействующую $\boldsymbol{F} = \overrightarrow{02}$ лишь по величине и направлению; линия же действия $\boldsymbol{F}$ остается неизвестной. Для определения положения последней приложим к точкам *I* и *II* две равные и прямо противоположные силы $\boldsymbol{Q}_1$ и $\boldsymbol{Q}_2$, так что $\boldsymbol{Q}_1 = -\boldsymbol{Q}_2$. Складывая по правилу параллелограмма попарно силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{Q}_1$, $\boldsymbol{F}_2$ и $\boldsymbol{Q}_2$, получим силы $\boldsymbol{R}_1$ и $\boldsymbol{R}_2$, одновременное действие к-рых точно такое же, как и действие



Фиг. 56.

сил $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$. Если силы $\boldsymbol{Q}_1$ и $\boldsymbol{Q}_2$ достаточно велики, то, продолжив линии действия $\boldsymbol{R}_1$ и $\boldsymbol{R}_2$, можно получить точку пересечения *III*, находящуюся в пределах чертежа и через которую очевидно проходит искомая линия действия $\boldsymbol{F}$ параллельно найденному направлению *02*. От той же точки *0* можно построить другой силовой мн-к *01′2* соответственно силам $\boldsymbol{R}_1$ и $\boldsymbol{R}_2$, так что $\overrightarrow{01'} = \boldsymbol{R}_1$ и $\overrightarrow{1'2} = \boldsymbol{R}_2$, причем очевидно, что $\overrightarrow{11'} = \boldsymbol{Q}_1$ и $\overrightarrow{1'1} = \boldsymbol{Q}_2$. Отрезки *02* и *11′* представляют собой диагонали четырехугольника *0121′0*, точно так же, как отрезки *III′ III* и *I II* суть диагонали четырехугольника *I III II III′I*. Нетрудно также заметить, что между этими четырехугольниками существует взаимно обратное соответствие, к-рое состоит в том, что каждой стороне или диагонали одного четырехугольника соответствует параллельная ей сторона или диагональ другого четырехугольника, а каждой точке, в которой сходятся три направления одного четырехугольника, соответствует тр-к с параллельными этим направлениям сторонами в другом четырехугольнике. Так например, точке *II* соответствует тр-к *121′*, а точке *1* соответствует тр-к *II I III′*. Во взаимно обратном соответствии этих фигур и проявляется тесная связь, существующая между построениями графостатики и проективной геометрии. Таким образом, чтобы полностью получить равнодействующую $\boldsymbol{F}$, достаточно поступить след. образом: построив силовой мн-к *012*, возьмем произвольную точку *C*,



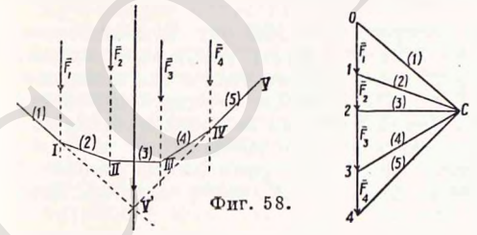
Фиг. 57.

называемую полюсом, и соединим ее со всеми вершинами силового мн-ка прямыми, или лучами, *C0*, *C1*, *C2*. Проведя далее прямые: *0I* ‖ *C0* до пересечения в точке *I* с линией действия $\boldsymbol{F}_1$; *I III* ‖ *C1* до пересечения в точке *II* с линией действия $\boldsymbol{F}_2$ и *II III* ‖ *C2*, получим мн-к *0 I II III*, крайние стороны которого пересекаются в точке *III*, через к-рую проходит линия действия силы $\boldsymbol{F} = \overrightarrow{02}$. Мн-к *0I II III* называется нитяным, или веревочным.

Приведенное построение можно распространить и на более общий случай. Допустим, имеется плоская система n сходящихся или не сходящихся сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$. Пусть например $n = 4$ (фиг. 57). Для сил $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ найдем вышеприведенным способом все элементы, определяющие их равнодействующую $\boldsymbol{F}_{12}$, т. е. величину, направление и линию действия последней; взяв затем $\boldsymbol{F}_{12}$ и $\boldsymbol{F}_3$, аналогичным образом найдем все элементы их равнодействующей $\boldsymbol{F}_{13}$ и т. д. Все построение очевидно сведется к следующему. Построив силовой мн-к *01234* и взяв произвольный полюс *C*, соединим его лучами *C0*, *C1*, ... со всеми вершинами силового мн-ка. Затем из произвольной точки *0* проведем: прямую *01* параллельно 1-му лучу *C0* до пересечения в точке *I* с линией действия силы $\boldsymbol{F}_1$, прямую *I II* параллельно 2-му лучу до пересечения в точке *II* с линией действия силы $\boldsymbol{F}_2$ и т. д. Полученный так. обр. нитяной мн-к вместе с построенным силовым мн-ком дает возможность определить равнодействующие как всех данных сил, так и определенной группы их. Так, для получения линии действия равнодействующей $\boldsymbol{F}_{12}$ сил $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ достаточно продолжить крайние стороны нитяного мн-ка, соответствующие этой части фигуры, т. е. стороны (*1*) и (*3*) до их взаимного пересечения в точке *III′*, и провести через *III′* прямую, параллельную *02*. Величина же и направление определяются

вектором $\overrightarrow{02}$. Точно так же для получения линии действия равнодействующей $\boldsymbol{F}_{13}$ сил $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}_2$ и $\boldsymbol{F}_3$ достаточно продолжить стороны нитяного мн-ка (*1*) и (*4*) до их взаимного пересечения в точке *IV′* и через эту точку провести прямую, параллельную *03*; величина же и направление $\boldsymbol{F}_{13}$ определяются вектором $\overrightarrow{03}$ и т. д. Нетрудно видеть, что $\boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2 + \boldsymbol{F}_3 + \boldsymbol{F}_4 = \overrightarrow{0C} + \overrightarrow{C4}$; отсюда явствует, что всякая плоская система сил м. б. заменена двумя силами, которые действуют по направлениям крайних сторон построенного нитяного многоугольника и равными по величине крайним лучам соответствующей полярной фигуры.

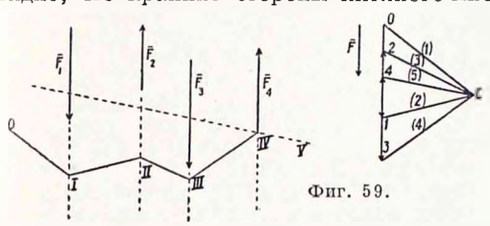
Точно такое же построение можно применить и к плоской системе параллельных



Фиг. 58.

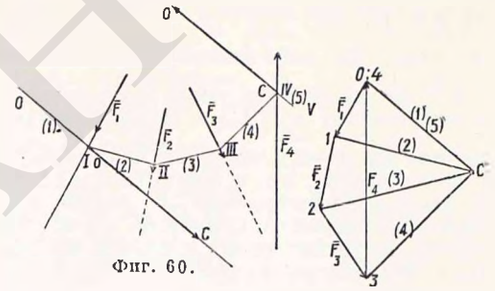
сил (фиг. 58 и 59). В этом случае, как это нетрудно усмотреть, все стороны силового мн-ка лежат на одной общей прямой, так что величина равнодействующей равняется алгебранч. сумме сил составляющих.

Как мы видели выше, для того чтобы данная плоская система сил взаимно уравновешивалась, необходимо, чтобы силовой мн-к был замкнутым, т. е. чтобы начало *0* силового мн-ка совпало с его концом *n* (фиг. 60 и 61). Т. к. вследствие этого крайние лучи полярной фигуры совпадают как по величине, так и по направлению, то очевидно, что крайние стороны нитяного мно-



Фиг. 59.

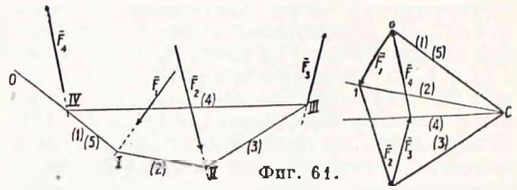
гоугольника будут либо параллельны либо совпадать. Т. к. далее данную систему сил можно заменить двумя силами, равными крайним лучам полярной фигуры, а также в виду того что эти лучи между собою равны,—в первом случае очевидно система сил приводится к паре сил, а во втором случае—взаимно уравновешивается. Так. обр. для того чтобы данная система сил взаимно уравновешивалась, необходимо и достаточно, чтобы и силовой и веревочный мн-ки были замкнутыми. В случае, когда имеется сходящаяся система сил, замкнутость силового мн-ка является не только необходимым, но и достаточным условием для равновесия. При наличии большого количества составляющих сил нет надобности строить веревочный мн-к с полным числом сторон. Для этого достаточно предварительно сгруппировать данные силы, заменив их меньшим числом



Фиг. 60.

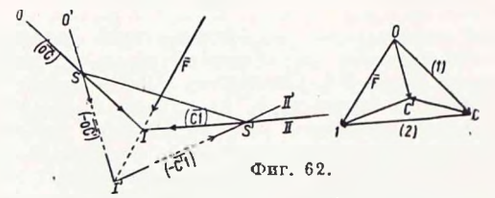
равнодействующих, и уменьшить соответственным образом число сторон как силового, так и нитяного мн-ков.

Из предыдущего ясно, что для данной системы сил линия действия равнодействующей занимает вполне определенное положение, а т. к. крайние стороны нитяного многоугольника должны пересечься в одной из точек этой прямой, то следовательно имеется бесчисленное множество точек, по к-рым это пересечение может произойти. С другой стороны, так как имеется ∞^2 возможностей выбора полюса *C* и так как каждому полюсу соответствует ∞ нитяных мн-ков, в соответствии со свободным выбором исходной точки *0*, то всего имеется ∞^3 возможностей



Фиг. 61.

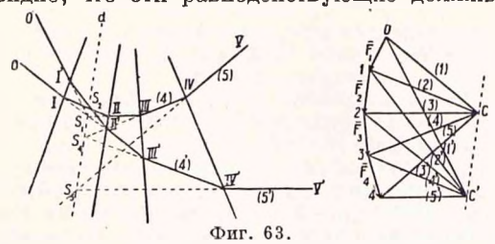
построения нитяного мн-ка, обусловливающих однако лишь ∞ точек пересечения. Отсюда следует, что между ∞^3 нитяных мн-ков данной системы сил должны существовать определенные зависимости. Эти зависимости суть следующие: соответствующие стороны двух нитяных мн-ков, построенных для одной и той же системы сил, но при помощи двух различных полюсов *C* и *C′* (фиг. 62), пересекаются на прямой, к-рая параллельна *CC′*. Для того чтобы это усмотреть, возьмем одну силу $\boldsymbol{F}$ и, выбрав полюс *C*, построим для нее полярную фигуру *0C1* и нитяной мн-к *0 I II*. Затем, выбрав другой полюс *C′*, построим соответствующую полярную фигуру *0C′1* и нитяной мн-к *0′1′II′*.



Фиг. 62.

По предыдущему, сила $\boldsymbol{F}$ м. б. заменена либо двумя силами $\overrightarrow{0C}$ и $\overrightarrow{C1}$, действующими по *0I* и *I II*, либо двумя силами $\overrightarrow{0C'}$ и $\overrightarrow{C'1}$, действующими по *0′1′* и *1′II′*. Если же при-

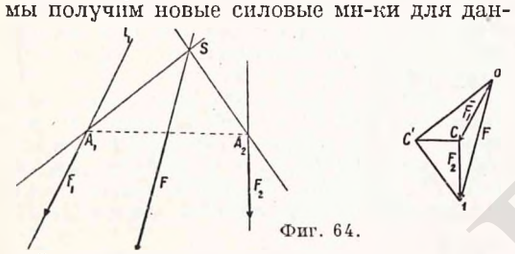
ложить по последним двум направлениям две силы, равные $-\overrightarrow{0C'}$ и $-\overrightarrow{C'1}$, то очевидно, что силы $\overrightarrow{0C}$, $\overrightarrow{C1}$, $-\overrightarrow{0C'}$, $-\overrightarrow{C'1}$ взаимно уравновесятся. Но равнодействующая сил $\overrightarrow{0C}$ и $-\overrightarrow{0C'}$ проходит через точку S пересечения направлений 01 и $0'1'$, а равнодействующая сил $\overrightarrow{C1}$ и $-\overrightarrow{C'1}$ проходит через аналогичную точку S', и т. к. обе эти силы должны взаимно уничтожаться, то линии действия их совпадают с прямой SS'. С другой стороны, из рассмотрения полярной фигуры видно, что эти равнодействующие должны



Фиг. 63.

быть направлены по прямым, параллельным CC', так что $SS' \parallel CC'$.

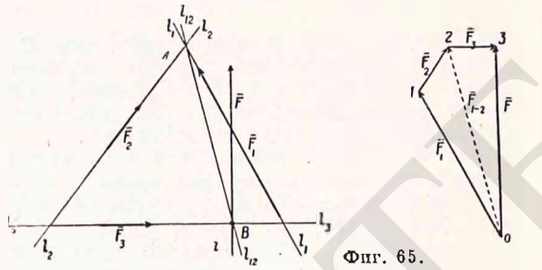
Распространяя эти выводы на общий случай, построим для данной плоской системы n сил $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}_2$, $\boldsymbol{F}_3$, ..., $\boldsymbol{F}_n$ (фиг. 63) два нитяных мн-ка $0\ I\ II\ III\ldots$ и $0'1'11'111'\ldots$ соответственно двум различным полюсам C и C'. По доказанному точка S_1 пересечения сторон 01 и $0'1'$ и точка S_2 пересечения $I\ II$ и $I'\ II'$ лежат на прямой d, параллельной CC'; из таких же соображений видно, что и точка S_3 пересечения $II\ III$ и $II'\ III'$ лежит на той же прямой d и т. д., откуда и явствует справедливость вышеприведенного положения. Отсюда следует, что если закрепить точки пересечения S_1, S_2, ..., S_n сторон нитяного мн-ка с некоторой прямой l и если поворачивать стороны 01, $I\ III$, $II\ III$, ... вокруг этих точек так, обр., чтобы вершины нитяного мн-ка перемещались по соответствующим линиям действия сил, то мы получим новые силовые мн-ки для дан-



Фиг. 64.

ной системы сил, соответствующие различным полюсам, расположенным на прямой, параллельной l. Последние выводы находят обширное применение не только в области графостатики, но и в др. областях, в теории шарнирных механизмов и т. п. Доказано, что все нитяные мн-ки для данной системы сил представляют собой ортогональные проекции на плоскость действия сил ломаных линий, полученных от сечения всевозможными плоскостями многогранника, ребра к-рого проектируются ортогонально на линии действия данных сил (Кремона, Клейн).

На основании вышеприведенных выводов можно решить графически ряд проблем, касающихся разложения данной силы на ее компоненты. Пусть требуется разложить данную силу $\boldsymbol{F}$ на две составляющие силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ так, чтобы линии действия последних проходили через две данные точки A_1 и A_2 (фиг. 64). Взяв на линии действия силы $\boldsymbol{F}$ произвольную точку S и соединив ее с A_1 и A_2, можно разложить $\boldsymbol{F}$ на две компоненты по направлениям SA_1 и SA_2, величины и направления к-рых определяются сторонами $\overrightarrow{0C'}$ и $\overrightarrow{C'1}$ соответствующей полярной фигуры. Если же кроме точек A_1 и A_2 задано также и направление одной из компонент, например направление l_1 для первой силы, то, проведя через C' прямую $C'C \parallel A_1A_2$, а через 0 прямую $0C \parallel l_1$, получим, на основании предыдущих выводов, новую полярную фигуру $0C1$, стороны которой $\overrightarrow{0C}$ и $\overrightarrow{C1}$ определяют искомые силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$. Пусть требуется разложить данную силу $\boldsymbol{F}$ (фиг. 65) на три компоненты $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}_2$, $\boldsymbol{F}_3$, лежащие в одной плоскости с $\boldsymbol{F}$ и линии действия которых l_1, l_2, l_3 даны. Обозначим линию действия $\boldsymbol{F}$ через l, а линию действия равнодействующей $\boldsymbol{F}_{12}$ первых двух сил $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ через l_{12}. Допус-



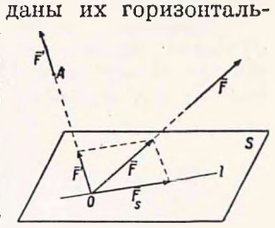
Фиг. 65.

тим, что требуемое разложение произведено. Тогда, построив полярную фигуру для найденных компонент, придем к заключению, что, в виду свойства взаимной обратности фигур, тр-ку 012 соответствует точка A, в к-рой пересекаются прямые l_1, l_2 и l_{12}, а тр-ку 023—точка B, через которую проходят прямые l_{12}, l и l_3. Отсюда вытекает следующий способ построения: определив точку пересечения A прямых l_1 и l_2 и точку пересечения B прямых l и l_3, разложим данную силу $\boldsymbol{F}$ по направлениям AB и l_3, а затем разложим первую компоненту по направлениям l_1 и l_2.

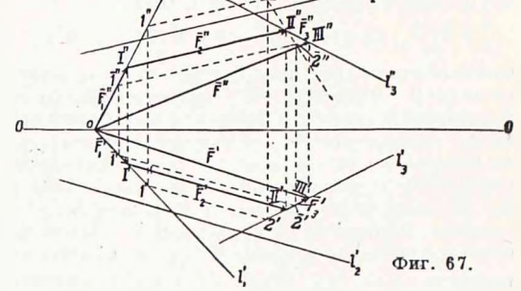
Что касается пространственных систем сил, то графостатич. построения для них усложняются, причем во многих случаях эти построения комбинируют с методами *начертательной геометрии* (см.). Проще всего дело обстоит при наличии пространственной сходящейся системы сил, равнодействующая к-рых по величине и направлению равняется замыкающей стороне неплоского силового мн-ка и линия действия к-рой проходит через общую точку пересечения линий действия данных сил. Если спроектировать данные сходящиеся силы на две взаимно перпендикулярные плоскости, то в каждой из этих плоскостей равнодействующая проекций сил равняется проек-

ции равнодействующей силы. Обе равнодействующие проекции в ортогональных плоскостях и определяют равнодействующую в пространстве. Конкретно эти построения м. б. выполнены методами начертательной геометрии. Если имеется пространственная не сходящаяся система сил, то, взяв произвольную точку O, можно, как мы видели выше, перенести в эту точку все векторы сил, сохраняя их величину и направление и прибавляя при переносе каждого вектора соответствующий моментный вектор пары сил. Так как проекция моментного вектора каждой добавочной пары на какую-либо ось равняется моменту проекции переносимой силы на плоскость, перпендикулярную к оси, относительно точки пересечения оси с плоскостью, то графически задача сводится к следующему. Спроектировав данную систему сил на три взаимно перпендикулярные плоскости и построив в каждой из них силовые и веревочные мн-ки для этих проекций, найдем три равнодействующие последних, определяющие равнодействующую силу в пространстве. В то же время моменты равнодействующих сил, находящихся в плоскостях проекции, относительно точки пересечения плоскостей соответственно равны проекциям равнодействующего моментного вектора пар на взаимно перпендикулярные прямые, по которым пересекаются плоскости проекции. Зная же эти проекции, можно определить уже затем и положение равнодействующего моментного вектора пар, т. е. положение равнодействующей пары в пространстве. Однако для определения положения в пространстве лишь вектора равнодействующей силы достаточно спроектировать систему сил на две взаимно перпендикулярные плоскости; для определения же положения моментного вектора равнодействующей пары необходимо спроектировать систему сил на три взаимно перпендикулярные плоскости. Можно применить еще и следующий графический метод приведения пространственной системы. Каждая из сил $\boldsymbol{F}$ данной системы может быть разложена на две компоненты, из которых одна $\boldsymbol{F}_3$ лежит в плоскости S, а другая $\boldsymbol{F}'$ приложена к некоторой произвольной точке A, не лежащей в плоскости S (фиг. 66). Для этого проведем через $\boldsymbol{F}$ и A плоскость, пересекающую плоскость S по прямой l, и продолжим линию действия силы $\boldsymbol{F}$ до пересечения с l в точке O. Переместив затем $\boldsymbol{F}$ в O, разложим ее на две компоненты: одну по направлению l, а другую по направлению OA. Первая компонента и дает нам силу $\boldsymbol{F}_3$, а вторая, перемещенная вдоль OA в точку A, дает силу $\boldsymbol{F}'$. Точно так же можно поступить и со всеми остальными силами системы.

Для того чтобы разложить данную силу $\boldsymbol{F}$ на три сходящиеся компоненты $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}_2$, $\boldsymbol{F}_3$, не лежащие в одной плоскости и линии действия которых l_1, l_2, l_3 даны, можно применить следующий графический метод. Сначала определяется линия действия l_{12} равнодействующей $\boldsymbol{F}_{12}$ сил $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ как прямая, по которой пересекаются плоскости (l_3, l_{12}) и (l_1, l_2), а затем разлагают силу $\boldsymbol{F}$ на компоненты $\boldsymbol{F}_3$ и $\boldsymbol{F}_{12}$, а $\boldsymbol{F}_{12}$ на компоненты $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$. Можно применить для этой же цели еще и следующий метод. Пусть сила $\boldsymbol{F}$ дана ее горизонтальной и вертикальной проекциями $\boldsymbol{F}'$ и $\boldsymbol{F}''$ (фиг. 67) и пусть направления l_1, l_2, l_3 также даны их горизонтальными и вертикальными проекциями (l_1', l_1''), (l_2', l_2''), (l_3', l_3''). Очевидно далее, что сила $\boldsymbol{F}'$ должна оказаться замыкающей стороной силового мн-ка сил $\boldsymbol{F}_1'$, $\boldsymbol{F}_2'$, $\boldsymbol{F}_3'$, точно так же как $\boldsymbol{F}''$ — замыкающей стороной силового мн-ка сил $\boldsymbol{F}_1''$, $\boldsymbol{F}_2''$, $\boldsymbol{F}_3''$, причем соответствующие вершины мн-ков должны лежать, по правилам начертательной геометрии, на перпендикулярах к оси OO. Направления проекций компонент $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_3$ определяются непосредственно прямыми (l_1', l_1'') и (l_3', l_3''). Для определения же направлений $\boldsymbol{F}'$ и $\boldsymbol{F}_2''$ поступают след. обр. Проведя $1'2' \parallel l_2'$ как предварительную проекцию $\boldsymbol{F}_2'$, находим предварительную же вертикальную проекцию $1''2''$. Если переместить $1'2'$ в положение $1'2'$ параллельно самой себе и притом таким образом, чтобы крайние точки остались на l_1' и l_3', то $1''2''$ перейдет в положение $1''2''$, причем точка $2''$ будет перемещаться по не-



Фиг. 66.



Фиг. 67.

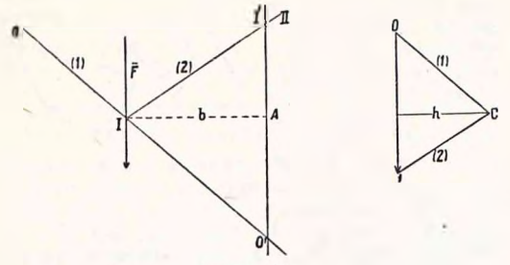
которой прямой d. Следовательно, построив второй вспомогательный четырехугольник $1'1''2''2'$ и соединив точки $2''$ и $2'$ прямой, определим точку пересечения II'' прямой d с l_3''. Проведя затем $1''II''$ параллельно l_2'', определим как силовой многоугольник $01''II''III''$, так и силовой многоугольник $01'II'III'$ (метод Мюллера-Бреслау).

В последние годы, обобщая выводы графостатики плоских систем, создали стройную систему графостатич. методов для пространственных систем сил (Мизес, Майор и др.). В основу пространственной графостатики положены следующие принципы. Пусть имеется сила $\boldsymbol{F}$, компоненты которой по осям координат суть $\boldsymbol{X}'$, $\boldsymbol{Y}'$, $\boldsymbol{Z}'$. В плоскости $a0y$ можно всегда найти такой вектор, проекции которого $\boldsymbol{X}$, $\boldsymbol{Y}$ на оси координат равны компонентам $\boldsymbol{X}'$ и $\boldsymbol{Y}'$ и момент которого $\boldsymbol{M}$ относительно начала осей координат равен $c\boldsymbol{Z}'$, где c—некоторая постоянная величина. Т. о. имеется зависимость:

$$\boldsymbol{X}' = \boldsymbol{X},\ \boldsymbol{Y}' = \boldsymbol{Y},\ c\boldsymbol{Z}' = \boldsymbol{M},$$

дающая возможность свести вопросы о сложении и разложении пространственных систем сил к сложению и разложению плоских систем.

Графостатические методы имеют громадное прикладное значение, особенно в таких областях знаний, как сопротивление материалов, строительная механика при расчете *балок* (см.), *ферм* (см.), *мостов* (см.) и т. д.



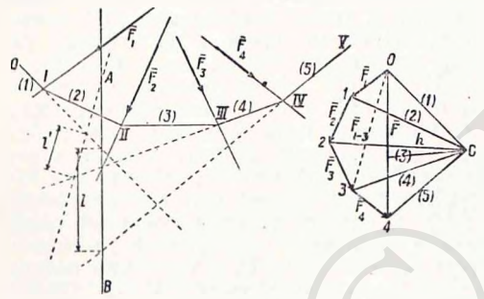
Фиг. 68.

В основе этих расчетов графостатического характера лежат следующие положения. Допустим, что требуется определить момент силы $\boldsymbol{F}$ относительно данной точки A (фиг. 68). Построив полярную фигуру и нитяной мн-к и продолжив стороны последнего до их пересечения в точках $0'$ и $1'$ с прямой, проведенной через A параллельно $\boldsymbol{F}$, получим отрезок $0'1'$, пропорциональный величине искомого момента. В самом деле: обозначая расстояние от точки A до $\boldsymbol{F}$ через b, а расстояние от C до 01 через h, имеем из подобия тр-ков $I\ I'\ 0'$ и $0C1$:

$$\frac{b}{h}=\frac{\overline{0'1'}}{\overline{01}}, \text{ или, т. к. } \overline{01}=F,\ b\cdot F=h\cdot\overline{0'1'},$$

что и показывает, что отрезок $0'1'$ пропорционален моменту bF, причем фактором пропорциональности является расстояние h. Если рассматривать величину h как силу, то получаем, что момент $\boldsymbol{F}$ относительно A равняется произведению величины силы h на отрезок $0'1'$, причем h измеряется масштабом полярной фигуры, а $0'1'$—масштабом основной фигуры. Если в частности принять $h=1$, то $Fb=\overline{0'1'}$. Знак момента определяется стороной вращения $\boldsymbol{F}$ около A.

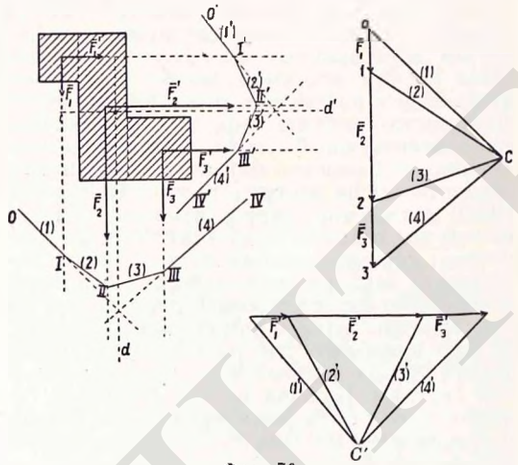
Пусть имеем в более общем случае плоскую систему сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$ (фиг. 69).



Фиг. 69.

Так как алгебраич. сумма моментов сил составляющих, относительно какой-либо точки, равняется моменту равнодействующей силы относительно той же точки, то для того чтобы найти алгебраическую сумму моментов сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$ относительно какой-либо точки A, достаточно построить при помощи силового и нитяного мн-ков равнодействующую $\boldsymbol{F}$ и найти вышеприведен. графич. способом момент $\boldsymbol{F}$ относительно A, т. е. продолжить крайние стороны нитяного мн-ка до их пересечения с прямой $AB \parallel \boldsymbol{F}$ и умножить получившийся т к. обр. отрезок l на полюсное расстояние h. Очевидно, что, пользуясь этим методом, можно получить алгебраич. сумму моментов любой группы данных сил. Так напр., для группы сил $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}_2$, $\boldsymbol{F}_3$ достаточно провести через A прямую параллельную 03 полярной фигуры и найти точки пересечения ее со сторонами 01 и $III\,IV$. Получившийся отрезок l', умноженный на полюсное расстояние от C до 03, и дает алгебраическую сумму моментов рассматриваемой группы сил относительно точки A. Приведенные построения применимы очевидно и для системы параллельных сил; в этом случае расстояния от полюса C до всех сторон силового многоугольника между собою равны. О практических применениях указанных построений см. *Балки простые*, *Фермы* и др.

Графические построения при помощи силового и нитяного мн-ков применяются помимо того еще и во многих других случаях,



Фиг. 70.

напр. для графического определения ц. т. плоских фигур, для определения распределения силы тока и напряжения в проводах, при графич. интегрировании дифференциальных ур-ий и т. д. Для графич. определения ц. т. однородной площади применяют следующий метод. Данную площадь разделяют на ряд таких частей, положения ц. т. к-рых известны либо точно либо приблизительно (фиг. 70). Т. к. при однородности всей площади вес каждой ее части пропорционален площади последней, то, приложив к ц. т. частей параллельные векторы, пропорциональные соответствующим площадям, определяют при помощи нитяного и силового мн-ков линию действия d равнодействующей всех векторов. Повернув затем все векторы на один и тот же угол и сохраняя при этом неизменными величины их, построим аналогичным образом новую линию действия d' равнодействующей повернутых

векторов. Точка пересечения d и d' и определяет ц. т. всей площади.

Лит.: Жуковский Н. Е., Аналитич. механика, М.—Л., 1925; Чаплыгин С. А., Механика систем, ч. 1—2, М.—Л., 1923—24; Мещерский М. В., Курс теоретической механики, ч. 1—2, М.—Л., 1927—28; Бобылев Д., Руководство к курсу теоретич. механики, СПБ, 1895; Суслов Т. К., Основы аналитической механики, 2 изд., ч. 1—3, Киев, 1911—12. Burmester L., Lehrbuch der Kinematik, Leipzig, 1886—88; Schoenflies A., Geometrie d. Bewegung in synthetischer Darstellung, Lpz., 1886; Schoenflies A. u. Grübler M., Kinematik, «Enz. d. math. Wiss.», B. 4, T. 1, Abt. 1, H. 2, B.—Lpz., 1902; Grübler M., Lehrbuch d. technischen Mechanik, 2 Aufl., B. 1, B., 1921, B. 2, B., 1923; Grübler M., Getriebelehre, Berlin, 1921; Heun K., Lehrbuch d. Mechanik, B. 1, Kinematik, Leipzig, 1906; Föppl A., Vorlesungen uber technische Mechanik, B. 1—6, B.—Lpz., 1921—27; Poschl Th., Lehrbuch der technischen Mechanik, 2 Aufl., Berlin, 1930; Wittenbauer F., Graphische Dynamik, Berlin, 1923; Krause M., Analysis der ebenen Bewegung, Lpz., 1920; Study E., Geometrie der Dynamen, Leipzig, 1903; Timerding H., Geometrie der Kräfte, Lpz.—Berlin, 1908; Henneberg L., Die graphische Statik d. starren Systeme, 2 Aufl., Lpz.—B., 1911; Ball R., A Treatise on the Theory of Screws, Cambridge, 1900; Darboux G., Mémoire sur l'equilibre astatique, Bordeaux, 1877; Routh E. A., Treatise on Analytical Statics, v. 1—2, ed. 2, Cambridge, 1909; Routh E., Elementary Rigid Dynamics, L., 1892; Routh E., Die Dynamik d. System starrer Körper, B. 1—2, Leipzig, 1898; Cremona L., Le figure reciproche nella statica gralica, Milano, 1879; Mayer B., Statique graphique des systèmes de l'espace, Lausanne, 1926; Mayer B., Statique graphique, Lausanne, 1910; Herzog J. und Feldmann C., Die Berechnung elektr. Leitungsnetze in Theorie u. Praxis, 4 Aufl., B., 1927; Appel P., Traite de mécanique rationnelle, t. 1—4, P., 1920—24; Charlier C., Die Mechanik d. Himmels, B. 1—2, Lpz., 1902—1907; Hamel G., Elementare Mechanik, 2 Auflage, Lpz., 1922; Lamb H., Higher Mecanics, Cambridge, 1920; Lamb H., Dynamics, 2 ed., Cambridge, 1923; Lorenz H., Lehrbuch d. techn. Physik, 2 Aufl., B. 1—2, Berlin, 1924—26; Love A., Theoretische Mechanik, B., 1920; Marcolongo R., Theoretische Mechanik, B. 1—2, Lpz., 1911—12; Muller C. und Prange G., Allgemeine Mechanik, Hannover, 1923; Plank M., Einführung in die allgemeine Mechanik, 4 Aufl., Lpz., 1928; Rausenberger O., Lehrbuch d. analyt. Mechanik, Lpz., 1888; Thomson W. a. Tait P., Treatise on Natural Philosophy, Cambridge, 1879—83; Webster A., The Dynamics of Particles, 3 ed., Lpz., 1925; Whittaker E., Analyt. Dynamik d. Punkte u. starrer Körper, B., 1924; Cranz C., Lehrbuch d. Ballistik, B. 1—3, B., 1925—27; Gray A., A Treatise on Gyrostatics a. Rotational Motion, Theory a Applications, L., 1918; Hagen J., La rotation de la terre, Roma, 1911; Poincaré H., Les methodes nouvelles de la mécanique céleste, t. 1—3, Paris, 1892—99; Klein F. u. Sommerfeld A., Über die Theorie d. Kreisels, H. 1—4, Lpz.—B., 1910—23; Grammel R., Der Kreisel, seine Theorie u. seine Anwendungen, Brschw., 1920; Tisserand F., Traité de mécanique céleste, t. 1—4, P., 1889—96; Painlevé P., Leçons sur le frottement, P., 1895; Noether F., Die Bewegung einer rollenden Kugel, Mch., 1909; Fischer O., Theoretische Grundlagen f. eine Mechanik d. lebenden Körper, Lpz.—B., 1906; Thomson J., Applications of Dynamics to Physics a. Chemistry, L., 1886; Herz H., Die Prinzipien d. Mechanik in neuem Zusammenhang, 2 Aufl., Lpz., 1910; Bolzmann L., Vorlesungen über die Prinzipe d. Mechanik, T. 1—2, Lpz., 1922; Galilei G., Discorsi, Leiden, 1638; Huygens Ch., Horologium oscillatorium, P., 1673; Euler L., Mechanica sive motus scientia, СПБ, 1736; Lagrange J., Mécanique analytique, P ris, 1815; Laplace P., Mécanique céleste, P., 1805; Foucault L., Recueil des travaux scientifiques. P., 1878; Poinsot L., Théorie nouvelle de la rotation des corps, P., 1834; Poisson S., Traité de mécanique, 2 éd., P., 1833.

М. Серебренников.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, технологич. процесс придания материалу той окончательной геометрич. формы, которая требуется для правильного функционирования данной детали, гл. обр. обработкой резанием. Современная техника стремится поставить предварительные технологич. процессы (ковку и отливку) в такие условия, чтобы припуск на М. о. был возможно малым; это дает двойную выгоду: 1) наименьшую затрату металла на изделие, что уменьшает стоимость металла в изделии и самой М. о. его, и 2) зачастую обеспечивает наибольшую прочность изделия (см. *Кузнечное производство*). Исходя из этих положений, нужно признать неправильной такую постановку процесса М. о., когда при составлении плана обработки ставят сверхмощные обдирные станки, снабженные самыми быстрорежущими инструментами из специальных сплавов (стеллит, видиа и т. п.) для снятия очень больших припусков, полученных при горячей обработке. Правильное решение вопроса состоит в том, чтобы поставить технологич. процесс горячей обработки в такие условия, при к-рых припуски были бы технически возможно малыми и на долю М. о. оставалось лишь снятие небольших припусков. В этом отношении в америк. практике давно уже применяется, напр. для изготовления разных валиков, холоднотянутый материал, причем шлифуют только места трения (шейки валов), а остальная поверхность остается черной. Для успешного проведения М. о. следует обращать внимание на физич. состояние обрабатываемого металла; напр. в закаленном состоянии металл, имеющий аустенитовую или мартенситовую структуру (см. *Металлография*), обрабатывается очень трудно; имеющий структуру зернистого или крупнослойного перлита не м. б. чисто обработан; лучшей структурой стали для М. о. надо считать пластинчатый перлит, полученный после правильного отжига. Отсюда следует, что М. о. должна иметь место после соответствующей терм. обработки, но т. к. металл поступающих в сборочный цех деталей должен обладать соответственными механич. качествами, то очевидно, что после черновой М. о. изделие д. б. подвергнуто специальной термич. обработке, сообщающей требуемые механич. качества изделию.

После всякой горячей обработки поверхность металла бывает окислена, и необходима добавочная М. о.—отделка. Поэтому обычно обработка идет в такой последовательности: 1) горячая обработка (ковка, отливка и т. п.); 2) термич. обработка, сообщающая металлу свойства наименьшего сопротивления для М. о.; 3) М. о. с припуском для окончательной отделки; 4) термич. обработка, сообщающая металлу изделия требуемые конструктором качества; 5) М. о. для отделки. Изделие, подвергаемое М. о. после термич. обработки, проверяется на твердость способами Бринеля или Шора. Англ. производственники из многочисленных наблюдений нашли следующее соотношение между обрабатываемостью и твердостью. Если принять за 100 количество стружки, снятой на токарном станке со стали, имеющей временное сопротивление на разрыв 40 *кг/мм*² и $H_{Br}=97$, то количество стружки, снятой при различных способах обработки с металла данного качества выразится числами, приводимыми ниже в таблице. Из этой таблицы видно, что имеется оптимальная твердость для обработки. Коммерчески невыгодна обработка обычными режу-

Сравнительные данные по обработке металлов.

H_{Br}	Обрабатываемость при М. о. на станках (приблизительно):		
	токарных и строгальных	фрезерных	сверлильных
80	95	75	60
97	100	80	70
118	95	75	65
140	90	70	60
166	80	65	55
192	65	50	40
207	50	35	30*
235	35	25*	20
262	25*	15	10
286	20	10	5
311	15	7	3
340	10	5	2
364	7	3	1
387	5	2	—
402	3	1	—

* Числа, стоящие ниже черты, указывают на затруднительность М. о. данного металла.

щими инструментами, если коэф-т снятия стружки меньше 30—35. В этом случае необходимо заменять обычный режущий инструмент специальными сплавами (стеллит, видиа, воломит и т. п.). Т. к. очень мягкий металл трудно режется быстрорежущим инструментом из-за вьющейся стружки, то в сплавы меди, напр. в латунь, прибавляют свинец (до 1,5%), чтобы получить сыпучую, а не вьющуюся стружку. Для обработки железных прутьев на автоматах, чтобы избежать вязкой вьющейся стружки, прибавляют в железо серу и фосфор. Так напр. металл для шурупов по дереву изготовляется с содержанием S ~ 0,10% (до 0,15%), P ~ 0,10%; поэтому стружку от такого металла надо собирать отдельно от стружки с обрабатываемых деталей из конструкционной стали, чтобы не загрязнить металл вредными примесями. Принципиально следует установить такой технологич. процесс производства, чтобы из горячей обработки получать изделия с возможно меньшими припусками, причем М. о. только очищала бы поверхность от окалины, которая неизбежно сопутствует всякому нагреву. Хотя технологич. процессы современной техники и далеки от полного решения этой задачи, однако имеются уже близкие решения, например отливка под давлением (цветной металл) без М. о.; в штамповочных высадочных изделиях М. о. дает не более 10—15% стружки, тогда как неправильные технологические процессы переводят в стружку и обрезки до 80—85% металла.

Лит.: Werkstoff-Handb., Stahl u. Eisen, Düsseldorf, 1927; Werkstoff-Handb., Nichteisenmetalle, B., 1927; «Z. d. VDI», «Maschinenbau». B. **К. Грачев.**

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ, см. *Испытания материалов.*

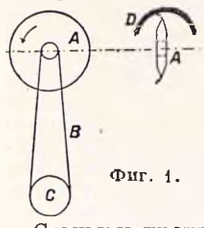
МЕХОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО, обработка пушнины и мехового сырья в готовый фабрикат (мех). М. п. складывается из трех самостоятельных отраслей: 1) сырейной, имеющей целью превратить сырую шкуру в выделанный мех без изменения окраски волос и кожи; 2) красильной, задача которой изменить окраску, часто и форму, волосяного покрова шкуры, а в некоторых случаях и окраску кожи, и 3) скорняжной, имеющей дело с превращением отдельных выделанных или выделанных и окрашенных шкур в меховые изделия.

Сырейная отрасль М. п. родственна *кожевенному производству* (см.), отличаясь от последнего лишь в деталях, обусловливаемых тем, что на шкуре необходимо сохранить волос. Красильная отрасль, будучи связана с сырейной, имеет также много общего с химич. обработкой шерстяного волокна. Вследствие этого учение о М. п.—технология меха—занимает промежуточное положение между технологией кожи и технологией шерсти, включая в себя основные элементы той и другой.

Выделка мехов есть вид дубления, благодаря к-рому кожа меха приобретает мягкость, тягучесть и свойство противостоять загниванию; в то же время волосяной покров шкуры сохраняет свою прочность и внешние свойства—цвет, рисунок, мягкость и т. п. Существует несколько способов выделки мехов: 1) хлебным киселем, 2) никелем, 3) жиром, 4) алюминиевыми квасцами, 5) хромовыми солями, 6) формалином; последний способ выделки мехов в массовом производстве не применяется. Каждый способ состоит из ряда последовательно осуществляемых процессов химич. и механич. обработки шкуры. Большинство процессов является общим для каждого способа выделки: это процессы подготовительные перед собственно дублением и процессы отделочные, следующие после превращения сырой шкуры в мех. Типичная схема выделки мехов: отмока, мездрение, собственно дубление, сушка, отволаживание, разбивка, очистка волоса от пыли и полировка, подчистка кожи (мездры), правка шкуры. Переменным процессом в этой схеме является «собственно дубление», выполняемое различно, в зависимости от способа дубления; остальные процессы могут быть сохранены при всех способах.

Отмока производится в обыкновенной свежей воде $t°$ 18° в случае обработки погружением. В случае намазной обработки шкуры смачивают со стороны мездры водой и выдерживают в стопках. Время отмоки зависит от способа консервирования шкуры: самое длительное (для пресносухих шкур)—до 3 суток и самое короткое (для мороженых и мокросоленых)—до 12 ч. Хорошая размочка сырья является залогом хорошей выделки. Отмока производится в бетонных чанах прямоугольной формы, углубленных в землю и возвышающихся над уровнем пола на ~30 *см.* Для ускорения отмоку можно соединять с разбивкой и промывкой шкур, осуществляя ее в латных барабанах.

Мездрение, которое следует после отмоки, состоит из разбивки и собственно мездрения. Разбивка производится на стоячих скобах и имеет целью подготовить («разбить») ткань для лучшего проникновения в нее дубильных растворов. Мездрение освобождает шкуру от нижнего подкожного слоя, т. н. мездры. Мездрение производят вручную на острых «косах» или на специальной дисковой мездрильной машине (крупные шкуры—собака, тюлень—мездрятся на кожевенной мездрильной машине). Детали машины (фиг. 1): *A* — дисковый нож, *B*—ременная передача, *C* — шкив и *D* — обрабатываемая шкурка. Обмездренные шкуры выделывают тем или иным химическим методом и после этого направляют их в сушилку.



Фиг. 1.

Сушку производят в тех же условиях, что и при кожевенном производстве, при $t°$ 35°. Наиболее рационально сушку производить в механич. сушилках, оборудованных конвейерной установкой (с цепями Галля) и автоматич. разгрузкой. Воздух в сушилку подается подогретым и по увлажнении удаляется экгаустером.

После сушки следует откатка шкур в глухом барабане с опилками белых твердых несмолистых пород, напр. березовыми, в продолжение 2—4 ч. В случае, если шкурки во время сушки пересохли, их предварительно или отволаживают со стороны бахтармы, смачивая водой и выдерживая в грудках, или пускают прямо в барабан со слегка увлажненными опилками. Барабан представляет собою цилиндрич. кожух, внутри которого по боковой поверхности набиты деревянные полки, перебрасывающие меха при вращении барабана. Опилки применяют для очистки волоса от жира и грязи. После откатки в глухом барабане шкуры «протряхивают» от опилок и пыли в сетчатом барабане, отличающемся от глухого барабана лишь тем, что его боковая поверхность обтянута проволочной сеткой. Барабан снабжается железным или деревянным кожухом, из к-рого опилки и пыль экгаустером удаляют по железным каналам в приемник. Если волосяной покров шкуры очень жирен (а для нек-рых мехов, напр. хоря, жирность волоса — природное свойство), то он в глухом барабане специально обезжиривается. Обезжиривания волосяного покрова достигают вращением шкур в барабане с совершенно сухими опилками, в которые, смотря по надобности, добавляют скипидар, белый песок или специальные сорта глины в порошке (см. *Глина*, глины сукновальные). Барабан при этом подогревают газовыми горелками, подставляемыми под железную обшивку барабана, или просто окружают его утепленной будкой. После первой откатки шкуры разбивают на тупых стоячих скобах такого же устройства, как и применяемые при разбивке сырых шкур, или на разбивочных машинах, подчищают все неровности со стороны бахтармы на острой скобе (подчистка) и вторично откатывают в барабане с сухими опилками, подсушиваемыми в специальных аппаратах. При такой обработке достигается полировка волоса, от которой он приобретает блеск. Во время откаток шкуры отминаются, и кожа мехов приобретает необходимую мягкость. В заключение меха еще раз протряхивают в сетчатом барабане, расчесывают запутанный волос ческами и кардочками и оправляют, придавая шкурам принятую в торговле форму.

Выделка хлебным киселем. Характерно для выделки мехов то, что мокрые операции (отмока, собственно дубление) производятся не только погружением в жидкости, но и намазью со стороны мездры этими же жидкостями. Способ намазной обработки с успехом применяют для тонкомездрых (тонкокожих) мехов и в хлебной выделке для ценных мехов с целью предохранения волоса от пачкания киселем. Мерилом качества выделанного меха (в отношении кожи) до сих пор является выделка мучными киселями. Шкурки, выделанные посредством киселей, обладают весьма тягучей, мягкой и пухлой кожей. При выделке другими способами обычно стремятся получить аналогичные результаты. Такие качества кожа меха приобретает в результате сложного действия на нее киселя. Мучной кисель готовят чаще всего из толченого овса или ржи, пшеницы и ячменя грубого помола, с добавлением поваренной соли. В овчинном производстве наиболее употребительна смесь: 1 ч. ржаной и 2 ч. овсяной муки с 15—25% (по весу муки) поваренной соли; в М. п. пользуются преимущественно одной овсяной мукой. Муку или заваривают кипятком или размешивают в горячей (ок. 50°) воде. В том и другом случае полученный кисель (болтушку) охлаждают до 30—35° и дают ему забродить, добавляя дрожжей или закваску от старых киселей. Через сутки заквасший кисель переносят в рабочий чан, разбавляют теплой водой до нужной $t°$ (35—50°) и консистенции, добавляют соль, размешивают и производят закладку в чан обмездренных шкур.

Брожение киселя, наиболее подробно изученное Вудом, является сложным процессом, распадающимся на несколько фаз. Первая фаза характеризуется выделением газов. Вуд дает следующий состав газов, выделявшихся из исследованных им киселей 25,2% CO_2, 2,5% O, 46,7% H, 26,0% N, H_2S—следы. Образование газов сопровождается превращением крахмала муки в глюкозу и декстрин, что обусловливается действием амилолитич. энзима—цереалина:

$$(C_6H_{10}O_5)_n + n\,H_2O = n\,(C_6H_{12}O_6).$$

Образовавшиеся сахара совместно с азотистыми веществами муки и отрубей затем сбраживают при помощи бактерий (Bacillus furfuris) с образованием органич. кислот: муравьиной, уксусной, масляной и молочной. Образование к-т идет приблизительно согласно следующим реакциям:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow \underset{\text{молочная к-та}}{2\,C_3H_6O_3} \rightarrow \underset{\text{масляная к-та}}{C_4H_8O_2} + 2\,CO_2 + 2\,H_2.$$

По анализам Вуда, кисель из отрубей с содержанием 20 *г* отрубей в *л* воды содержит в 1 000 $см^3$: молочной к-ты 0,7907 *г*, уксусной 0,2402 *г*, муравьиной 0,0306 *г*, масляной 0,0134 *г*, всего 1,0749 *г*.

В овчинном производстве СССР кисели употребляются с содержанием муки от 100 до 150 *г* в *л* жидкости. Кислотность таких киселей, по данным заводских лабораторий, составляет при пересчете на уксусную к-ту 20—25 *г/л*, P_H киселя ок. 3; содержание летучих к-т до 90%. Имеются попытки заменить хлебный кисель искусственным, составленным из уксусной и молочной кислот, но удовлетворительных результатов не получалось, т. к. при действии искусственного киселя не происходит повидимому разрыхления ткани кожи газами. Специфич. действие хлебного киселя на шкуру м. б. оха-

рактеризовано след. обр.: 1) образующиеся газы разрыхляют волокнистую ткань дермы; 2) органич. к-ты растворяют белковые вещества, склеивающие отдельные волокна кожи; 3) органич. к-ты вызывают обводнение коллагеновых волокон дермы, благодаря чему волокна выквашенной шкуры после сушки приобретают возможность скольжения и кожа делается более тягучей; 4) поваренная соль препятствует нажору кожи, получающемуся при обводнении волокон под действием к-т; 5) крахмалистые частицы киселя проникают в поры кожи и производят «смазку», облегчающую скольжение волокон друг около друга. Дефекты хлебного квашения: 1) неопределенность течения процесса; 2) трудность осуществления химич. контроля; 3) значительное ослабление волосяных луковиц, которое в дальнейшем затрудняет крашение меха; 4) возможность склеивания волоса декстринами киселя; 5) постоянное выделение газов и летучих к-т в заводском помещении; 6) неизбежное образование мучнистой грязи, затрудняющее чистку чанов и спуск из них жидкостей.

Техника хлебного квашения. В случае выделки мехов намазным способом шкурки смазывают киселем с мездры, складывают пирожком и оставляют лежать в грудках сутки; по истечении суток шкуры закладывают в кисель и здесь выдерживают при 35° один или несколько дней (некоторые меха, наприм. заяц-беляк, квасятся только намазью, без погружения в кисель). В случае окуночного квашения шкуры окунают в кисель, разболтанный в деревянном чане, и складывают в другой пустой чан (шкуры, поротые по чреву, предварительно складывают парами, волос к волосу). Когда вся партия «выкупана» в киселе и сложена в чан, шкуры заливают остатком киселя и оставляют на несколько дней при $t°$ 30—35°. Один раз в сутки шкуры перекладывают, а кисель, если он остыл, подогревают. Признаки готовности меха или овчины при квашении следующие: 1) при складывании кожи (мездры) вчетверо на месте перегиба образуется белая полоса; 2) при растягивании кожи последняя хорошо растягивается и не пружинит; 3) пропадает скользкость кожи; 4) волос на пашинах слабеет. Наиболее удобная форма чанов для квашения четырехугольная, с глухой перегородкой поперек для разделения чана на два получанка. В последнее время в связи с общей тенденцией к ускорению производственных процессов делаются опыты по квашению с движением жидкости и товара. Имеются предложения нескольких заводов (Барнаульского и др.) квасить в глухих барабанах или в баркасах с вращающимися лопастями. Квашение, таким образом производимое, значительно укорачивает процесс. Повидимому наиболее приемлемым является метод квашения в барабане или баркасе с периодическим вращением аппаратуры, заменяющей переборки, и с большим жидкостным коэфициентом во избежание свойлачивания волоса.

Выделка пикелем. Пикелем называют раствор, составленный из воды (100 вес. ч.), к-ты (1—2 ч.) и поваренной соли (~10 ч.). В настоящее время выделка пикелем получила широкое распространение, после того как была разработана рецептура жирования после пикеля щелочными эмульсиями, нейтрализующими вредное действие остающихся в коже к-т. Чаще всего применяют пикель с серной к-той. Действие его в некотором отношении аналогично действию хлебного киселя, но существенное его различие заключается в отсутствии рыхления ткани газами, имеющего место при хлебной выделке. Роль пикеля сводится к обезвоживанию дермы, вследствие чего волокна располагаются более свободно, в результате чего получается более мягкая кожа. К этому присоединяется высаливающее действие пикеля на протеины. При употреблении различных к-т и солей необходимо считаться с различной кислотностью растворов различных к-т и влиянием на кислотность рода и количества соли.

Концентрация кислоты пикеля оказывает сильное влияние на кислотность (величину P_H) в случае сильных к-т (серной, соляной) и, напротив, незначительное влияние в случае применения органич. (более слабых) к-т. Что касается влияния солей на кислотность пикеля, то оно различно: NaCl повышает кислотность как сильных неорганических, так и слабых органич. к-т в значительной степени; Na_2SO_4 вызывает заметное понижение кислотности; уксуснокислый натрий, добавленный в больших количествах, нейтрализует раствор. При погружении шкуры в пикель к-та и соль поглощаются кожей, причем кислота поглощается относительно значительно больше, чем поваренная соль. При 2%-ном содержании серной к-ты в пикеле кожа поглощает из пикеля 60% всей к-ты, а поваренной соли 20—30% от полного содержания ее в пикеле. Поглощение соли и обезвоживающее действие ее зависят от концентрации соли в пикеле, так что при пиклевании большую роль играет не отношение между весом голья шкуры и солью, а отношение между солью и объемом раствора пикеля. По Проктеру, во всех пикелях с преобладающим количеством поваренной соли, какая бы к-та ни употреблялась, шкура поглощает из пикеля гл. обр. соляную к-ту и поваренную соль, что объясняется диссоциацией к-т в растворах. Но все же существуют различия в действии пикелей, составленных из поваренной соли и различных кислот, выражаемые разным количеством кислоты, поглощенной гольем. При сравнении различных пикелей, составленных из воды, поваренной соли и различных кислот (10% поваренной соли и 1% серной кислоты или эквивалентное количество кислот соляной, уксусной и молочной) В. Эйтнер и Э. Стясны нашли различное количество поглощенной кислоты в голье (табл. 1).

Табл. 1.—Действие различных по составу пикелей на кожу.

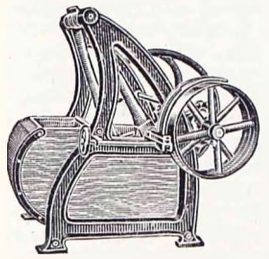
Составы пикеля в % от гольевого веса			Поглощено к-ты (в %) от гольевого веса по расчету на HCl
Поваренная соль	Кислота	Вода	
10	1 серной к-ты	200	0,67
10	10 соляной »	200	0,69
10	10 уксусн. »	200	0,47
10	10 молочн. »	200	0,27

Отсюда следует, что шкура поглощает из пикеля больше к-ты в том случае, когда он составлен из серной или соляной к-т. Что касается поваренной соли, то ее поглощение зависит не от рода и количества примененной к-ты, а исключительно от содержания ее в пикеле. Количество поглощенной к-ты зависит также от концентрации ее в пикеле, но не в строгой пропорциональности, а именно: из разбавленных растворов к-ты поглощается сравнительно больше, чем из растворов концентрированных. Весьма важным для техники пиклевания является вопрос о том влиянии, к-рое оказывают пикели различного состава на обезвоживание дермы шкуры, т. к. от этого явления гл. обр. зависит получение меха с мягкой кожей. По Стясны, весьма вероятно, что, в зависимости от выбора к-ты для пикеля и концентрации к-ты и поваренной соли в нем, достигается различная степень удаления воды из дермы и следовательно различная степень расщепления волокон. Теория этого вопроса опирается, с одной стороны, на работы Проктера, выяснившего влияние нейтральных солей на диссоциацию образующихся солей коллагена и связь этого явления с опаданием голья; с другой стороны, в этом вопросе большую роль играют гидратация солей и влияние солей на осмотич. давление. Смотря по роду к-ты, примененной в пикеле, соли коллагена должны быть более или менее непроницаемы, и следовательно в зависимости от рода и концентрации соли пикеля должна быть различна и способность соли к диффузии в кожевую ткань. Оба фактора влияют следовательно на осмотическое давление, т. е. на степень удаления воды из голья.

Выделка пикелем является сейчас наиболее распространенным методом в Европе и Америке и введена в СССР во всех крупных государственных предприятиях. За границей она производится гл. образом по намазному методу, в СССР—по окуночному. Для последнего метода используют чаны, баркасы с вращающимися лопастями и барабаны. Самая скорая выделка—барабанная (~6 ч. для кошки и мерлушки); выделка в баркасах занимает промежуточное положение (~24 ч.); выделка в чанах—самая продолжительная. Чаще всего применяют пикель из серной кислоты и поваренной соли. Концентрации составных частей пикеля для намазного метода даются более значительные, чем для окуночного. Они колеблются в следующих пределах: поваренная соль 8—11° Bé, купоросное масло 1—3° Bé. Иногда применяют комбинированные пикели с прибавлением хромовых или алюминиевых квасцов. С теоретич. точки зрения, поскольку имеющаяся в растворе серная кислота понижает гидролиз сернокислого алюминия или хрома и этим самым лишает их дубящего действия, прибавление последних в пикель кажется излишним.

Выделка квасцами. Раствор для этой выделки представляет собою своеобразный пикель из поваренной соли и алюминиевых квасцов или сернокислого алюминия и воды. Этот метод основан на гидролизе алюминиевых солей, причем получающаяся серная к-та образует с поваренной солью обычный пикель, а получающаяся одновременно основная соль производит дубящее действие. Примерный состав раствора: на 1 *л* воды 30 *г* алюминиевых квасцов и 30 *г* поваренной соли.

Жирование. Выделка пикелем и квасцами обязательно требует жирования кожи щелочными эмульсиями после пиклевания. Эмульсии изготовляются из разных животных жиров с прибавлением аммиака.



Фиг. 2.

Употребительны следующие жиры: копытное масло, дегра, ализариновое масло, сульфированная ворвань, яичный желток; животные жиры частично заменяются минеральными маслами. В качестве эмульсатора применяют мыло «Монополь». Цель жирования — нейтрализовать свободную серную кислоту в коже и дать смазку волокнам кожи. Для мехов с очень плотной мездрой жирование производят в мялках (фиг. 2). Жирование производят сейчас же после пиклевания, после чего шкуры сушат и обычным образом отделывают.

В табл. 2 приведены анализы шкур кошки домашней, кролика и мерлушки, выделанных пикелем из серной к-ты и поваренной соли (исследования Н. В. Булгакова и В. В. Голованова).

Табл. 2.—Состав и механические свойства шкур, выделанных пикелем (в %).

Состав и свойства	Кошка домашняя	Кролик	Мерлушка среднеазиатская
Влага	18	18	18
Зола	7,81— 8,37	5,94— 9,96	5,57— 5,73
Жир	12,03—12,90	1,88— 4,30	8,13— 8,72
Гольевое вещество	57,86—57,98	62,07—70,55	63,04—63,50
SO_3 общая	1,81— 2,99	0,81— 1,25	1,54— 1,82
SO_3 связан.	0,74— 1,33	0,28— 0,66	1,09— 1,25
SO_3 свободн.	0,68— 1,81	0,26— 0,78	0,15— 0,10
NaCl	2,45— 4,64	2,78— 8,39	2,86— 2,94
Разр. усилие в *кг/мм²*	2,90— 3,20	1,98— 2,00	1,8

Высокое содержание свободной серной к-ты отражается на прочности кожи: свободная H_2SO_4 действует на кожу разрушающе.

Хромовое дубление мехов используется гл. обр. в качестве додубки при крашении мехов, для чего исключительно применяется однованный метод дубления.

Крашение мехов преследует разнообразные цели: 1) оно исправляет недостатки в естественной окраске ценных мехов, напр. соболя, куницы, норки, шиншиллы; 2) улучшает естественную окраску нек-рых мехов, напр. каракуля, черной мерлушки, морского котика; 3) имитирует окраску благородных мехов на дешевых, массовых видах пушнины и мехового сырья, напр. окраску: а) соболя и норки на суслике-песчанике, сурке, колонке, белом хоре, б) нутрии на стриженой пуховой овчине, в) голубого песца на зайце-беляке, г) бобра на бельке (молодом тюлене); 4) дает мехам окраску и вид, совершенно не встречающиеся в природе, увеличивая т. о. ассортимент пушных товаров. В последнем случае красят в самые разнообразные цвета, диктуемые требованиями моды: беж, стальной, дымчатый, платиновый, каштановый и т. п. Наиболее развитой областью крашения является имитирование ценных мехов на дешевых, массовых видах пушнины и мехового сырья.

Крашение мехов в технологич. отношении является до сих пор в значительной степени искусством, требующим большого опыта и художественного чутья; трудности заключаются в том, что мех представляет неоднородный материал, состоящий из кожи и волосяного покрова. Последний в свою очередь неоднороден, распадаясь на ость и пух, обладающие различными физич. свойствами. Неоднородность свойств распространяется так далеко, что волос имеет разные свойства на разных частях шкуры, напр. свойства волоса на спине резко отличаются от свойств волоса на череве. Наконец б. ч. окраска волоса на протяжении всей шкуры также неоднородна, причем и в горизонтальном направлении и в вертикальном имеет

ярусность. Перечисленная разнородность свойств усиливается при сравнении нескольких шкурок одного и того же вида, не говоря уже о мехах различных наименований. Эта неоднородность свойств сильно осложняет крашение партий мехового товара под определенный образец. Далее при крашении мехов обрабатываются два материала, обладающие различными свойствами: волос и кожа. Кератин, из которого состоит волос, и коллаген, образующий кожу, неодинаково реагируют на щелочи, к-ты, горячую воду и другие химич. реагенты, действию к-рых подвергается мех в процессе крашения. Поэтому методы обработки волоса и кожи, взятые сами по себе, для М. п. не подходят, требуя разнообразных коррективов. Помимо естественных свойств кожи и волоса, в крашении приходится считаться со свойствами кожи, которые последняя приобретает после предварительной выделки. Обычная выделка мехов—хлебная или пикельная—дает кожу, не выдерживающую $t°$ красильной барки выше 35—40°; при $t°$ более высокой мех получается с жесткой, неэластичной и ломкой кожей, резко понижающей товарную ценность его. Способ выделки влияет также на окраску мехов; выделанные различными способами меха получают различные нюансы при одном и том же рецепте крашения; это объясняется тем, что волос в процессе выделки одновременно с кожей вступает во взаимодействие с применяемыми хим. реагентами в красильной ванне. И наконец к окрашен. мехам предъявляют требования в отношении маркости и прочности окраски к свету и хранению. Вследствие перечисленных обстоятельств в настоящее время только очень ограниченная группа красителей и методов крашения удовлетворяет практич. требованиям. Применяются следующие способы крашения: 1) крашение минеральн. красителями; 2) крашение растительными красителями; 3) крашение синтетическими органическ. красителями (урсолы и черный анилин). Для всех способов крашения первоначальные операции одинаковы (исключение составляет крашение черным анилином и крашение намазью пухового товара в нежные цвета, например муфлона в голубой цвет).

Методология крашения органич. красителями состоит из ряда последовательных процессов, распадающихся на подготовительные перед крашением, собственно крашение и отделочные процессы. Наиболее типичная схема крашения следующая: 1) уморение намазью, 2) сушка, 3) протряхивание в сетчатом барабане, 4) уморение окуночное, 5) промывка, 6) отжим, 7) крашение окуночное, 8) вторич. промывка, 9) отжим, 10) мягчение кожи, 11) сушка, 12) отволаживание, 13) отминка в глухом барабане с опилками, 14) протряхивание в сетчатом барабане, 15) разбивка на скобах, 16) вторичная отминка и протряхивание в барабане, 17) крашение намазью, 18) сушка, 19) отминка в глухом барабане, 20) протряхивание в сетчатом барабане, 21) разбивка на скобах, 22) протряхивание в сетчатом барабане, 23) правка.

Уморение, или обезжиривание, заключается в обработке волоса щелочами. Цель уморения двойная: 1) омылить жир, обволакивающий кутикулу волоса и препятствующий его смачиванию, и 2) разрыхлить кутикулу, стем чтобы облегчить прокрас. От правильно проведенного процесса уморения зависит успех крашения. По силе действия на кератин щелочи располагаются в следующем порядке: едкий натр, гашеная известь, аммиак, кальцинированная сода. Этот порядок соответствует активности гидроксильного иона. Влияние различных щелочей на волос различных торговых видов мехов до сих пор систематически не изучено. Процесс уморения представляется в следующем виде (по Б. Ф. Церевитинову): придя в соприкосновение с волосом, щелочь омыляет покрывающий волос жир, производит частичное разрушение кутикулы и проникает внутрь волоса через тончайшие щели, имеющиеся в корковом слое. Сердцевина и корковый слой под действием уморителя разбухают и, давя на кутикулу, раздвигают и расщепляют чешуйки, к-рые вследствие этого расходятся своими свободными концами (табл. 3).

Табл. 3. — Действие на волос различных уморителей.

Уморитель	Концентрация	Средний коэф. расширения волоса
Аммиак 25%-й (на *л*)	3 см³	1,63
	10 »	3,20
	25 »	5,65
Углекислый натрий (на *л*)	5 *г*	1,49
	10 »	3,47
Едкий натр	1° Bé	36,65
	2° Bé	55, 0
Перекись водорода 3%-ная	—	2,75

После расщепления кутикула образует между чешуйками свободные проходы, через к-рые краска проникает внутрь волоса. Процесс уморения ускоряется с повышением концентрации и $t°$.

При высушивании уморенного волоса путем нагревания (40 — 45°) он сильно уменьшается в диаметре.

Отношение ости и пуха к уморению различно. Ость требует более сильного уморения, особенно концы ее. Вследствие этого уморение для мехов, обладающих остью и пухом, применяют двух родов: намазное и окуночное. Намазное, осуществляемое посредством намазывания раствора щелочи на поверхность волосяного покрова мягкой щеткой, производится более крепкими растворами щелочей, а окуночное, заключающееся в погружении шкур в раствор щелочи,—более слабыми растворами. Особняком стоит уморение перекисью водорода с добавлением аммиака. Действие этого уморяющего средства повидимому объясняется окислением кератина. Шерсть обладает восстановительными свойствами, объясняющимися наличием в ней амидной группы. Повидимому при действии перекиси водорода на волос амидная группа окисляется, волос теряет восстановительные свойства и приобретает способность окрашиваться окислительными красителями. Практика такой вывод вполне подтверждает. Иногда уморение соединяют с последующим процессом протравления;

при этом смесь из гашеной извести, железного купороса и калиевых квасцов наносится щетками на концы волос.

Протравлением называется процесс обработки меха протравами, водными растворами нек-рых металлич. солей, преимущественно солей железа, меди и хрома (см. *Крашение протравными красителями*); обычно употребляют железный купорос, древесноуксуснокислое железо (железный настой), медный купорос, хромпик. Теория протравления заключается в том, что волос, обработанный раствором протравы, поглощает часть гидрата окиси металла, а другая часть остается в растворе. К-та протравной ванны тоже поглощается, но в незначительных размерах, причем основание и к-та протравы в виду происходящего при этом их гидролиза поглощаются так, как будто бы каждая составная часть имелась в растворе одна; последнее объясняет также, почему протравление идет скорее при нагревании. Чем концентрированнее протрава, тем более поглощается к-ты по отношению к основанию, а так как к-та мешает лакообразованию и изменяет оттенок краски, то следует протравливать всегда разбавленными растворами; кроме того при быстром поглощении гидрата окиси получается плохо закрепленная окраска. При протравлении обыкновенно прибавляют немного к-ты или кислой соли (винный камень, уксусная к-та), чтобы вызвать более полное использование протравы.

Свойства главнейших протрав. Железный купорос при соединении с красителем, волосом и кожей выделяет вредную для кожи серную к-ту; поэтому целесообразнее употреблять такую соль железа, которая выделяет слабые и летучие к-ты. В качестве таковой применяется железный настой—раствор уксуснокислой соли закиси железа в древесном уксусе, получаемый настаиванием железных обрезков в древесной подсмольной воде. Железный настой имеет ряд орган. примесей, препятствующих окислению закисной соли железа, благодаря чему работа с ним удобнее, чем с железным купоросом. Несмотря на эти преимущества, в М. п. употребляют как железный купорос, так и железный настой, т. к. оттенки окрасок, получаемых на этих протравах, неодинаковы. Медный купорос применяется чаще всего в черном крашении вместе с железными и хромовыми протравами. В нек-рых случаях он играет роль не только протравы, но и окислителя. В крашении черным анилином он играет роль лишь окислителя. Лаки на медной протраве обладают высокой прочностью. Из хромовых солей хромовые квасцы, в отличие от железных и алюминиевых солей, плохо усваиваются волосом (~ 0,1% от веса волоса); при помощи их хорошие окраски достигаются только в присутствии большого количества винного камня. Важнейшей хромовой протравой является хромпик. В противоположность железным и алюминиевым солям уксуснокисл. соли хрома разлагаются гораздо труднее, чем сернокислые. Видимые результаты протравления: 1) ускорение крашения, 2) изменение оттенков окраски, 3) увеличение прочности окраски к свету, трению, хранению и сублимации. Протравление производится или перед крашением, или одновременно с окраской, или после крашения. Наиболее рационально протравлять перед крашением, так как в этом случае вероятно имеет место химич. соединение основания протравы с кислотной группой кератина волоса,—такое химич. соединение обладает большим сродством к красителю и дает прочный лак. При протравлении и крашении в одной ванне теряется бесполезно часть красителя, осаждающегося в виде лака в красильном растворе. Каждый способ протравления можно осуществить как погружением, так и намазью. При крашении растительными красками протравляют сильнее, нежели при крашении окислительными меховыми красителями. При протравлении погружением необходимо учитывать влияние протравы на кожу. Протрава из железного купороса действует на кожу неблагоприятно; последняя грубеет и теряет прочность. Хромовые и алюминиевые квасцы улучшают свойства кожи; хромпик при применении его в небольших количествах также дает мягкую кожу, от медного купороса кожа грубеет. Для получения сложных оттенков применяют одновременно несколько протрав; смесь хромовой и железной протрав недопустима вследствие образования осадка, грязнящего волос. Протравление погружением производят в течение 3—12 ч. при $t°$ ванны 30—35°. После протравления меха перед крашением прополаскивают в воде. Мехам, протравленным намазью, дают вылеживаться в стойках; затем их сушат, протряхивают и красят.

Крашение меха, следующее за уморением и протравлением, производится двумя способами: погружением и намазью. Намазной способ применялся старинными мастерами вследствие неумения их сохранять качества кожи при окуночном крашении; в настоящее время с усовершенствованием способов крашения намазной способ вытесняется окуночным, позволяющим одновременно закрашивать тысячи штук пушнины. Но и в современных условиях намазной способ крашения еще не потерял своего значения, а в нек-рых случаях он является и единственным. Это относится: 1) к крашению «под котик» черн. анилином, где сильно кислые красящие растворы не позволяют окрашивать кожу одновременно с волосом; 2) к «русской краске», применяемой для подцветки соболей, куниц, норок и для окраски серых лисиц под чернобурые. Но и при окуночном крашении намазь краски, производимая щетками или гусиными перьями, в большинстве случаев также необходима. Это объясняется тем, что при имитации «под натуру» кончикам волос приходится давать более темные оттенки, нежели пуху и основанию ости, и для этого после или перед окуночным крашением наносить краску на кончики волоса. Для неглубокой намазки применяют щетки из конского волоса; для более глубокой намазки до корня волос, т. наз. пробивки, применяются щетки из щетины и наконец для очень легкого поверхностного нанесения краски на кончики ости пользуются перьями из гусиного крыла, связанными пучком.

Крашение минеральными красками является наиболее старинным способом, применявшимся до введения в практику искусственных органич. красителей. В настоящее время сохранился только один способ крашения по этому методу—уксуснокислым свинцом в серый цвет. Сущность этого метода заключается в том, что в чешуйчатом и корковом слоях волоса осаждают нерастворимые в воде цветные неорганич. соединения по одному из следующих способов: 1) посредством обработки волоса растворами металлич. солей, разлагающихся при соприкосновении с волосом и образующих нерастворимый осадок; 2) действием растворов различных солей металлов, вступающих в обменное разложение и осаждающих на волосе нерастворимое соединение; 3) обработкой волоса легко окисляемыми растворами металлич. солей, образующими закрепляющийся на волосе осадок при окислении кислородом воздуха или окислителем. В качестве примеров можно указать на крашение марганцов кислым калием в коричнево-бурый цвет, ляписом в черный и уксуснокислым свинцом в серый. Этот метод крашения можно соединять с вытравкой для получения рисунков по цветному фону, напр. вытравкой бисульфитом по марганцовокислому калию можно получать на белом волосяном покрове белый рисунок по коричневому фону. При крашении уксуснокислым свинцом сперва протравляют волос уксуснокислым свинцом, затем обрабатывают серной печенью (смесью полисульфидов натрия и калия), причем получается серая до черной окраска от образующегося сернистого свинца; затем кончики волоса обрызгивают перекисью водорода, отчего сернистый свинец переходит в белый сернокислый свинец, и таким образом получают белые кончики волос на сером фоне.

Крашение растительными красителями. Из растительных красителей применяют главн. обр. кампеш, чернильные орешки и куркуму, затем сумах, кашу́ (катеху), экстракты красного и желтого дерева. Кампешем красят в черный и серо-голубой цвет, куркуму употребляют для желтой подцветки при крашении кампешем в черный цвет; чернильными орешками красят в черный и голубой цвета. Кампеш является до сих пор единственным красителем, которым красят меха в черный цвет окуночным методом. Кампеш поступает в продажу в виде экстрактов, жидких и твердых; из последних лучший — гематин (порошкообразный), содержащий красящего вещества в 6—7 раз более, чем древесина (см. *Красящие вещества естественные*). В качестве фальсифицирующих примесей в экстрактах встречаются глауберова соль, хлористый натрий, песок, щелочи, меласса, крахмал и дубильные вещества. Кампеш—протравной краситель и дает с протравами следующие окраски: с глиноземной—синюю, с хромовой—сине-черную, с железной—черную, с медной—зеленовато-синюю. Черный цвет получается при крашении большими концентрациями красителя; слабые концентрации дают голубой и синий цвета. Крашение в черный цвет представляет довольно сложную процедуру, т. к. из одной ванны при допустимой для мехов $t°$ крашения (при 35°) черного цвета получить не удается. Различают крашение от природы черного товара и крашение белого и пестрого товара. В первом случае только углубляют натуральную окраску волоса и добиваются получения «голубой» мездры, требуемой рынком. Во втором случае волосу дают полную черную окраску. Первый способ носит название «каракулевого хода», потому что он гл. обр. применяется для крашения черного каракуля.

Схема крашения по этому способу: 1) обезжиривание шкур в глухом барабане с сухими опилками; 2) протряхивание в решетчатом барабане; 3) крашение в растворе с переборками при $t°$ 35° (состав раствора: кампешевый экстракт 250 *г*, железный купорос 150 *г*, медный купорос 29 *г*, хромовые квасцы 7 *г*, глауберова соль 12 *г*, поваренная соль 16 *г*, таннин белый 20 *г* и вода 12 *л*); 4) окисление шкур в стойках или развешанными на шестах; 5) промывка холодной водой, отжим, мягчение мездры мягчильными составами; 6) сушка; 7) откатка в глухом барабане с сухими дубовыми опилками; 8) протряхивание в решетчатом барабане; 9) разбивка мездры на скобе; 10) чистка в глухом барабане с сухими дубовыми опилками; 11) протряхивание в решетчатом барабане; 12) вторичная разбивка на скобе с затяжкой в ширину; 13) протряхивание в решетчатом барабане; 14) правка. Крашение мехов с белой и пестрой окраской волоса производится иначе, а именно: 1) окуночное умерение едким натром 1—1½° Bé; 2) протравление (25 *г* железного купороса, 12 *г* нашатыря, 15 *г* поваренной соли на 1 *л* воды); 3) первая окраска—т. н. грунт (30 *г* кампеша, 15 *г* куркумы на 1 *л* воды $t°$ 35°; время крашения—8 ч.); 4) вторая окраска (в старую красильную ванну добавляют 10 *г* кампешевого раствора, 5 *г* куркумы, 12 *г* медного купороса и 33 *г* железного настоя на 1 *л* воды). Меха погружают на 8 ч., после чего отжимают, развешивают для окисления и снова погружают в подогретую до 35° ванну на 6 час.; затем следует промывка, мягчение мездры раствором поваренной соли с глицерином (100 *г* поваренной соли, 150 *г* глицерина на 1 *л* воды), сушка и обычная отделка.

Крашение синтетич. органич. красителями. Красители, применяемые в М. п., принадлежат к группе хинонимидных красителей. Простейший из них, *n*-фенилендиамин, продаваемый под названием урсол D или «меховая черная DC» (последняя представляет собой сульфат *n*-фенилендиамина), красит без протравы в темно-коричневый, с протравой—в черный цвет. При окислении *n*-фенилендиамина перекисью водорода в качестве промежуточного продукта получается хинондиамин HN=⟨⟩=NH, к-рый действует раздражающе на слизистую оболочку горла работающих с ним и может вызвать даже астму. Парафенилендиамин легко растворим в воде; сульфат его хуже растворим, почему при употреблении марки DC необходимо добавлять аммиак. Другой распространенный меховой краситель—*n*-амидофенол, продаваемый в виде хлоргидрата основания под названием «меховой А» или «урсол Р». Получается из фенола через нитрозофенол восстановлением последнего сернистым натрием. Хлоргидрат *n*-амидофенола хорошо растворим в воде, основание — хуже; *n*-амидофенол дает с хлорной известью фиолетовое окрашивание, переходящее при встряхивании в зеленое. При окислении перекисью водорода дает коричневую окраску серых и красноватых оттенков. *o*-Амидофенол, получаемый также из фенола, известен под названием «урсол 2G» и применяется для крашения в желтый цвет.

Всего меховых красителей существует ~40. В колористическом отношении они делятся на черные, коричневые, серые, желтые, оранжевые и оливковые. Такой сравнительно ограниченный сортимент окрасок объясняется специфическими требованиями к меховому товару, окрашиваемому преимущественно в черный, коричневый и серый цвета. Особенности окислительных меховых красителей, отличающие их от других групп, заключаются в следующем: 1) способность красить при низкой температуре (~30°) в присутствии окислители; 2) сравнительно легкая изменяемость окраски (б. ч. появление красных оттенков) под действием воздуха и света; 3) способность некоторых из них сублимироваться; 4) изменяемость цвета окраски в зависимости от степени окисления, регулируемой или количеством окислителя или временем крашения; так, NaKoRH (одна из немецких марок) при концентрации 2 *г* красителя и 40 *см*³ 3%-ной перекиси водорода на 1 *л* воды при 30° дает окраски от серо-синей до темно-коричневой с красноватым оттенком на протяжении 12 ч крашения; при повышении $t°$ ванны окисление идет быстрее и период изменения окраски укорачивается; 5) с протравами они дают более интенсивные окраски, причем каждая протрава дает другой оттенок и даже цвет, часто резко отличающийся от цвета, полученного непосредственным крашением; 6) химич. характер красильного раствора (кислотность, щелочность) влияет на оттенки, а иногда и на цвет окраски; 7) окраски на протравах более прочны, чем полученные непосредственным крашением. Окислительными красителями преимущественно красят в коричневые и серые цвета разнообразных оттенков. В черный цвет красят или кампешем или черным анилином, вследствие непрочности и недостаточной красоты черной окраски, получаемой при крашении окислительными красителями. В светлые цвета красят без протрав, в темные—на протравах. Употребляемые протравы те же, что и для растительного крашения,—преимущественно железный купорос, железный настой, медный купорос, хромпик, алюминиевые квасцы. Окислительные красители б. ч. употребляют для крашения в виде смеси из двух, трех и больше марок. Употребляемые концентрации колеблются от 0,1 до 10 *г/л* воды. Температура красильной ванны 30—35°. Время крашения для светлых цветов 2—3 ч., для темных 12—24 ч. Перекись водорода при окуночном крашении добавляется примерно в 10-кратном количестве от веса красителей, при намазном—в 20-кратном. Крашение ведут в нейтральной или слабощелочной ванне; в последней оно идет интенсивнее. В качестве щелочи обычно добавляют аммиак; щелочь, с одной стороны, способствует окислительному процессу, ускоряя разложение перекиси водорода, с другой—освобождает основания из красителей, применяемых в виде солей. Окуночное крашение ведут или в чанах или в барках с вращающимися лопастями, приводящими в движение красильный раствор вместе с товаром (в последнее время пробуют красить в барабанах). Намазное крашение проводят щетками.

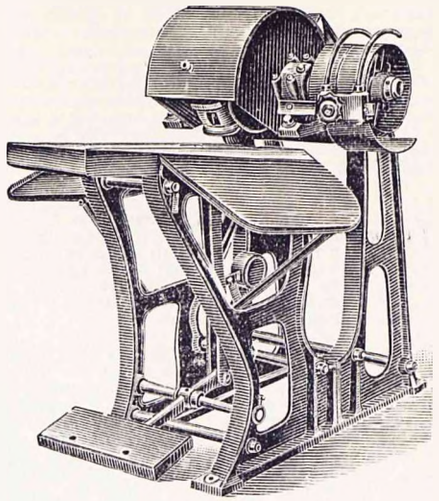
Крашение черным анилином вследствие его высокой кислотности применяется исключительно для намазного крашения верхушек волоса, хотя и существуют патенты на крашение черным анилином погружением. Один из патентов основывается на защите кожи от действия к-ты введением в ванну поваренной соли (получается своеобразный пикель). Для образования черного анилина необходимо совместное присутствие в красильной ванне анилина к-ты, окислителя и катализатора. Соответственно способу образования черного анилина последний получается с разными оттенками и разными физич. свойствами. Из способов приготовления черного анилина для мехового крашения представляют интерес: 1) одованный черный и 2) окислительный черный. Первый представляет собою окисление анилина хромпиком в кислой среде; волос, окрашенный им, груб наощупь и пачкает при трении. В меховом крашении образование одованного черного возможно во время хромирования после последней намазки черноанилиновым раствором. Окислительный черный получают при окислении анилина в кислой среде хлорноватокислыми солями в присутствии катализаторов (ванадиевокислый аммоний, медный купорос). Для уменьшения вредного влияния анилинового раствора на волокно рекомендуется добавлять уксуснокислый глинозем; действие последнего основывается на легком связывании соляной к-ты. Для окислительного черного, обычно применяемого в крашении мехов, чаще всего пользуются анилиновой солью; последняя д. б. возможно бела, т. е. не слишком сильно окислена, для того чтобы окраска получалась красивая и прочная к трению. Вызревание применяется при вылеживании товара и в сушилках при показаниях психрометра: $t°$ сухого термометра 30°, влажного 25°. В смысле ускорения процесса крашения, т. е. уменьшения числа намазок, лучшие результаты получаются с применением ванадиевых солей в качестве катализаторов. Существует ряд других, менее употребительных способов образования черного анилина. Главнейший из них—способ Прюдома, основанный на применении желтой кровяной соли, добавляемой в окислительный анилиновый раствор. Крашение волоса черным анилином встречает затруднения в основном характере кератина. Для нейтрализации восстанавливающих свойств кератина, препятствующих окислительным процессам крашения, предложен целый ряд предварительных обработок шерсти, сводящихся к окислению ее различными окислителями, как то: хромпиком, перманганатом, хлорной известью. По последним наблюдениям лучшие результаты дает подготовка перекисью водорода (Н. В. Булгаков).

Наиболее обширное применение черный анилин находит в крашении «под котик». Метод крашения под котик заключается в следующем. Приготовляют я два раствора: один на холоду из анилиновой соли (70 *г* на 500 *см*³ воды), другой при нагревании, содержащий на 500 *см*³ воды 30 *г* хлорноватокислого натрия (или калия), 20 *г* нашатыря, 15 *г* медного купороса и 0,01 *г* ванадиевокислого аммония. Охладив растворы до темп-ры 15°, сливают вместе и полученной смесью красят, нанося ее на поверхность волосяного покрова меха щеткой. При этом следят, чтобы раствор не проникал в кожу, так как он действует на нее разрушающе. Окрашенные шкурки складывают в стопки волосом к волосу, выдерживают для вызревания черного анилина и сушат. Получается светло-зеленая окраска от образования эмеральдина. После сушки волос очищают от осевшей на его поверхности краски, откатывая шкурки в барабане. Затем повторяют крашение снова в том же порядке до 4 раз; при этом светлозеленая окраска постепенно переходит через темнозеленую в черную соответственно образованию промежуточного продукта окисления нигранилина и конечного—черного анилина. После того как образуется черная, слегка зеленоватая окраска, мех хромируется намазью щеткой раствором 25 *г* хромпика в 1 *л* теплой воды. Хромирование применяют для получения незеленеющего черного анилина. После этого следует сушка и крашение незакрашенных оснований волос (пуха) в требуемый рынком вишнево-красный или золотисто-желтый цвет. Крашение производится окислительными меховыми красителями обычным методом: дают

окуночное уморение слабым раствором кальцинированной соды (5 *г* на 1 *л* воды), промывают до нейтральной реакции, протравляют хромпиком (5 *г* на 1 *л*) с добавлением уксусной к-ты и красят «меховым черным DC» или «урсолом D» с аммиаком (для вишнево-красного цвета). После крашения меха производят промывку, мягчение и подкраску мездры в красный цвет, сушку и обычную отделку, отличающуюся только более длительной и внимательной откаткой в барабане с опилками с целью получения хорошего блеска на волосе.

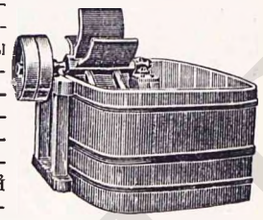
Крашение субстантивными, кислотными и основными красителями. Этот род крашения применяется исключительно для получения ярких цветов—красного, синего, зеленого и т. п. для декоративных целей, театральной бутафории, ковров, отделок для дамского платья. Перед крашением меха задубливают хромовым одновановым способом, чтобы иметь возможность красить при повышенной $t°$ (до 50°), и затем для получения ярких окрасок хлорируют волос раствором хлорной извести $^1/_8$—$^1/_4$° Bé. После обработки хлорной известью в течение 20 мин. обрабатывают слабой соляной к слотой в течение 10 мин., промывают и в заключение, для удаления остатков хлора, обрабатывают раствором гипосульфита. После такой предварительной обработки меха красят в растворе соответствующего красителя при $t° \sim 60°$.

Вспомогательные процессы при крашении мехов. Сушка мехов производится при 35° в тех же условиях, что и при выделке. Промывка производится б. ч. в промывном сетчатом барабане, вращающемся в деревянном или каменном бассейне, наполненном водой, со скоростью 9—10 об/м. Отжим осуществляется на центрифуге. Отволаживание производится опрыскиванием мехов с мездры водой, после чего они лежат в стопках, или же меха откатывают в глухом барабане с влажными опилками. Конструкция барабана такая же, как и в сырейном производстве. В таком же барабане производится отминка, или откатка, шкур с сухими дубовыми, буковыми, пальмовыми и другими твердых несмолистых пород опилками—для очистки волоса от поверхностно приставшей краски и для его полировки. Полировка волоса имеет существенное значение в крашении мехов, особенно при крашении под котик. Для разбивки применяются такие же скобы, как в сырейном производстве, а также разбивочные машины различной конструкции (фиг. 3). Правка имеет целью придание мехам формы, принятой в торговле, растягиванием их руками. Окуночное уморение, протравление и крашение производятся в овальных гашпилях с вращающимися лопастями (фиг. 4). Намазное крашение в крупных предприятиях производится в настоящее время машиной (фиг. 5), в которой намазка осуществляется круглыми вращающимися щетками. Производительность такой машины—до 8 000 шкур кошки за 8 ч. Она применяется в производстве мехов под котик. Для нежной поверхностной окраски широко практикуется применение шприц-аппаратов. Наиболее механизированным является производство мехов под котик. При окраске под котик шкуры кролика, кошки, собаки и других подходящих видов сырья

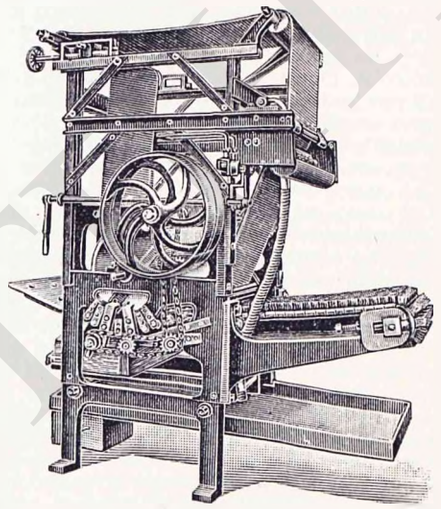


Фиг. 3.

прежде всего подвергаются стрижке волоса на высоту 15—16 *мм*. Стрижка производится на стригальной машине (фиг. 6), состоящей из режущего приспособления, транспортера, подающего шкуры к режущему приспособлению *C* и *D*, и эксгаустера *E*, удаляющего по каналам остриженный волос. Ранее перед стрижкой шкуру *B* прикалывали булавками к транспортному полотну *A*; в последнее время нем. фирмами выпущены приспособления, позволяющие обходиться без прикалывания. На фиг. 7 дана стригальная машина с присасыванием шкурок к транспортному полотну воздухом. После стрижки и окраски у грубоостистых мехов

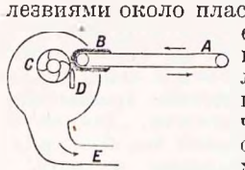


Фиг. 4.

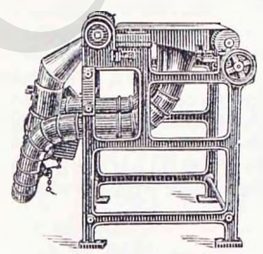


Фиг. 5.

ость выщипывается. Для этого применяется щипальная машина (фиг. 8), имеющая два ножа: один вертикальный плоский *D*, а другой слегка загнутый и укрепленный на боковой поверхности вращающегося вала *B*. При пуске машины оба ножа встречаются лезвиями около пластинки, которую огибает шкура *F*, наколотая на транспортерное полотно *A*. При огибании пластинки шкуры встречаются с вращающимися круглыми щетинными щетками *C*, которые приглаживают волос в противоположные стороны, вследствие чего и образуется пробор. В этом проборе ость, не задерживаемая щетками вследствие ее упругости, торчит в виде частокола и подрезается ножами на необходимую высоту. Труба *E* служит для отсоса выщипанного волоса. Существуют также машины и другой конструкции. Для расчесывания волоса после намазок черным анилином употребляют чесальные машины, действующая часть которых—валы, обтянутые кардной лентой или набитые щетиной. Для выколачивания мехов применяют разнообразных конструкций колотильные машины. На схеме (фиг. 9) детали машины обозначены: *A*—подушка, *B*—мех, *C*—вал с ременными жгутами и *D*—труба для отсоса пыли. Наиболее употребительной является машина, в которой



Фиг. 6.

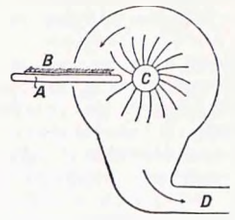


Фиг. 7.

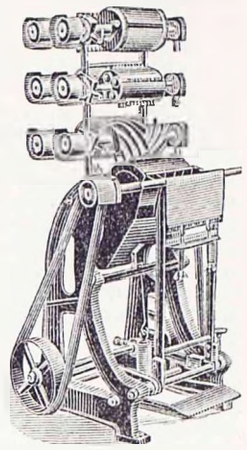
Фиг. 8.

меха выколачиваются ременными круглыми жгутами, укрепленными на вращающемся валу. При движении вала ремни бьют по подушке, на которую кладется мех. Пыль удаляется эксгаустером в приемник. На фиг. 10 дана универсальная машина, применяемая в М. п. для обработки мехов, выполняющая различные отделочные операции, а на фиг. 11—машина для разглаживания волоса и полировки его.

Беление мехов представляет собой частный случай М. п., когда встречается необходимость в уничтожении желтых оттенков в белых от природы мехах или в уничтожении природн. окраски мехов с целью крашения их в светлые цвета. В отбелку из белых товаров поступает три вида меха: горностай, белый песец и белый медведь. Методы беления делятся на 2 группы: 1) окислительные и 2) восстановительные. Первые основаны на применении окислительных химич. веществ (перекись водорода, перекись натрия, перборат натрия, марганцовокислый калий). Восстановительные методы основаны на применении восстановительных химич. средств (бисульфит натрия, сернистый газ, гидросульфит натрия в порошке, бланкит—гидросульфит фирмы BASF). Окислительные методы дают более прочную бель, нежели восстановительные. Наилучшие результаты получаются при комбинированном применении окислителей и восстановителей. Из окислителей лучшим средством является перборат натрия — $NaBO_3 \cdot 4\,H_2O$, затем перекись водорода. От способа беления требуется, чтобы, давая белизну волосу,

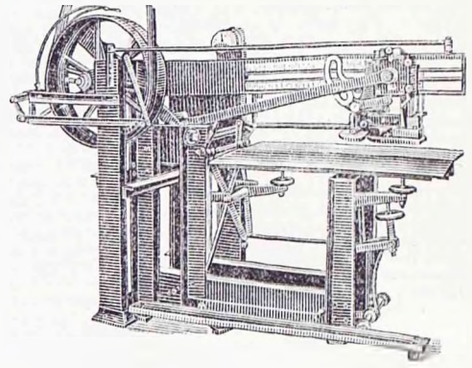


Фиг. 9.



Фиг. 10.

он в то же время не ухудшал качеств последнего, т. е. не отражался на его блеске, форме, упругости и скользкости. Между тем употребительные способы беления при сильной отбелке разрушающе действуют на волос, деформируя его поверхность. Поэтому в практике беление ведут очень осторожно—при слабых концентрациях растворов и при невысокой $t°$. Примерные рецепты окислительного беления: 1) обезжиренные слабой щелочью и промытые шкурки погружают в раствор 500 *см*³ 3%-ной перекиси водорода, 500 *см*³ воды и 1 *см*³ технич. аммиака (25%-го)



Фиг. 11.

на сутки при 30°; затем промывают и сушат: 2) погружают обезжиренные и промытые шкурки в раствор 5 *г* марганцовокислого калия в 1 *л* воды на 4—6 ч. при 30°; вынимают, отжимают и погружают в раствор бисульфита (20 *см*³ бисульфита 38° Bé на 1 *л* воды), после чего промывают. Реакции идут по следующим уравнениям:

$$2\,Na_2O_2 + 2\,H_2SO_4 = 2\,Na_2SO_4 + 2\,H_2O_2 = 2\,Na_2SO_4 + 2\,H_2O + O_2,$$

$$4\,NaBO_3 + 8\,H_2O = 4\,H_2O_2 + 4\,NaH_2BO_3 = 4\,H_2O_2 + Na_2B_4O_7 + 2\,NaOH + 3\,H_2O.$$

При белении восстановительными методами поступают сл. обр. При белении сернистым газом обезжиренные и промытые шкурки во влажном виде развешивают в камере на

шестах. Зажигают серу и закрывают камеру. На другой день камеру вентилируют, снимают шкуры, промывают в воде и сушат. Беление бисульфитом натрия: погружают на сутки шкуры в раствор 20 *см*³ бисульфита натрия 38° Bé в 1 *л* воды с добавлением 5 *см*³ крепкой соляной к-ты, после чего промывают. Беление гидросульфитом натрия: погружают шкуры на сутки при 30° в раствор, составленный из 10 *г* гидросульфита натрия, 5 *г* фосфорнокислого натрия, 3 *г* кальцинированной соды и 1 *л* воды, после чего промывают. Благотворное действие при белении оказывают солнечные лучи. На их действии основано луговое беление.

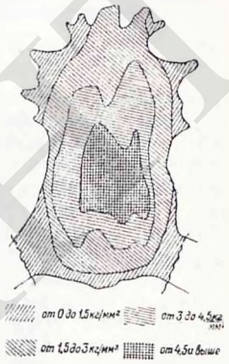
Товарные свойства мехов и их исследование. Свойствами мехов, определяющими их товарную ценность, являются: прочность волосяного покрова и кожи, тягучесть, теплопроводность, воздухопроницаемость и промокаемость кожи, вес единицы площади и размер шкуры, густота опушения и длина ости и пуха в разных частях шкуры, цветность и прочность окраски к свету, трению и хранению, прочность волосяного покрова к свойлачиванию.

Под прочностью волосяного покрова понимается прочность связи волоса с кожей и прочность самого волоса на излом; первая зависит от того, насколько прочно сидит волосяная луковица в сумке. Существует природная прочность, зависящая от видовых свойств зверя, например мех неблюя (молодого оленя) почти всегда обладает «теклым» волосом, который лезет при незначительном об него трении, напротив, волос выдры сидит в мездре чрезвычайно прочно. В различные сезоны года у животного прочность связи волоса с кожей также различна; максимума она достигает обычно зимой к концу осенней линьки, а минимума весной, когда идет смена зимнего волоса на летний. В выделанных и окрашенных мехах эта прочность уменьшается или увеличивается. Уменьшается она: 1) от хранения мехового сырья в теплом и влажном помещении, вследствие развивающихся в коже процессов гниения, 2) от слишком медленной сушки при консервировании и 3) в производстве, от слишком сильного разрыхления дермы во время процесса квашения при выделке, от слишком энергичного действия щелочей в процессе уморения при крашении. Увеличивается прочность: 1) после дубления хромовыми и алюминиевыми солями, растительными таннидами, формалином, 2) после обработки раствором поваренной соли и 3) после протравления металлич. солями. Прочность волоса на разрыв определяется динамометрами, изготовляемыми специально для этой цели. Прочность связи волоса с кожей м. б. определена с помощью прибора, в к-ром волос прочесывается цилиндрич. щеткой; сравнивая потерю волоса в разных мехах в одно и то же время, можно установить относительную прочность волосяного покрова. Теплопроводность мехов определяется в приборе, представляющем собой медный цилиндр, открытый с одной стороны и помещенный в сосуде. В цилиндр наливают воду $t°$ 45°, а на цилиндр надевают чулок, сшитый из меха, волосом наружу. Сверху цилиндр закрывают пробкой, через к-рую проходит термометр. В сосуд набивают лед, изолированный от меха проволочной медной сеткой. Сосуд внизу имеет кран, через к-рый спускается вода, образующаяся при таянии льда. На основании наблюдений падения темп-ры в цилиндре за определенные промежутки времени составляются кривые падения $t°$, характерные для данного вида мехов. Тепловые свойства мехов относительно друг друга могут быть выражены в виде функции скорости падения $t°$ при прочих равных условиях. Прочность кожи мехов на разрыв и удлинение ее в момент разрыва определяются методом, принятым в кожевенном производстве, т. е. разрывом ремней при определенной влажности на специальной машине. Удлинение, установленное при разрыве, может характеризовать тягучесть кожи мехов, или так называемую потяжку, при условии, если меха предварительно были растянуты одинаково по всей площади. В противном случае цифры получаются противоречивыми: жесткое нерастянутое место кажется более тягучим, чем мягкое, но растянутое. Работы в отношении исследования цветности, белизны и блеска (работы со ступенчатым фотометром) находятся еще в зачаточном состоянии. Прочность окрасок к свету, трению и хранению определяют обычными методами, принятыми в текстильном производстве. Размер шкур определяется планиметром. Химич. и механич. анализы мехов находятся в стадии предварительных опытов (работы Стандартной меховой комиссии при НТУ ВСНХ СССР под руководством автора данной статьи).

Методы анализа для большинства показателей в отношении кожи м. б. взяты из ВЕМ (Всес. единого метода исследований кожи); не подходит для мехов лишь анализ на промокаемость, вследствие чрезвычайно быстрого истечения жидкости. Данные по механич. и химич. анализам исследованных выделанных шкур приведены в табл. 4. Топография шкур представлена картограммами (фиг. 12, 13 и 14).

Овчинношубное производство. Овчинношубное производство перерабатывает шубные сорта грубошерстных овчин на различные наголь ные изделия, т. е. такие, в которых овчина носится мездрой наружу. Главнейшие изделия—пиджак, шуба со сборами и тулуп — разделяются на изделия красной дубки, пошиваемые из краснодубной овчины, и изделия черной дубки из черной овчины. В нек-рых окр. Украины вырабатывают и носят изделия из беленой квашеной овчины. Особенно ценятся изделия черной дубки из романовской овчины, отличающиеся легкостью, теплотой, нежностью и красотой завитого волоса серо-голубой окраски. Методология производства шубных овчин в настоящее время переживает период коренной ломки, выражающейся в переходе от сложившихся веками кустарных форм к заводским процессам с разделением труда и применением механизации. Производство на лучших з-дах СССР распадается на следующие процессы. 1) Отмока—производится в бетонных чанах прямоугольной

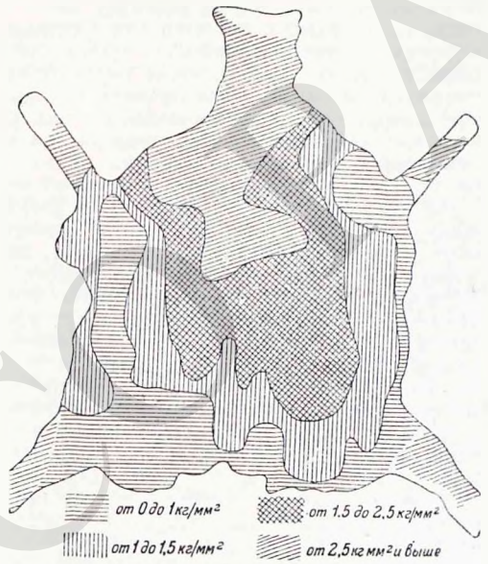
Фиг. 12.



Фиг. 13.

формы; продолжительность отмоки находится в зависимости от способа консервирования сырья: для мороженого—4 ч., мокросоленого—12 ч. и пресносухого—2 суток (в среднем). После отмоки следует промывка в латном барабане. 2) Мездрение—обычно производится вручную мездряком или косой на колоде. В последнее время на Барнаульском овчинношубном з-де успешно применена машина для мездрения типа Турнер № 205 У с ручным подмездриванием пашин и лап на колоде. 3) Квашение — производится хлебными киселями. Общеупотребительный метод — квашение в

чанах при $t°$ 35° в течение 5—6 суток с ежедневными переборками. На Барнаульском з-де впервые применено квашение в барабанах-гигантах, причем время квашения сократилось для пресносухой овчины до 2 суток, для мокросоленой до 1½ суток. Барабаны вращаются (периодически по 10—15 мин.) в течение часа, со скоростью 4—5 об/м.



Фиг. 14.

В случае выделки овчины в чанах поступают различно, напр. так: половину потребного количества муки заваривают горячей водой (~ 80°), тщательно размешивают и выливают в чан, в к-ром находится старый кисель, добавляя полное потребное количество поваренной соли; на другой день погружается в чан другая половина муки, также заваренная горячей водой; после того как кисель приготовлен, берут обмездренные овчины, перегибают по хребту внутрь волосом, окунают в приготовленный кисель и укладывают овчину в другой чан или получан одну на другую пластами. По заполнении чана его заливают остатками киселя. Темп-ру киселя поддерживают ~ 35—43°. Наиболее высокая $t°$ допустима для пресносухой степной овчины, наиболее низкая для мороженой. Квашение продолжается 5—6 дней с 2—3 ежедневными переборками, при к-рых овчины выбирают из чана и после «прокупывания» в киселе складывают в обратном порядке в другой чан или получан. 4) Отжим. После квашения овчина отжимается от излишка киселя в центрифуге. 5) Сушка—производится в специальных сушилах при $t°$ 40°. Овчины вешают на шесты вдоль хребта с посадкой по ширине (овчину оттягивают вниз, собирая ее складками к голове), сначала бахтармой наружу, а затем волосом. Сушила для новых з-дов проектируют разного типа; удобны сушила камерного типа с вагонетками, на к-рые ставят рамы с набитыми на них с двух сторон овчинами. Вагонетки вдвигают в камеру с одного конца и выгружают с другого; т. о. процесс сушки идет непрерывно. В другом типе проектируемых сушил, проверенном в М. п., используются в качестве транспортера овчин внутри камеры цепи Галля, расположенные по бокам камеры, с шестами для завески овчин. Продолжительность сушки в камерных сушилах с побудительным обменом подогретого воздуха—10—14 ч. 6) Отволаживание—заключается в опрыскивании сухих овчин из пульверизатора водой или жидким киселем и выдерживании после этого в штабелях в течение суток. Овчины при этом размягчаются и становятся эластичными. 7) Отделка набело—производится на разных з-дах различно. Старый метод состоит в обработке сначала крюком, представляющим собою железную пластинку с рукояткой и веревочной петлей, привязанной к нижнему концу крюка; затем следует подсушка в течение 1 ч., опять отминка крюком и в конце подчистка мездры острой косой на колоде или скребком в пялах и чеса волоса ческом. Новые методы основаны на применении машин. Здесь возможны различные варианты, например: разводка на разводной пятистольной машине для кожпроизводства, подсушка, отминка на тянульной машине типа Менус 333, строжка на машинах Безлепкина (Сибирь), выбивание пыли на колотильной машине и пушение бахтармы на машине типа Менус 3108. Другой вариант: откатка в барабане, отминка на тянульной машине типа Менус 333, подсушка, вторичная отминка на машине, пушение на машине типа Менус 3108. Наконец начали применять для отминки лопаточную машину Менус тип № 317, с предварительной откаткой овчин в барабане, и разбивочную машину (фиг. 4) системы Велинга, непосредственно после отволаживания овчин. Разбивочная машина с успехом применяется для разбивки жеребка и козлины. Отделку машин и лап производят на пушильных машинах № 130 сист. Турнера. 8) Обезжиривание, примененное впервые в СССР (Барнаульский з-д), производят бензином в экстракционном аппарате Гольцери-Гримма с 4 экстракторами. Производительность такого аппарата при непрерывной работе—4 200 овчин в сутки. Аппарат состоит из экстракторов, где извлекается из овчин жир бензином, дистиллятора для отгонки бензина от жира, бензиноуловителей и бака для чистого бензина. После обезжиривания овчины содержат в коже ~5% жира. Выход жира с овчины в среднем 180 *г*. Для обслуживания аппарата требуется лишь 3 рабочих. Старый метод обезжиривания, принятый еще на всех старых заводах, заключается в намазывании пасты из глины на бахтарму овчины, сушке в сушилах и сбивании глины палками. Эти процессы в зависимости от жирности овчин повторяются до 6 раз. Себестоимость обезжиривания по этому методу приблизительно в 4 раза выше, чем обезжиривание в экстракторах бензином. Обезжиривание глиной нерационально, так как это процесс длительный, грязный и сопряженный с потерей всего извлекаемого из овчин жира. Обезжиривание глиной производится не после отделки набело, а сейчас же после сушки квашеной овчины. Понятно, что обезжиривание сырья непосредственно после мездрения перед квашением техноло-

гически более целесообразно, но опыты с аппаратом Гольцери-Гримма дали в этом случае плохие результаты. В случае обезжиривания бензином пушение бахтармы машиной производится после обезжиривания. Полученный товар называется белоквашеной овчиной и может быть употреблен в качестве подкладочного меха с покрытием снаружи тканью. Для нагольных изделий такая овчина непригодна, т. к. не выдерживает намачивания. Для этой цели овчина дубится или красится.

Красное дубление. Отделанная набело овчина дубится б. ч. ивовыми соками крепостью $^1/_2$—$1^1/_2°$ Bé. Ранее существовало три способа дубки: сыпной, соковый и намазной. В настоящее время повсеместно применяется только соковый метод. Это объясняется тем, что сыпной способ длителен (от 7 до 14 суток), а намазной дает незначительный продуб. Соковый способ позволяет получить продуб на $^3/_4$ толщины кожи и в то же время отнимает мало времени—до 3 суток в чанах и сутки в барабане. Дубление ведется свежими ивовыми соками при темп-ре 25—35° с добавлением поваренной соли для предотвращения образования нажора. При дублении в барабане последний, во избежание свойлачивания волоса, вращается периодически со скоростью 4—5 об/м. Преимущество барабана в том, что при нем исключаются переборки и ускоряется процесс дубления. После дубления овчины отжимают, сушат, отволаживают и отделывают так же, как и квашеную овчину. В табл. 4 приведены анализы овчин красного дубления.

Табл. 4.—Анализы овчин красного дубления разных заводов (в переводе на сухое вещество в %). (Щеголев.)

Характеристики	Заводы				
	Читинский	Омский	Барнаульский	Вятский	Семипалатинский
Влажность (действительная)	10,50	14,00	12,85	10,41	11,73
Зола	7,84	4,00	1,72	9,83	3,84
Жир	9,48	10,87	14,46	13,27	10,43
Общие вымываемые вещества	3,78	4,41	2,87	1,34	7,99
Гольевое вещество	72,61	75,04	69,99	65,73	65,21
Связанные дубящие вещества	6,19	5.68	10,96	9,83	12,53
Коэф. продуба	9	8	16	15	19

Щеголев предлагает принять следующие нормы для овчин красного сквозного дубления (в переводе на сухое вещество в %): воды ⊳14, золы ⊳4, жира ⊳12, общие вымываемые, органич. и неорганич., вещества 7, гольевое вещество 57—67, коэф-т продуба 34. Состав бараньей краснодубной кожи, по Шредеру (в переводе на сухое вещество): 2,28% золы, 7,52% жира, 8,58% органических вымываемых веществ, 10,58% азота, 61,89% гольевого вещества, 19,53% связанных дубящих веществ, коэф-т продуба 32.

Черное дубление овчин производится теплым раствором кампешевого экстракта на протраве из хромпика намазью со стороны бахтармы. Порядок дубления, точнее крашения, следующий. Овчина намазывается со стороны бахтармы раствором кампеша и сейчас же поливается раствором хромпика, в результате чего образуется на коже хромовый лак кампеша черного цвета. Овчине дают лежать 6 ч., а затем сушат. После сушки отволаживают, отминают крюком или на машине, подсушивают, вторично отминают, растягивают косой на колоде и вторично красят. После окраски дают лежать, промывают с поверхности бахтармы, оберегая от смачивания волос, сушат и отделывают так же, как и после первого крашения, сбрызгивая в заключение бахтарму деревянным или льняным маслом и надирая ворс жесткой щеткой. Масловка дается для оживления и утемнения окраски. В последнее время начинает входить в употребление более быстрый способ черного дубления, заключающийся в том, что овчины пропитывают со стороны бахтармы кампешем, дают лежать ~ 3 ч. для лучшего проникновения раствора в кожу, вторично пропитывают кампешевым раствором и обрабатывают хромпиком. После окраски следует промывка со стороны бахтармы, сушка и обычная отделка. Этот способ имеет значительные преимущества, т. к. получается большая экономия в площади сушил, количестве машин и времени обработки. Состав раствора: кампеша 40 *г*, хромпика 10 *г* на 1 *л* воды. Все попытки замены кампеша отечественными красителями, произведенные до сих пор, мало удовлетворительны, что объясняется высокими качествами кампеша как красителя. Большинство суррогатов, предлагаемых взамен кампеша, основывается на применении краски нигрозина, черной для валяной обуви, черной с добавкой желтых красителей для хромовой кожи в устранение синеватого оттенка в окраске. На отделанной овчине эти окраски выглядят пустыми и белесыми. В самое последнее время удалось получить хорошие результаты при крашении нигрозином, черной для хромовой кожи, а также другими черными анилиновыми красителями предварительно поддубленной ивовым соком овчины.

Хромовое дубление. Хромовое дубление представляет большой интерес для мехового и овчинношубного производства, главн. обр. вследствие высокой $t°$ (90—100°) сваривания хромовой кожи. Такой мех или овчину можно красить при темп-ре до 60°, что позволяет расширить ассортимент красителей для окраски волоса в светлые цвета и применить для овчинношубных изделий методы крашения хромовой кожи. Недостатком хромового дубления является нек-рое уменьшение площади мехов по сравнению с хлебным и пикельным способами обработки. Для М. п. представляет интерес только однованное хромовое дубление. Двухванный способ неприменим по причине загрязнения и загрубевания волоса от хромовых солей, весьма энергично усваиваемых волосом из первой ванны, содержащей хромовую кислоту. Окраска волоса при этом получается неприятного буро-зеленого цвета. Однованный способ, напротив, совершенно не отражается на волосяном покрове, так как соли окиси хрома шерстью и волосом почти не усваиваются. Это видно из табл. 5, показывающей поглощение волосом и кожей Cr_2O_3 при дублении овчины различными методами (в % от веса кожи при 18% влаги).

Табл. 5.—Поглощение волосом и кожей Cr_2O_3 (в %).

Автор	Кожа	Шерсть
Двухванное дубление		
Шульц	2,19	2,90—3,20
Ламб	2,91	3,74—3,78
Эйтнер	2,16	2,95—3,29
Однованное дубление		
	1,55—3,85	0,12—0,16

При двухванном дублении волос поглощает Cr_2O_3 значительно больше, чем кожа; обратное соотношение имеется при однованном дублении. Однованное хромовое дубление может вестись в очень разнообразных комбинациях. В качестве типичного примера дубления, дающего хорошие результаты, можно привести следующий. 1) Отмока, промывка и мездрение, обычные для обрабатываемого вида сырья и консервировки. 2) Мягчение мягчителем МК (хим. з-да Всес. кожевенного синдиката) в гашпиле при $t°$ ванны 35° в продолжение 1—2 ч. Мягчителя берется 1,5% от веса обмездренной и обтекшей овчины. После мягчения шкуры промывают в свежей воде при $t°$ ~ 28°. 3) Пиклевание. Составы пикеля разнообразны. При расчете на литраж употребляют пикель состава: раствор поваренной соли 8°Bé с добавлением H_2SO_4 (9—10° Bé) и вода. При расчете от веса овчины можно употреблять пикель состава: 400% воды, 10% соли поваренной и 1% купоросного масла (H_2SO_4, 66° Bé). Время пиклевания—в чанах ~2 сут. при $t°$ 25°, в барабане с периодич. вращением —1—2 ч. Вопрос о режиме пиклевания является в настоящее время спорным, т. к. соотношения воды, соли и к-ты, принятые в кожевенном производстве, не м. б. механически перенесены в М. п. вследствие значительно бо́льших жидкостных коэфициентов в последнем (увеличение в 4—5 раз) и кроме того пикель в хромовом производстве играет несколько иную роль, выражающуюся, с одной стороны, в нейтрализации голья перед дублением, с другой—в создании кислой реакции в голье для регулирования поглощения хромовых соков. В М. п. пикель (кроме указанных моментов) играет также важную роль в смысле расщепителя кожной ткани и придает ей мягкость и тягучесть. В кожевенном производстве голье достаточно подготовляется в этом смысле во время золки, чего нет напр. в М. п. Поэтому вопрос о концентрации пикеля и времени пиклевания является пока открытым. 4) Хромирование производится хромовым экстрактом основностью ~32 с содержанием ~2% Cr_2O_3 от веса пиклеванных и обтекших овчин при добавлении к экстракту 3—8% поваренной соли во избежание нажора. Время дубления в барабане: 3 ч. при вращении и 12 ч. в неподвижном состоянии. Далее следуют: вылеживание на козлах до трех суток для лучшей фиксации хрома, промывка в воде при $t°$ 30°, нейтрализация бурой (2% от веса пиклеванных овчин), промывка в воде $t°$ 25°, обтекание или отжим, жировка жировой эмульсией (сульфированной ворванью или хромойлем) в количестве 1% от веса овчин и сушка. Высохшие овчины подвергают отделке, аналогичной с отделкой краснодубных овчин. Для придания хромовой овчине большей тягучести хромовое дубление комбинируют с обработкой алюминиевыми квасцами. Последние добавляют в пикель, или дают после пиклевания перед хромовой ванной ванну из алюминиевых квасцов (2—4%) и поваренной соли, или алюминиевые квасцы прибавляют прямо в хромовую ванну. Для придания коже замшевидности пробуют отлагать серу в кожной ткани, давая перед дублением гипосульфитную ванну (5%). Изложенный метод сокращает процесс дубления по сравнению с краснодубным с 20 до 10 суток. Овчина хромового однованного дубления имеет голубоватую окраску бахтармы. Последняя м. б. перекрыта крашением (дополнительно окрашена второй раз) в желто-красную под цвет натуральной краснодубной овчины или в черный цвет. Для крашения щетками под краснодубную рекомендуется краска кислотная коричневая 5G и коричневая для хромовой кожи G в количестве 1 *г* на *л* воды $t°$ 40—45°. Крашение в черный цвет производится кампешем с хромпиком, так же как и белоквашеной. Практич. применение в последнее время нашел другой метод хромового дубления — намазной (Вятский государствен. з-д). Этот метод заключается в том, что овчину, выквашенную и отделанную обычн. образом, смазывают со стороны бахтармы хромовым экстрактом 8° Bé, дают лежать 3 ч., вторично смазывают экстрактом 12° Bé, дают лежать ночь, жируют, сушат и отделывают как обычно (в этом методе отсутствует нейтрализация). В М. п. хромовое дубление играет пока только вспомогательную роль вследствие того, что: 1) тягучесть кожи в меховом деле играет несравненно бо́льшую роль, чем в овчинношубном производстве; 2) дубность кожи для мехов имеет второстепенное значение; 3) крашение мехов при низкой $t°$ удачно разрешается с помощью окислительных меховых красителей (урзолов). Все же хромовое дубление в крашении мехов используется в качестве поддубливания для повышения стойкости кожи к действию красительных растворов. От этого поддубливания зависит мягкость кожи в готовом товаре. Если поддубливание производят намазью, то комбинируют его со смягчением кожи. Чаще всего употребляется раствор поваренной соли с глицерином (обычный состав) с добавлением 5 *г* хромовых квасцов, 100 *г* поваренной соли и 150 *г* глицерина на 1 *л* воды. Только при крашении в «фантазийные» цвета субстантивными, кислотными и основными красителями дают полное продубливание мехам. Для этого можно рекомендовать тот же метод, что и для овчин.

Производство меховых щипаных овчин. Овчины курдючн. овец, т.н. степные, а иногда и кавказские, черкасские, русские зимней резки, обладают большим количеством пухового волоса. Выщипывая из таких овчин ость и оставляя один пух,

получают овчину, значительно облагороженную, которая после завивки, крашения или беления идет в продажу как меховой товар «для низов» под различные верхние теплые изделия. Производство меховой овчины во многом сходно с производством шубной овчины. Овчина выквашивается хлебным киселем и отделывается одинаково с шубной, только после отделки мездры следуют специальные операции: 1) выбивание волоса прутьями, 2) проческа волоса ческом, 3) отволаживание бахтармы теплой водой 30—35°, 4) щипка ости рукой, 5) сушка овчины при 40°, 6) вторичное отволаживание, 7) разминка крюком, 8) подсушка, 9) обработка в барабане с л е к в а с о м (обожженный гипс) и протряхивание, 10) подминка крюком кожи, 11) подчистка бахтармы косой, 12) выбивание волоса от пыли, 13) стрижка волоса ножницами, 14) расческа волоса щеткой из кардной ленты, 15) беление овчины в барабане с леквасом и протряхивание, 16) удаление остатков ости деревянным тупиком на колоде, 17) трепание волоса деревянной трепалкой для поливровки волоса и для удаления остатков ости, 18) «вспрыскивание» водой волоса под завивку, 19) беление сернистым газом в камере, 20) сушка при 40°, 21) беление леквасом в барабане и протряхивание, 22) отминка крюком и 23) разбивка на колоде.

Лит.: Б у л г а к о в Н., Меховое производство, М., 1928; Н е с т л е р К., Выделка и крашение мехов, пер. с нем., М., 1928; К е н и г Ф., Выделка и крашение мехов за границей, пер. с нем., М., 1924; П е т р о в Н. П., Химическая технология волокнистых материалов животного происхождения, М., 1924; Е г о р к и н П. И., Крашение и отделка овчин и зверковых шкур, 2 изд., М., 1925; М е й е р Э. Ф., Кроличьи шкурки и их выделка на мех и кожу, М.—Л., 1929; В и л ь с о н Д. А., Химия кожевен. производства, пер. с англ., Л.—М., 1927; С т а ш е в с к и й А. К., Выделка и крашение мехов, «Пушное дело», Москва, 1927—30; Ц е р е в и т и н о в В. Ф., Опыт исследования влияния различных умерителей на структуру волоса песчаного суслика, там же, 1930, *1*; Щ е г о л е в В., Химический анализ овчин красного дубления, «Вестник кожевенной промышленности и торговли», М., 1928, *10*; Б у л г а к о в Н. В. и С а п е г и н Ф. В., Хромовое дубление шубных овчин по двухванному методу, там же, 1929, *5*; Х а ц е т и Б., С д е р и х и н Г., Разработка технологического процесса овчинношубного производства, там же, 1929, *6*; М о р г у л и с А. и Ц у к е р м а н Б., Хромовое дубление овчины, там же; С л е п о в В., К разработке технологич. процесса овчинношубного производства, там же, 1929, *9*; Заочные овчинномеховые курсы ВСНХ и Всекопромсоюза, Москва, 1929, 1930; Р о з е н б е р г Л. М. и Р о з е н б а у м Н. Д., Санитарные условия труда в меховом производстве, М., 1924; N e s t l e r K., Die Rauchwarenveredlung, Lpz., 1925; Handbuch f. d. gesamte Gerberei- u. Lederindustrie, hrsg. v. A. Wagner u. J. Paessler, Lpz., 1924; B e l t z e r Fr., Industries des poils et fourrures, cheveux et plumes, 2 éd., Paris, 1923; A u s t i n W., Principles a. Practice of Fur Dressing a. Fur Dyeing, N. Y. 1922.

Н. Булганов.

МЕХОВОЕ СЫРЬЕ, условный обобщающий термин для обозначения исходного шкурного материала, употребляемого в меховом деле для выделки готового фабриката (м е х а). В меховом деле различают два термина: собственно «меховое сырье» и «пушнину». К М. с. относят: группу шкур, получаемых от домашних животных или от животных, в разведении к-рых человек принимает непосредственное участие; сюда относятся каракуль, смушка, козлина пуховая, жеребок, м рлушка азиатская и русская, овчина пуховая, неблюй (шкура годовалого оленя), собака, кошка. Термином «пушнина» называют шкуры диких животных.

Количество штук добытой в СССР пушнины и М. с. за последние 5 лет представлено следующей таблицей.

З а г о т о в к а п у ш н и н ы и М. с. в СССР з а 5 л е т (в шт.).

Вид М. с. \ Годы	1923/24	1924/25	1925/26	1926/27	1927/28
П у ш н и н а					
Барсук	42 690	62 108	60 193	97 999	58 291
Белка	15 370 700	14 875 900	11 366 100	10 623 018	13 216 527
Бурундук	105 407	306 018	455 908	295 905	901 834
Волк	24 890	21 680	21 865	18 152	25 968
Выдра	3 785	4 286	5 675	8 554	8 151
Горностай	531 600	716 700	645 000	613 541	930 201
Заяц	2 368 830	2 312 360	1 570 050	8 235 870	10 582 970
Куница	66 685	56 105	57 800	39 851	47 277
Колонок	219 318	241 500	310 300	248 727	302 529
Корсак	136 685	95 017	71 635	24 567	8 948
Крот	—	1 575	10 170	214 377	1 902 477
Лисица	398 470	407 000	406 000	444 515	383 695
Ласка	32 107	30 684	43 900	30 444	178 816
Медведь	2 588	3 016	2 505	2 228	1 903
Норка	38 893	76 800	49 600	53 512	66 739
Песец	70 350	63 200	66 700	93 552	81 405
Суслик и песчаник	650 607	5 100 000	6 000 000	6 431 537	5 484 293
Сурок	585 099	622 000	731 000	759 129	611 691
Соболь	18 790	20 300	12 400	11 461	10 554
Рысь	3 905	3 001	3 675	2 570	5 362
Россомаха	1 675	1 012	1 755	1 363	1 387
Хорь	865 640	854 100	1 015 000	1 132 316	1 339 507
Шакал	8 812	14 013	10 155	10 793	11 360
Хомяк	—	—	—	603 183	3 392 395
М е х о в о е с ы р ь е					
Каракуль	—	—	531 000	890 000	1 270 000
Смушка	—	—	32 000	179 000	520 000
Козлина пуховая	—	185 000	200 000	245 000	307 000
Жеребок	—	40 000	226 000	341 000	405 000
Мерлушка азиатская	—	188 000	463 000	831 000	641 000
» русская	—	—	—	—	1 740 000
Овчина пуховая	—	—	—	35 000	49 000
Неблюй	—	10 000	—	18 000	11 000
Собака	—	—	—	1 271 000	2 788 000
Кошка	—	—	—	—	1 710 000

Пушнина и М. с. составляют значительную часть нашего экспорта; размеры его по реализационным ценам видны из следующих цифр (в руб.):

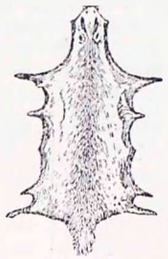
1923/24 г.	1924/25 г.	1925/26 г.	1926/27 г.
51 359 057	64 234 574	67 534 253	86 969 775

Удельный вес пушнины в общем экспорте СССР значительно поднялся по сравнению с довоенным временем (до 1914 г.)—с 1,9% в 1913 г. до 15,5% в 1927/28 г. Около 50% всей экспортируемой пушнины направляется в Германию, остальная часть в Америку, Англию и Францию. По данным за 1927—1928 годы было экспортировано из заготовленной в плановом порядке пушнины около 87%, на внутренний же рынок поступило всего 13%. Стоимость сырья, которое переработано союзной промышленностью в 1928/29 году, по заготовительным ценам составляет около 30 млн. руб.

Первичная обработка пушнины и М. с. состоит из съемки шкур, обезжиривания, правки и сушки. 1) Съемка шкур производится сейчас же после убоя несколькими способами: а) чулком с огузка, б) чулком с головы, в) пластом, или ковром. С ъ е м к а ч у л к о м с о г у з к а (фиг. 1) заключается в том, что шкуру, надрезанную вдоль задних ног до заднего прохода, выворачивают подобно чулку по направлению к голове; шкуры, снятые таким образом, имеют открытый огузок, позволяющий видеть качество волосяного покрова. С ъ е м к а ч у л к о м с г о л о в ы (фиг. 2) отличается от предыдущей тем, что первоначальный надрез делают вокруг рта по губам и шкуру выворачивают по направлению к огузку; шкура, снятая т. о., получается закрытая со всех сторон. При с ъ е м к е п л а с т о м (фиг. 3) разрез делают, начиная от нижней челюсти,

Фиг. 1.

Фиг. 2.



Фиг. 3.

по горлу и далее по брюху до заднего прохода; затем по внутренней стороне разрезают передние и задние лапы и шкуру отдирают от мяса. Рекомендуется снимать пластом шкуры медведя, неблюя, сурка, тарбагана, суслика, тюленя, нерпы, крота, крысы водяной, барсука, барса, тигра, морского котика; чулком с головы—шкуры горностая, колонка и ласки; остальные шкуры снимаются чулком с огузка.

2) О б е з ж и р и в а н и е шкур производится сейчас же после съемки, во избежание образования в дальнейшем порока, т. н. г а р и, выражающейся в «ороговении» кожи, лежащей под жировым слоем, т. е. в превращении кожи в твердый клей. Жир удаляют соскабливанием ножом, для чего шкурку надевают на правилку; шкуры крупных зверей с толстой кожей обезжиривают на деревянной колоде тупой косой.

3) П р а в к а производится сейчас же после обезжиривания и заключается в том, что шкурку надевают на правилку соответствующей формы (в случае съемки чулком) или набивают на раму (если шкура снята пластом). При этом тщательно расправляют все складки и «посаживают» шкуру, чтобы придать как форму, так и подходящий в длину и ширину размер: не слишком вытянуть в длину и не слишком распялить в ширину. Фасоны правилок разнообразны; самая простая и наиболее употребительная правилка представляет собой доску или дощечку, широкую на одном конце и суживающуюся на другом. Для удобства надевания и снимания шкур правилки делают иногда из двух половинок с клином в середине.

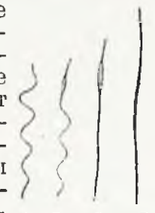
4) С у ш к а. Оправленные и посаженные шкурки сушатся. От того, как проведена сушка, в высокой степени зависит в будущем качество меха. При слишком быстрой и горячей сушке шкура пересыхает и после выделки не имеет необходимой мягкости и тягучести. Кроме того в этом случае может получиться гарь. Г о р е л о е м е с т о шкурки после выделки получается хрупким. В случае медленной сушки, в особенности при $t°$ близкой к 36°, развивается процесс гниения, и образуется т. н. п р е л ь. Места, пораженные этим пороком, характеризуются дряблостью строения и при малейшем усилии разрываются. Рациональная сушка должна производиться в тени при $t°$ около 30—35°. Другие способы консервирования применяются редко, лишь для тюленя, нерпы и морского котика, заготовляемых в мокросоленом виде.

Хранят пушнину и М. с. в прохладных складах в корзинах, на полках, в пачках, в штабелях, сложенными на подтоварниках или подвешенными к потолку. Злейшим врагом пушнины является моль. Профилактич. средством борьбы с молью является нафталин и другие пахучие вещества, напр. махорка. Эти средства действительны лишь в том случае, когда меха не заражены яичками и личинками моли. В противном случае должны применяться другие меры борьбы; простейшими из них являются выколачивание и вычесывание яичек и личинок моли вручную гибкими палками и колотильными машинами. Наиболее рациональное средство борьбы, доступное для крупных складов,—хранение мехов в холодильнике, в к-ром достаточно поддерживать $t°$ ок. −1°, чтобы личинки и яички моли погибли.

С т р о е н и е ш к у р ы. Качества шкуры в разных ее частях неодинаковы. Для большинства мехов лучшей является хребтовая часть, начиная от загривка вдоль средней линии спинки по обе стороны до черева. Но в нек-рых видах пушнины черево, б р ю ш к о, представляет самостоятельную ценность и, будучи отделено от спинки, используется после обработки в качестве самостоятельного меха. Так например, используется черево зайца-беляка, окрашиваемое под голубого песца отдельно от спинки. Основные части пушных шкур следующие: с п и н к а, или х р е б е т и к, ч е р е в о, о г у з о к (нижняя часть спинки), з а г р и в о к (верхняя часть шеи), л о б и к, д у ш к а, г о р л о, передние и задние л а п ы, х в о с т. Все части меха могут быть использованы. Например из отдельных частей белки делают хребтовые, черевьи, бедерчатые, грудковые, загривчатые, лобковые и огузчатые меха.

Волосяной покров (строение кожи и волоса см. *Кожевенное сырье*) пушных шкур состоит из 4 видов волос (фиг. 4): н а п р а в л я ю щ и х (*D*), о с т е в ы х (*C*), п у х о в ы х (*A*) и п р о м е ж у т о ч н ы х (*B*) между остевыми и пуховыми волосами. Главнейшие из них, составляющие основную массу волос и меха,—остевые и пуховые, различающиеся тем, что первые толще, грубее, длиннее и ярче окрашены. Пуховые волосы—короткие, нежные

наощупь и более густо расположенные по сравнению с остью. Направляющие волосы те же остевые, но более грубые, щетинистого характера, более длинные, расположенные в виде одиночных волос среди остевых и пуховых. Волосы на шкурке расположены группами. Глубина залегания корней остевых и пуховых волос в шкуре неодинакова: корни ости сидят глубже. Поэтому при повреждении нижнего слоя кожи прежде всего подрезаются корни ости, и волос «течет», т. е. легко выпадает даже при встряхивании. Шкуры с таким пороком называются с к в о з н я к а м и. Мездра их имеет рябой вид, подобно шкурке птицы.



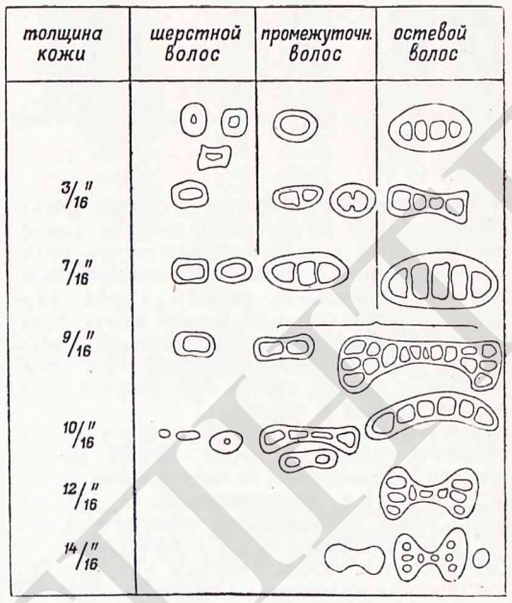
Фиг. 4.

От прочности связи луковицы *волоса* (см.) с сумкой зависит прочность связи волоса с кожей. Т. к. луковица представляет часть мальпигиева слоя эпидермиса, наиболее уязвимого при различных обработках шкуры, то отделение кератиновых частей, из которых состоит волос и эпидермис, от коллагеновых (кожи) прежде всего начинается в мальпигиевом слое и сопровождается отслаиванием эпидермиса от дермы и вылезанием волос прядями. Между клетками сердцевинного канала волоса может содержаться воздух. Форма сердцевинных клеток и количество рядов последних для различных животных разные и вполне определенные, почему могут служить одним из признаков для определения под микроскопом происхождения меха. У естественно окрашенных мехов корковое вещество содержит м е л а н и н (группа белковых веществ, представляющая пигмент волоса; нерастворим в воде и разбавленных к-тах, но растворим в разбавленных щелочах). При жизни животного волос обильно смазывается жиром, выделяемым сальными железами. Жир, смешиваясь с потом, выделяемым потовыми железами, образует жиропот. У овец количество жиропота достигает 50% всей шерсти. Форма и толщина волос у разных животных неодинакова. На фиг. 5 дано строение волоса зайца (сердцевина в средней части ости), на фиг. 6—строение волоса козы (сердцевина в средней части волоса) и на фиг. 7—формы сечения волоса исполинского кролика. В поперечном сечении волос м. б. круглым, овальным, сплющенным. Толстый волос имеет широкие волосяные сумки и потому ослабляет шкуру. Волос сидит в шкуре не прямо, а с наклоном верхушки к огузку; конец волоса обычно лишен сердцевинного канала и имеет вид сплошного наконечника. Кутикула на поверхности образует часто шишки и различных форм чешуйки. С видом и расположением чешуек связана способность волоса к свойлачиванию, блеск и

Фиг. 5.

Фиг. 6.

бо́льшая или меньшая легкость, с к-рой волос может вбирать воду и красящее вещество при обработке растворами. Сердцевинный канал присутствует обычно в грубых и прямых волосах, в тонких пуховых волосах его не бывает. Главнейшие физико-химич. свойства волоса следующие. Он медленно растворяется в разбавленных растворах к-т и щелочей. В крепких щелочах растворяется раньше, чем коллагены и эластины кожи затронутся в значительной степени. В воде не набухает и при кипячении не дает клея, в противоположность коже. При горении волос выделяет характерный запах жженого рога; от растительных волокон отличается своим отношением к кислотам и щелочам, а именно: к-ты значительно сильнее действуют на растительные волокна, а щелочи значительно сильнее на волос. При кипячении волоса в растворе едкого натра в присутствии свинцовой соли образуется черный осадок сернистого свинца. Волос способен поглощать кислоту и прочно ее удерживать. Конц. азотная к-та окрашивает волос в желтый цвет. Хлор сильно действует на волос, от чего последний желтеет, теряет способность свойлачиваться, наощупь кажется твердым и напоминает шелк тем, что



Фиг. 7.

скрипит при сжимании. Обработанный хлором волос красится гораздо легче. Волос гигроскопичен; вполне высушенный, становится ломким. При 100° волос делается пластичным и легко принимает различную форму, чем пользуются для тиснения на нем различных рисунков. При 110° он начинает изменяться, а при 130° сгорает. От действия сернистой к-ты и нек-рых окислителей (перекиси водорода, пербората натрия, озона, перманганата) окрашенные меланины волоса переходят в бесцветные вещества.

Сортировка и оценка М. с. Качества М. с. и пушнины зависят от целого ряда причин: 1) от места происхождения животного, 2) от

степени спелости волосяного покрова, 3) от цвета и оттенка волос, 4) от размера шкур, 5) от различных дефектов, пороков или других особо выделяющихся признаков. Место происхождения сильно влияет на качество сырья. Напр. белки русская и западная с опушением красноватого цвета резко отличаются от восточной якутской белки с голубовато-серой окраской. С п е л о с т ь ю ш к у р к и называется степень развития волосяного покрова. Вполне спелые получаются от животных, убитых зимою; в это время шкурки имеют густой и мягкий пух (п о д ш е р с т о к), длинную и блестящую ость, белую чистую и эластичную мездру (кожу). Шкуры зимнего боя называются п о л н о в о л о с ы м и и идут в 1-й сорт. Шкуры раннеосеннего боя имеют мездру зеленоватую, пух редкий и ость недостаточно рослую (высокую); они называются п о л у в о л о с ы м и и идут во 2-й сорт. Шкуры летнего боя имеют очень редкую и низкую ость и почти полное отсутствие пуха. Мездра у них синяя и грубая. Эти шкуры называются т о н к и м и и относятся к последнему сорту. Приемка летних шкур запрещена. Целый ряд шкур сортируется по возрасту. К таким видам относятся: жеребок, каракуль, каракульча, мерлушка, пыжик, муфлон, крымка, смушка, песец. По размеру шкуры сортируются на крупные, средние и мелкие. Размер выражается в *см²* площади шкур. Сортировка по цвету и оттенку играет для многих видов существенную роль, напр. для белки, где имеется целая гамма переходных тонов от красного к темному и голубовато-серому цвету. Помимо перечисленных качеств при оценке меха учитывается: нежность волоса, блеск волоса, рисунок, характер завитка. Пороками сырья являются прель, гарь, молеедистость (повреждение волоса молью), плешины, легко вылезающий волос (теклость) и другие повреждения, встречающиеся в отдельных видах товара (окровавленный волос, перелом на мездре и т. п.). Меховое сырье в СССР стандартизовано по линии Наркомторга. Стандарт на меха построен исключительно на основе практических данных; вопрос о научной проработке стандарта является темой современных исследований в СССР.

Лит.: Ф е д о с е е в В. Ф., Съемка и оправка пушных шкурок, М., 1927; О р л о в С., Шкурка, ее съемка и первичная обработка, Ново-Сибирск, 1925; Т в е р д о в с к и й П. Ф., Пушнина, ее виды, заготовка, сортировка, хранение и сбыт, М., 1928; Всесоюзный стандарт на пушнину и меховое сырье, 3 изд., М., 1928; Товарная энциклопедия, под ред. В. Вильямса и Ф. Церевитинова, М., 1927; П о в а р н и н Г. Г., Краткий курс кожев. сырья, М., 1923; И в а н о в М. Ф., Овцеводство, М., 1925; К а р н о в М. С., Каракулеводство в его современном состоянии, М., 1928; К у з н е ц о в Б., Строение меха и линька белки, «Изв. Ассоц. научно-иссл. ин-та», М., 1928, т. 1, вып. 1—2; Б у л г а к о в Н., Меховое производство, М., 1928; Ж и т к о в Б. М., О научной основе пушных стандартов, «Пушное дело», М., 1925, *1—2*; е г о ж е, К методике исследования пушно-меховых товаров, там же, 1928, *13—14*; Б о й ц о в Л., Опыт исследования волосяного покрова шкурок песца, там же, *6—7*; Ц а л к и н В. И., Строение волоса песчаного суслика, там же, *10—11*; М е й е р Э. Ф., Кроличьи шкуры и их выделка на мех и кожу, М.—Л., 1929; Зверобойный промысел и утилизация рыбных отбросов, под ред. В. Мейснера, М., 1929; «Пушное дело», М., 1925—29; F r i e d e n t a l, Tierhaaratlas, Jena, 1911; L i t t e r s c h e i d u. L a m b a r d t, Die Erkennung d. Haare unserer Haussaugetiere u. einiger Wildarten, Hamm, 1921; K r o n a c h e r, Neues über Haar u. Wolle, «Ztschr. f. Tierzüchtung u. Züchtungsbiologie, B., 1907, B. 1. H. 1—3; G e n o t, L'identification des fourrures, étude microscopique des poils, «La Halle aux Cuirs». P., 1925, *1—3*. **Н. Булгаков.**

МЕЦЦО-ТИНТО, ч е р н а я м а н е р а, один из старинных ручных способов гравирования; принадлежит к глубокой печати. Сущность способа заключается в нанесении на шлифованную медную пластинку сплошного «корешка» (мелкозернистой поверхности, дающей при печатании равномерный глубокочерный тон) путем особого зубчатого инструмента—«качалки»; затем при помощи шабера и гладилки производится последовательное от черного к белому просветление корешка соответственно требуемому рисунку. В настоящее время М.-т. не имеет производственного значения и отождествляется с понятием механизированного способа глубокой печати — тифдрук. См. *Гравирование*, *Репродукционные процессы* и *Тифдрук*. **Е. Тейс.**

МЕШАЛКИ, см. *Размешивание материалов* и *Смесительные аппараты*.

МЕШЕЧНАЯ ТКАНЬ, см. *Ткани технические*.

МИКАЛЕКС, жаростойкая пластич. масса на слюдяном основании, обладает высокими диэлектрич. свойствами и применяется как электроизоляционный материал. Уд. вес М. 3÷3,3; прочность на сжатие 1 200—3 900 *кг/см²*; прочность на разрыв 775÷930 *кг/см²*; прочность на изгиб 1 200—2 000 *кг/см²*; прочность в отношении удара 4—7; теплостойкость, по Мартенсу, 450°; твердость, по Бринелю, 40÷50, а при испытании склероскопом 40; огнестойкость (по Гюте) 4; теплопроводность 5,5 cal *см/см²* ск. °C; коэф. линейн. расширения 881 · 10^{-8} (при 25÷50°) и 1 140 · 10^{-8} (при 150÷175°); светостойкость оценивается по герман. системе баллом 3, влагостойкость—баллом 4; поглощение воды за 24 ч. равно 0,02%; диэлектрич. коэф. 5÷7, в нек-рых случаях 8; удельное электросопротивление 8·10^{8} Ω-*см*; диэлектрические потери при высоких частотах весьма малые; электрич. крепость значительная и равна 15÷24 kV/*мм*. М. отличается легкой и разнообразной обрабатываемостью, в частности может распиливаться, обтачиваться и т. д.

П р о и з в о д с т в о М. Исходными материалами для М. служат отходы белого мусковита, получающиеся при вырезке шайб и других слюдяных изделий, и особый цементирующий состав. Оба материала д. б. вполне свободны от органич. веществ. Цементирующий состав изготовляется из перемолотых — борной кислоты 28,8% и окиси свинца 71,2%; после 30-минутного размешивания смесь нагревают в плоских тиглях в течение 1 ч. до 380°, пока цвет ее не станет делаться оранжевым, после чего ее измельчают на мельнице «Перплекс» и просеивают. Затем составляют смесь из 60% размолотой на той же мельнице слюды и 40% цементирующего состава, которую размешивают ок. 30 мин., а затем еще 50 мин. по добавлении к ней 10% (от количества цементирующего вещества) воды. Полученная смесь может сохраняться. Для выделки из нее микалексовых пластин ее подвергают предварительной холодной прессовке 300 — 400-тон-

ным прессом, причем она усаживается приблизительно на 18%. Отпрессованные пластины просушивают при комнатной $t°$ в течение 24 ч., а затем в течение 3 ч. при 40—50°, после чего прогревают постепенно до 650—700° и подвергают прессовке в матрицах, нагретых до 400°. Изделие равномерно и медленно охлаждают и затем протирают промасленной тряпкой. Фирма AEG выпускает М. в пластинах 410×310 *мм*, при толщине в 3÷12 *мм*, причем цена возрастает с тонкостью пластинки. М. выделывается также в Англии и США, причем выпускается в виде пластин, трубок, палок. В М. могут быть запрессовываемы металлич. части. Технич. свойства М. весьма ценны, но широкому распространению его пока ставят препятствия сложность производства и значительная цена.

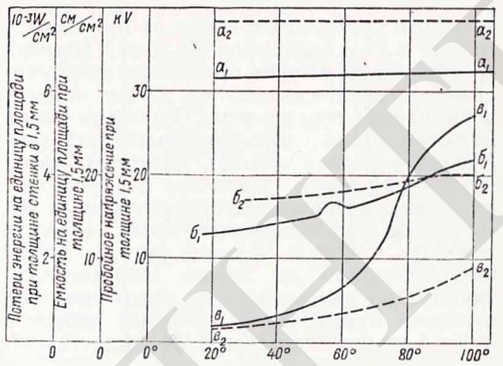
Лит.: «A. E. G. Mitteilungen», B., 1927, H. 10, p. 416; «Revue général des Matières Plastiques», P., 1930, T. 6, 4. **П. Флоренский.**

МИКАНИТ, слоистый электроизоляционный материал, получаемый из весьма тонких листков слюды склейкою их посредством различных связующих веществ и последующей прессовкой; по своему значению в электромашино-, трансформаторо- и аппаратостроении миканит должен считаться одним из самых важных материалов соответственных областей промышленности, несущим исключительно ответственную службу.

Историко-экономические предпосылки. Как известно, слюда представляет изоляционный материал, с к-рым не может сравниться никакой другой; это исключительное значение слюды принадлежит ей в виду ее очень большой электрич. крепости, высокого электросопротивления, ничтожного угла диэлектрич. потерь, сравнительно малой зависимости этих характеристик от $t°$, в виду теплостойкости слюды, негигроскопичности, упругости и расщепляемости на тончайшие листки. Несмотря на все перечисленные исключительные преимущества слюды, применение ее оказалось весьма ограниченным невозможностью получать кристаллы с достаточно большой поверхностью и высокой ценой этого материала, возрастающей несравненно быстрее, чем площадь поверхности. Быстрый рост потребности в слюде и возрастание требований на величину площади повели к необходимости прибегнуть к искусственному увеличению этой последней. Первоначальные попытки делались по двум направлениям: либо путем склейки крупных кусков слюды либо путем раскатки теста из мелких слюдяных частиц и цементирующего вещества. Однако технически наиболее целесообразным оказался путь средний, а именно склейка пластинок среднего размера, каковая и дает собственно М. Начало производства М. относится к 1893 г., когда Mica Insulator Co. в США стало эксплоатировать патент американца Менселля (Munsell); в том же году был получен подобный патент в Германии. В настоящее время М. (иногда под другими названиями, напр. амберит, мегомит, мерготалькит и т. д.) производится многими фирмами, но в Америке самый термин М. считается фирменным названием, и потому соответственные изделия выпускаются под различными описательными названиями, в состав к-рых большей частью входит слово слюда.

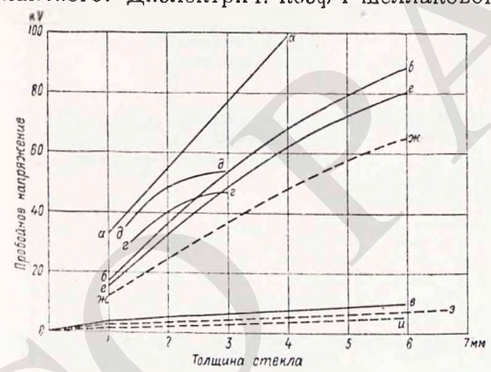
Классификация. М. может классифицироваться: по роду примененной слюды (М. мусковитовые, флогопитовые, аномитовые и в некоторых случаях биотитовые); по природе цементирующего вещества (М. шеллаковые, бакелитовые, глипталевые, силикатные, борнокислосвинцовые и т. д.); по степени теплостойкости (обычные, теплостойкие, жаростойкие, жароупорные); по электрической крепости: по углу диэлектрич. потерь; по твердости (твердые, средней твердости, мягкие); по способу применения (жесткие, неправильно называемые твердыми, хотя как раз они часто делаются из флогопита и относятся к мягким, формовочные и гибкие); по содержанию связующего вещества; по роду материалов, сочетаемых со склеенной слюдой (просто слюдяные, бумажно-слюдяные, картонно-слюдяные, полотняно-слюдяные, шелково-слюдяные); по геометрической форме (листы, трубки круглого сечения, трубки квадратного сечения, конусы, фасонные изделия, лента и т. д.); по служебной функции (коллекторный, прокладочный, фасонный, для изоляции ребристых изоляторов, для нагревательных приборов, для изоляции обмоток и т. д.). Сводная классификация видов М. и основные ориентировочные сведения о каждом из них даны в табл. 1.

Свойства М. При существовании М. весьма различных марок обобщить технич. свойства его невозможно, и потому следует говорить об отдельных видах. Практически наиболее важно поведение М. при нагреве, тем более что с повышением $t°$, вследствие размягчения и происходящих отсюда деформаций, изменяются также и электрич. свойства М. Теплостойкость М. находится в обратном отношении с содержанием органич. цементирующего вещества, и потому в убывающем порядке теплостойкости располагаются М.: жаростойкий (предельная темп-ра 600°), мегомит с содержанием органич. вещества 1%, жесткий коллекторный с содержанием этих веществ до 2%, коллекторный с содержанием их от 10 до 25%, формовочный (предельн. темп-ра 100—110°), миканитовые



Фиг. 1.

трубки. С другой стороны, теплостойкость зависит от рода связующего вещества; напр. *глиталь* (см.) в этом отношении выше шеллака. Как показывают опыты, трубки, нагруженные ртутью и не имеющие внешней поддержки, значительно деформируются уже при 70°, если склеены лаком на шеллаковом основании, и—при 100°, если склейка глипталевая. Эти цементирующие вещества ведут и к другим последствиям. На фиг. 1 показаны результаты сравнительного испытания трубок (толщина стенок 1,5 *мм*) при склейке их шеллаком (сплошные линии, индекс *1*) и глипталем (пунктир, индекс *2*). Линии *а* характеризуют пробойное напряжение, линии *б*—электрич. емкость на единицу площади, а линии *в*—удельные диэлектрич. потери при градиенте 25 kV/*см*, причем все эти величины даны как функции $t°$. Как видно из представленных кривых, электрическая крепость М. мало зависит от $t°$, но электрич. крепость глипталевого М. выше, чем шеллакового. Сравнительные данные электрич. крепости для разных толщин стенки миканитовых трубок представлены кривыми на фиг. 2 (*г*—шеллаковый М., *д*—глипталевый М.; испытание под маслом); во всех случаях электрич. крепость глипталевого М. на 15—20% превосходит таковую же шеллакового. Диэлектрич. коэф-т шеллакового



Фиг. 2.

М. несколько меньше, чем глипталевого, но соответственная кривая (*б*) обнаруживает более крутой подъем, чем у глипталевого миканита, а с 85° и перегоняет последнюю. Диэлектрич. потери в глипталевом М. показывают спокойный подъем с ростом $t°$, тогда как у шеллакового М. после 65° они начинают стремительно возрастать. Наконец следует отметить, что зависимость диэлектрич. потерь от градиента у глипталевого и шеллакового М. тоже различается не к выгоде последнего: у глипталевого М. кривая потерь подымается с градиентом плавно, тогда как у шеллакового, начиная от градиента примерно 4 kV/*мм*, подымается круто; при этом механич. нагруженность и более высокая $t°$ ведут к более крутому подъему кривой. Как выяснено О. Бронном и П. Поповым (ХЭЗ), при повышении градиента поля tg δ (δ угол диэлектрич. потерь) в трубках из М. и в коллекторных пластинах до значения градиента 4 kV/*мм* почти не изменяется, но затем начинает быстро расти; повышение $t°$ от комнатной до 80° делает ход соответственных кривых гораздо более крутым, но при градиенте, превосходящем 10 kV/*мм*, кривые, относящиеся к коллекторному М., снова переходят к пологости. Длительное действие поля, соответствующего этому насыщению угла диэлектрич. потерь, старит М.; постарение выражается в появлении критич. подъема кривой тангенса при меньших градиентах, причем по мере процесса постарения этот критич. подъем появляется при все меньших градиентах, а предельное значение tgδ становится больше; так напр., через 12 ч. действия поля устойчивое значение tg δ наступает уже при 2,5 kV/*мм*.

Зависимость электрич. крепости М. от толщины стенки представлена для М. различных видов на фиг. 2; круглые трубки: из чистой слюды при 80° (*а*), из М. при 80° (*б*), из коричневого М. при комнатной $t°$ (*в*) идут в порядке убывающей электрич. крепости; из представленных данных видно, как значительно падает эта характеристика при повышенном содержании цементирующего вещества. На той же фиг. 2 представлены сравнительные данные относительно круглых трубок из других, отличных от М., слоистых материалов: пертинакса при комнатной $t°$ (*е*), того же материала при 80° (*ж*), специальной карты при комнатной $t°$ (*з*) и нормальной карты при комнатной $t°$ (*и*). Повышение $t°$ даже до 100° действует вообще незначительно на электрическую крепость М., причем продукты, не содержащие волокнистых материалов, слегка снижают свою электрич. крепость, а продукты, в к-рых слюда находится в сочетании с волокнистыми материалами, даже повышают ее. Действие масла при комнатной $t°$ можно в общем считать выгодным вопреки тому, что происходит с чистой слюдой, но при нагреве электрич. крепость оказывается зато несколько сниженной против таковой же при испытании в воздухе. Данные по действию $t°$ и масла на М. сопоставлены в табл. 2.

Табл. 2.—Зависимость электрической крепости слюдяных материалов от нагрева (по данным В. С. Фляйта).

Материал	Среднее пробивное напряжение, приведенное к толщине 1,53 *мм* (1/16 дм.)					
	в воздухе		в масле		среднее из всех испыт.	
	30°	100°	30°	100°	30°	100°
Твердый миканит	36,0	33,8	36,0	29,5	36,0	31,7
Гибкий »	44,1	40,6	48,0	39,9	46,1	40,3
Микафолий	27,5	30,7	33,8	28,8	30,6	29,7
Слюдяное полотно . . .	19,1	21,4	20,2	18,7	19,6	20,1
Лакированное слюдяное полотно	31,5	34,7	35,2	35,0	33,4	34,9
Слюдяной шелк	24,4	26,5	31,6	25,2	28,0	25,9
Гибкая слюдяная бумага	23,0	28,8	30,5	27,0	26,8	27,9
Твердая » »	33,0	31,5	40,3	35,8	36,6	33,6
Японская » »	24,9	29,9	39,8	30,5	32,3	30,1
Среднее . . .	29,3	31,0	35,0	30,0	32,3	30,5

Электросопротивление М. сильно зависит от подробностей производственного процесса, повышаясь по мере выдержки материала и горячей его просушки. Кроме того электросопротивление М. в каждом состоянии материала падает вместе с ростом градиента наложенного поля, стремясь подойти к некоторому асимптотич. значению. На фиг. 3 представлены, по данным Эвериеда, графы указываемой зависимости. Кривая *а* относится к исходному состоянию М., кривая *б*—к М., лежавшему на воздухе в течение 5 суток, кривая *в*—к М., лежавшему на воздухе 90 суток, кривая *г*—к М., покрытому лаком, и наконец кривая *д*—к М., просушенному в течение 4 ч. в шкафу при 150° и затем выдержанному 24 ч. на воздухе.

Технические условия. Большое разнообразие миканитовой продукции и условий ее применения не позволяет дать общие технич. условия на все виды М. Но и на отдельные виды М. технич. условия до настоящего времени разработаны недостаточно, и в этом отношении м. б. указаны лишь нек-рые отдельные требования. Так, в отно-

Табл. 1.—Классификация М. и ориентировоч

№ по порядку	Род М.	Вид М.	Другие ходовые названия	Производственные данные: Слюда: Род слюды	Слюда: Содержание в % по объему	Слюда: Содержание в % по массе	Вспомогательный материал	Цементирующее вещество: Род его	Цементирующее вещество: Содержан. в % органических веществ по объему	Цементирующее вещество: Содержан. в % органических веществ по массе	Применяемое давл., кг/см²
1	Неформующийся жесткий	Теплостойкий	Жаростойкий, Heizmikanit, Amberite non fraisé	Мусковит, предпочтительнее флогопит	—	—	Не требуется	Силикат натрия, бентонит, каолин и органич. вещества	⩽1	⩽1,75	—
2	»	Микалекс	—	Мусковит в порошке	—	60	Не требуется	Борнокислый свинец	—	40	—
3	»	Мегомит	—	—	—	—	—	—	Ок. 1	—	—
4	»	Турбомика	—	Флогопит	—	—	—	—	—	—	—
5	»	Меготалк	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	»	Супрамиканит	—	—	—	—	—	Глипталь	—	—	—
7	»	Белый коллекторный, твердый	Коммутаторный, Hard Micanite	Муск. №№ 5 и 6 (англ.ст.№ 5 и 5½)	70—80	95	Не требуется	Шеллак	20—30	⩽4	70—80
8	»	Белый коллекторный, мягкий	Коммутаторный, Hard Micanite	Флог. №№ 5 и 6 (по англ. ст. № 5 и 5½)	70—80	95	Не требуется	Шеллак	—	⩽4	70—80
9	Горячеформуемый (формовочный)	Коричневый жесткий	Коричневый твердый, Stanzbraun, Hartbraun	Мусковит № 4 и 5	90—85	—	Не требуется	Шеллак	—	10—20	—
10	»	Коричневый формовочный	Коричневый полутвердый, Formikanit, Braunmikanit formbar, Moulding Mikanite	Мусковит № 4 и 5	90—75	—	Не требуется	Шеллак	—	20—35	—
11	»	Микафолий	Micafolium, Micafolio	Мусковит № 5	До 30% от всей изолирующей обвертки	—	Лакированная бумага, иногда картон	Шеллаковый лак	1,5—2,4	—	—
12	»	Слюдяные трубки	Миканитовые гильзы	Мусковит № 5 и 6	—	Ок. 72	—	Шеллак или глипталь	—	Ок. 28	—
13	Холодноформуемый	Гибкий	Flexibelmikanit, Micanite flexible	Мусковит № 4 и 5	—	—	Шелковая папиросная или японская бумага	Смесь из смол и камедесмол с масл., вкл. касторовое	—	15—20, до 30, у тонких 12	—
14	»	Слюдяной шелк	Glimmerseide, Mica-Silk	Мусковит № 4	—	—	Японская шелковая ткань	Специальный лак	—	4—6	—
15	»	Слюдяное полотно	(Одно- и двухстор.) Mikanit-Leinen, Mica Cambric	Мусковит № 4	30	—	Кембрик	Специальный лак со значит. содержанием шеллака	—	—	—
16	»	Слюдян. японск. бумага	Heizglimmer	—	—	—	Япон. бум., иногда шелк. папирос. бум.	Специальный лак	—	3—5	—
17	»	Слюдяной картон	Mikartafolio, Pressboard a. Mica	Мусковит	—	—	Тонкий прессшпан	Шеллаковый лак	—	—	—
18	»	Слюдян. летероид	—	—	—	—	Летероид	—	—	—	—
19	»	Слюдян. бумага	Миканит. бумага	—	—	—	Бумага крафт или канатная	—	—	—	—
20	»	Слюдян. лента	—	Мусковит № 4	—	—	Кембрик, шелковая ткань и др.	—	—	—	—

ные данные для различных видов его.

Физические свойства: Уд. вес	Механический характер	Гигроскопичность (поглощение паров воды) за 24 ч. в %	Отношение к нагреву	Диэлектрич. коэф-т	Электрическая крепость при 20°, kV/мм (из расчета)	Электросопротивление, Ω·см
—	Жесток, не деформируется при нагревании	—	Предельная t° 450—500°	5—7	Непробиваемости при 440V	—
—	Тверд; Брин. 40—50; склероск. 40; прочн. на разр. 1 200—2 000 кг/см², на сжатие 1 200—3 900 кг/см²	0,02	Предельная t° свыше 400°	5—7	24—15	Объемн. $8 \cdot 10^8$
—	—	Негигроскопичен	Более теплостоек, чем обычный коллекторный М.	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—
2,0—2,4	Вовсе не гнется и сохраняет свою плоскую форму; тверд и трудно спашивается	0,13	Сохран. жесткость до 100°	4,5—5	32—36	Объемное $1,7 \cdot 10^{12}$ Поверхн. $5 \cdot 10^{12}$
2,0—2,4	То же; мягок и сравнительно легко спашивается	0,13	Сохран. жесткость до 100°	4,5—5	28—34	Объемное $1,7 \cdot 10^{12}$ Поверхн. $5 \cdot 10^{13}$
Ок. 2,5	В холодном состоянии жесток и не гнется; при нагреве пластин до 105—115° изгибается (радиус кривизны не менее 25—30 мм)	—	—	—	32—36	—
Ок. 2,5	Хорошо формуется при 105—115° и дает острые ребра	—	Не терпит нагрева, значительно размягчаясь уже при 80°	—	32—36	—
—	—	—	Размягчается при нагреве до 80°	—	—	—
—	При обыкновенной t° жесткий, но при 80° начинает деформироваться; глипталевый деформируется ок. 100°	1,26	Размягчение при 70°, но при поддержке продолжает нести свою функцию при более высокой t°	—	—	—
2	Легко изгибается в холодном состоянии	—	Не допускает нагрева; для электронагреват. приборов не применим	—	24	—
—	То же	—	—	—	—	—
—	То же	—	—	—	15 и до 28	—
—	Очень гибкая, будучи намотана, держится на предмете	—	Допускает известн. нагрев	—	—	—
—	Весьма гибок	—	—	—	14	—
—	—	—	—	—	—	—
—	Плотно прилегает к изолированным предметам, на которые наматывается	—	—	—	20	—
—	То же	—	—	—	—	—

© ГПНТБ СО РАН

Табл. 1.—Классификация М. и ориентир. данные. (Продолжение.)

№ по пор.	Эксплоатационные данные: Назначение	Обрабатываемость при применении	Специальные требования	Размеры изделий: Толщина в мм	Ширина в см	Длина в см
1	Изоляция в электронагревательных приборах	Шлифовка не рекомендуется во избежание появления слабых мест	Возможная тонина, сохранение электрических свойств до 600°, отсутствие неприятного запаха при выгорании лака	0,3—0,4; редко 0,5; допуск 0,1 мм	50—55	105
2	Радиоаппаратура, электронагревательные приборы, перегородки и т. д.	Хорошая обрабатываемость различными способами	—	3—12 мм	31	41
3	—	—	—	—	—	—
4	Специально для турбогенераторов	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—
7	Прокладки между ламелями коллекторов с подрезанными сегментами	Фрезер., шлиф., полируется; при этом усим. 10—12%, а при недост. точн. первон. калибр. до 25%	Точность толщины до 0,020 мм; звонкость при ударе	0,25—1,5, иногда 2 (более толст. в наст. вр. не применяются)	55	105
8	То же, но при неподрезанных сегментах	То же	То же	То же	То же	То же
9	Подкладочные шайбы, трубки	Шлифуется, формуется при 105—115° под давлением	Особых требований точности в отношении размеров не предъявляется; звонкость при ударе	0,4—0,5; иногда 0,6	55—135	50—200
10	Коллектори. кольца, трубки малого радиуса и др. фасонные изделия с крутыми искривлениями	Шлифуется	Звонкость при ударе	0,25—0,4	55—135	50—200
11	Производ. изоляц трубок путем навертывания микафолия на стержни при нагреве; изоляция катушек шаблонной обмотки.	—	—	0,25—0,4	10	5 000—10 000 (рулоны)
12	—	—	—	—	—	—
13	Облицовка проходов, специальные обмотки, изоляция обмоток электромашин и трансформаторов сверхвысокого напряжения	—	—	0,15—0,6	100	100
14	Изоляция обмоток и магнитопроводы электромашин, особенно турбогенераторов	—	—	0,008—0,10	—	—
15	Применяется как и слюдяной шелк в тех случаях, когда в изоляции не требуется особенно большого процента слюды	—	—	0,3—0,4	50—100	100
16	Изоляция ребристых предм.; изол. обмоток больших маш., требующ. больш. проц. слюды	—	—	—	—	—
17	—	—	—	—	—	—
18	—	—	—	—	—	—
19	Изоляция ребристых предметов	—	—	0,15—0,6	100	100
20	—	—	—	—	—	—

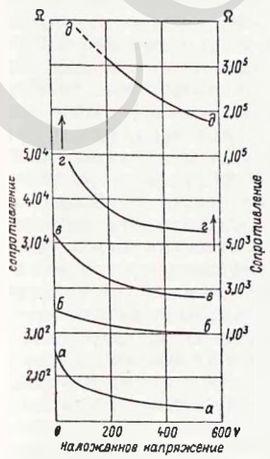
шении М., применяемого в устройствах с $t°$ не выше 100°, герм. нормы (VDE) нормируют главн. образ. электрич. крепость и содержание склеивающего вещества, согласно табл. 3. Кроме того подлежит испытанию

Табл. 3.—Нормы Союза германских электротехников (VDE) на М. разных видов.

Нормируемое свойство	Коллекторный М.	Гибкий М.	Формовочный М.	
			твердый	полутверд.
Электрич. крепость в kV/мм: *				
При приемочн. испытании ∢	7	6	9	9
При типовом испытании ∢	12	10	15	15
Содерж. склеивающего вещества в %	4	30	20—10	35—20

* При испытании на пробой в течение 1 м.

теплостойкость коллекторного М., а именно, не выдавливается ли при 160° склеивающее вещество под давлением 200 *кг/см²*. В отношении коллекторного М. весьма важно условие точной калибровки толщины. В некоторых технических условиях особо отмечаются требования на обрабатываемость фрезерами, сверлами и штампами, достаточная степень истираемости, близкая к истираемости меди, водонепроницаемость, звонкость при ударе и т. д. Следует отметить, что производство М. еще не настолько установилось, чтобы можно было с уверенностью предъявлять к М. требования, соответствующие результатам отдельных испытаний, и потому в технических условиях обыкновенно наблюдается значительное снижение норм.



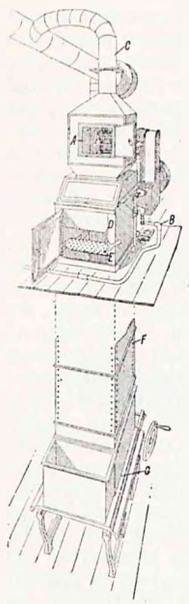
Фиг. 3.

Сырье. Исходное сырье—слюда—идет на М. почти исключительно в двух минералогич. разностях: как мусковит и как флогопит, соответственно назначению М. Качество М. существенно зависит от правильной сортировки, очистки и щипки слюды. Размеры, применяемые согласно англ. стандарту в миканитовом производстве, характеризуются толщиною около 20 μ и номерами 4, 5 и 6 (№ $5^1/_2$ индийского стандарта), т. е. площадями примерно 19—39 *см²* (3—$5^3/_4$ дм.²), 10—28 *см²* ($1^1/_2$—$2^7/_8$ дм.²) и свыше 8,8 *см²* ($1^3/_8$ дм.²) соответственно. При таком выборе сорта слюды М., несмотря на добавочную стоимость довольно дорогого связующего вещества и кропотливой работы, оказывается все-таки дешевле, чем слюда сколько-нибудь крупных размеров, даже включительно до № 3, т. е. с площадью 65—96 *см²* (10—$14^3/_4$ дм.²). Есть попытки пустить на М. слюду более мелкую (№ 7), но с технич. стороны целесообразность такого приема не доказана, а со стороны экономической значительное увеличение работы по щипке и склейке подобной мелкой слюды может повести к добавочным расходам, перевешивающим выгоды от удешевления материала. Согласно английскому стандарту, на производство другого вида М.—микафолия, идут листки слюды с толщиной листков от 12 до 37 μ. Выбор между мусковитом и флогопитом определяется в зависимости от требований к М.: бо́льшие мягкость и жаростойкость удовлетворяются флогопитом, тогда как бо́льшая электрич. крепость и меньший угол диэлектрич. потерь—мусковитом. Но кроме этих основных соображений необходимо иметь в виду, что как электрич., так и механич. свойства слюды находятся в существенной зависимости от рода среды, с к-рой слюда соприкасается, т. ч. для каждого рода слюды и для М. каждого назначения должны быть подбираемы соответственные связующие вещества. Кроме того качество М. весьма сильно зависит от различных тонких условий производства, напр. от степени освобождения слюды от тончайшей влажной пленки, от действия воздуха на связующее вещество при процессе работы и следовательно от замены воздуха инертным газом и т. д. В качестве связующих веществ на М., от к-рых не требуется жаростойкости, идут растворы различных *камедесмол* (см.) и смол как естественных, так и искусственных, в надлежащих растворителях, в смеси с нек-рыми маслами, причем, когда требуется особенная гибкость, то масла добавляются также и несохнущие, напр. касторовое. Наиболее употребителен в качестве смолы для М. был шеллак, применялись также альдегиднофенольные синтетич. *смолы* (см.), но М., склеенный ими, оказался слишком хрупким. Последнее время получил успех в качестве склейки для М. глипталь, имеющий во многих отношениях большие преимущества даже перед шеллаком; тем не менее пользование этим последним остается весьма значительным, отчасти м. б. из-за недостаточного умения вводить глипталь в сочетания с разными другими веществами. Наконец для жаростойких М. применяются различные неорганич. цементирующие вещества и смеси, состав к-рых держится фирмами в секрете. В нек-рых случаях применяются сочетания с силикатом натрия и уксуснокислым свинцом, каолином, бентонитом и т. д., борнокислый свинец (см. *Микалекс*) и т. д. Пользование цементирующими веществами в миканитовом деле требует большой опытности.

Основания производства. Для примера опишем производство листового М. Производство его вручную состоит в том, что расщепленные листочки слюды укладываются в один слой на плоской поверхности, прикрытой невпитывающей влагу бумагой, в перекрышку, так чтобы они легли в виде чешуи; затем они покрываются (напр. опрыскиванием или припудриванием) склеивающим веществом, чаще всего специальными лаками или смоляными сплавами и покрываются вторым слоем слюдяных листков; процесс повторяется до тех пор, покуда не будет нарощена достаточная толщина, после чего склеенная слюда (если склеивающий состав был жидкий) подвергается просушке на сетках в течение нескольких часов, в соответствии с родом склеивающего лака. По просушке пластины покрываются с обеих сторон листами прессшпана или ткани и подвергаются горя-

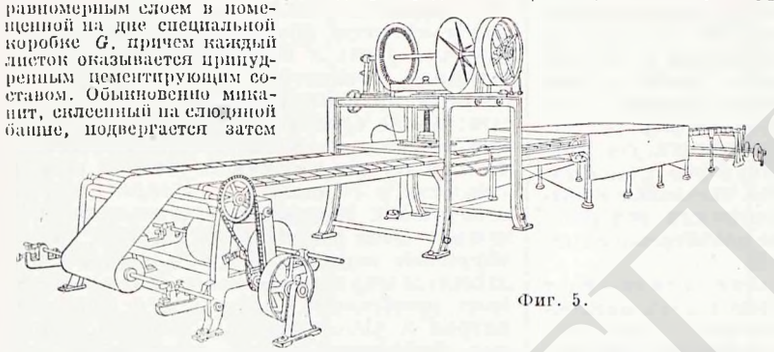
© ГПНТБ СССР

чей прессовке в течение нек-рого времени под умеренным давлением, степень к-рого д. б. в точном соответствии с назначением М., т. к. от степени давления зависит содержание в М. связующего вещества. Производство М. по мысли не представляет ничего сложного, однако весьма высокие требования, предъявляемые к миканиту, ведут к ряду трудностей, обусловленных как выбором надлежащего исходного сырья, так и производственными процессами, причем полной механизации последних до сих пор не достигнуто и наиболее ответственные операции—щипка и склейка—ведутся вручную. Наиболее существенно при производстве М.—избегнуть случайного прохождения через одну точку многих контуров слюдяных листков, т. к. в противном случае образуется в М. электрически слабое место. Необходимой для достижения указанной цели машины не придумано, и потому требуется опытный глаз, в помощь к-рому устраиваются специальные столы из зеркального стекла, освещаемые снизу, так что процесс склеивания ведется на просвет в темном помещении. Хотя описанное ручное производство М. и кропотливо, однако, если оно ведется надежными работниками, то при нем результаты получаются наилучшие. Из различных предлагавшихся машинных способов производства М. наиболее достигающим цели оказался так называемый башенный (или шахтный). Слюдяная башня, или шахтная машина для склейки М. (фиг. 4), состоит из камеры *A*, куда поступает слюда, причем автоматически снимаемый воздух *B* способствует дальнейшему ее разделению на листочки. Над камерой имеется пылеотсасывающее приспособление *C*, под камерой—другая камера *D*, в которой перекатывающийся вал *E* с отверстиями служит для равномерного по всему пространству распределения связующего вещества в виде мелкого порошка. Общая высота слюдяной башни—до 7 *м*. Падая через ниже помещенную башню *F*, слюда распределяется равномерным слоем в помещенной на дне специальной коробке *G*, причем каждый листок оказывается принудренным цементирующим составом. Обыкновенно миканит, склеенный на слюдяной башне, подвергается затем



Фиг. 4.

оклейке более крупными листками слюды и калибруется по толщине. После этого слюда подвергается горячей прессовке. При производстве слюдяной ленты, слюдяного полотна, слюдяного шелка и т. д. слюда накладывается обыкновенно одним слоем вприкрышку, иногда двумя и в особых случаях—тремя. Специальная машина Келлера и Праля для полумеханического производства микафолия и микартона рулонами изображена на фиг. 5. Односторонне покрытая лаком бумага, тонкая, но прочная и не шероховатая (или картон), перематывается на специальном столе, вручную покрывается листочками слюды и затем проходит между сильно нагретыми досками фрикционного пресса, после чего вновь покрывается лаком, просушивается в нагретой камере и, пройдя по длинному столу, вновь сматывается в рулоны. Обогрев ведется либо паром либо электричеством. Машина производит в час от 35 до 45 *м* слюдяной бумаги, причем требуется от 6 до 12 рабочих, в зависимости от величины слюдяных листков, длины стола и других условий. Для машины требуется пространство длиною 15 *м*, шириною 1,2 *м* и высотою 2,4 *м*. Существует того же назначения машина Гефели (Haefely), к-рый впервые ввел производство микафолия.



Фиг. 5.

Лит.: Брон О. Б., Усадка коллекторного миканита, «Вопросы изоляции в электротехнике», М.—Л., 1930, стр. 178—191; его же, Работы лаборатории по электроизолирующим материалам Харьковского электромеханическ. завода ХЭМЗ, там же, М.—Л., 1930, стр. 97—98; Monkhouse A., Electrical Insulating Materials, L., 1926, p. 179—187; Die Isolierstoffe d. Elektrotechnik, hrsg. v. H. Schering, B., 1924, p. 95—107 (статья R. Schroder, Glimmer u. Glimmerprodukte); Zeitler H., Glimmer, 1913; Flight W. S., The Effect of Heat on the electric Strength of some commercial Insulating Materials, «JAIEE», 1922, vol. 60, *306*; Jackson R. P., Electric Insul. Material, «Electric Journal», Pittsburg, 1919; Eversched S., «JAIEE», 1913, vol. 52, p. 51; McClain J., ibid., 1924; Wiggins F., «The Electrical Review», 1912, vol. 71, p. 564; Plobel G., «ETZ», 1921, B. 42, p. 306 (нормализация изолирующих трубок); Christiani W., ibid., 1921, B. 42, p. 309—311 (изолир. трубки); Dickson A. A. C., «The Electrical Review», L., 1923, vol. 93, p. 749, 1924, vol. 94, p. 408, 1924, vol. 95, p. 226; Onslow D., «World Power», L., 1925, *9*. **П. Флоренский.**

МИКРОАМПЕР, единица измерения силы электрич. тока, равная одной миллионной *ампера* (см.). Сокращен. обозначение μA.

МИКРОБИОЛОГИЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ, одна из ветвей науки о мире микроорганизмов. Под общим именем «микроорганизмы», или «микробы» объединена достаточно пестрая смесь представителей как растительного, так и животного миров. Сюда относятся как бактерии, так и дрожжевые грибы и простейшие даже плесневые грибы. Выделение изучения этих организмов в особую науку—микробиологию (или микробию, по терминологии Пастера) оправдывается и в настоящее время двумя моментами: 1) их громадной и в некоторых отношениях резко отличной от других представителей живых организмов ролью в круговороте веществ и в жизни человека и 2) что особенно важно своеобразностью методов исследования их (чистые культуры). Помимо громадного значения в круговороте веществ в природе микроорганизмы играют большую роль и в жизни человека и притом с разных сторон: одни являются опасными врагами — возбудителями разных болезней (патогенные), другие, наоборот, стоят на страже нашего здоровья, третьи осуществляют серьезные изменения в химизме почвы и тем привлекают к себе внимание сельских хозяев, и наконец имеется большое количество микроорганизмов, представляющих собой агентов или вредителей в самых разнообразных производствах. Подход к изучению каждой из этих групп имеет свои специфические особенности и преследует в конечном итоге несколько различные цели, вследствие чего эти дисциплины отличаются и в методич. отношении. Поэтому в настоящее время обособились в достаточно резком виде самостоятельные научные дисциплины: микробиология медицинская, с.-х. и техническая.

Виноделие, приготовление уксуса и кислого теста, квасоварение и ряд других процессов, теснейшим образом связанных с жизнедеятельностью микроорганизмов, были известны и вошли в обиход во времена, уходящие за пределы истории. Процессы эти у нас получили название «брожений», а в средние века их называли «ферментация»—термин, не вполне потерявший свое значение и в настоящее время.

Бродильные процессы лежат в основе многих и разнообразных производств, в которых микроорганизмы являются агентами, направляющими процесс в ту или иную сторону. Все эти производства могут быть грубо разделены на две большие группы. В одних случаях бродильный материал в целом, в результате развивающихся в нем под влиянием микроорганизмов биохимич. процессов, приобретает ценные для человека свойства и становится фабрикатом. Это имеет место гл. обр. в производствах пищевых и вкусовых продуктов, например вина, пива, кефира, простокваши и пр. В других же случаях микробиологический процесс имеет целью накопление в субстрате таких химич. тел, как спирт, ацетон, уксусная или молочная к-ты и т. д., к-рые затем выделяются из субстрата (ректифицируются): спирт—отгоном, молочная к-та—переведением ее в соль и т. д., т. е. теми же методами, к-рыми вообще пользуется всякое химич. производство. Легко понять, что именно последнее направление наиболее тесно связано с успехами в области теоретич. познания микроорганизмов и возбуждаемых ими процессов брожений, так как для него представляется существенно важным стремление как к увеличению выходов нужного вещества, так и к возможности получения его в наиболее чистом, т. е. сопровождаемом наименьшим количеством посторонних примесей, виде. В некоторых случаях искусственным вмешательством экспериментатора удается извратить процесс и направить его по иному руслу. Напр., обогащая субстрат, в котором развиваются дрожжи, белками и продуктами их распада, удается добиться значительного повышения выходов сивушного масла и в частности имеющего большое значение в технике амилового спирта; вводя в субстрат, содержащий сахар, кислые сульфиты, напр. кислый сернистокислый натрий, связывающийся с одним из промежуточных продуктов брожения—уксусным альдегидом, удается направить процесс не в сторону накопления спирта, но в сторону накопления глицерина (этим методом последний и получался в Германии во время мировой войны в заводском масштабе). В производстве пищевых продуктов, наоборот, нередко решает дело не чистота основного продукта, но вкусовой эффект примесей. В качестве примеров укажем на букет виноградных вин и своеобразный вкус сливочного масла, зависящий от побочных брожений. В производствах этого рода практич. навык и вкус мастера имеют пока такое же (если не большее) значение, как и его теоретическая подготовка; однако объясняется это только несколько большей сложностью процессов, в которых принимают участие не один, а несколько микроорганизмов, и малой изученностью этих процессов. Но и в этом направлении за последнее время сделаны большие успехи. Укажем на сыроварение, в к-ром начинает прочно прививаться применение чистых культур, приготовление сметаны, различных видов простокваши, пивоварение и пр.

Микробиологич. процессом, наиболее старым и благодаря громадному практич. значению (виноделие, пивоварение, винокурение) привлекавшим к себе внимание как практиков, так и теоретиков, а потому и наиболее изученным с разных сторон, является спиртовое брожение. В начале 19 века было известно только два вида брожения: спиртовое и кислотное, причем под последним разумелось только уксуснокислое брожение, к-рое и до настоящего времени успешно конкурирует с чисто химич. получением уксуса и уксусной к-ты путем перегонки дерева. В настоящее время значительный интерес получили молочнокислое и маслянокислое брожения, к-рые широко применяются для получения соответствующих кислот в заводском масштабе. В 1893 г. Вемером было открыто лимоннокислое брожение, к-рое однако несмотря на значительный интерес пока еще встречает некоторые затруднения для осуществления его в заводском масштабе для производства лимонной кислоты. Наконец как последнее крупное приобретение М. т. в области использования микроорганизмов для продукции химическ. веществ следует указать на ацетоновое брожение. Возбудитель ацетонового брожения первоначально был выделен и изучен в Германии (Шардингер, 1905); он получил название Bacillus macerans за свою способность разрыхлять (мацерировать) растительные ткани. Деятельностью этого микроорганизма энергично сбраживаются углеводы (сахары, крахмал) с образованием в качестве главных продуктов брожения: ацетона, этилового спирта и газообразных продуктов—углекислоты и водорода. Получение ацетона путем брожения имеет преимущество перед химическим способом его получения (прокаливанием уксусного порошка): в последнем случае основной продукт сопровождается значительным количеством разнообразных высших гомологов (ацетоновое масло), от к-рых он д. б. очищен, тогда как в процессе брожения они не образуются. Особый интерес получил открытый в 1912 г. Фернбахом возбудитель ацетонобутилового брожения, примененный в громадном масштабе в Англии и особенно в Америке для выработки ацетона и бутилового алкоголя. Интерес к этому процессу объясняется как легкостью и дешевизной получения ацетона, так и ценностью другого продукта—бутилового спирта, нашедшего себе громадный спрос в качестве растворителя при фабрикации целлюлозных лаков и красок. Надо принять во внимание, что и газообразные продукты брожения могут найти применение, например путем утилизации получающейся при спиртовом брожении углекислоты (с предварительным ее восстановлением до окиси углерода) для синтетического получения метилового спирта. Хотя работа в области изучения микроорганизмов и их биохимич. свойств с каждым днем приносит новые данные с точки зрения перспектив применения их в производствах,

создавая тем обширную и полную интереса область, но не следует забывать, что из всего громадного числа микроорганизмов лишь часть (и притом относительно незначительная) нашла себе применение в производствах. Несомненно дальнейшие успехи науки широко раздвинут эти пределы, но и сейчас область М. т. не может ограничиться изучением только агентов производств. Не меньшее значение имеет параллельное разностороннее изучение также и тех микроорганизмов, которые, попадая случайно в субстрат для брожения, могут оказываться серьезными вредителями основного процесса. Понятно, что только близкое знакомство с этими организмами позволяет рационально бороться с ними и обеспечить нормальное течение основного процесса.

Весьма важный и несколько обособленный отдел М. т. представляет собой микробиология молока и молочных продуктов. Так как в молоке имеются значительные количества питательных веществ, то оно оказывается великолепным субстратом для развития самых разнообразных микроорганизмов, которые в подходящих $t°$-ных условиях необычайно быстро размножаются. Уже в вымени коровы молоко не стерильно, а во время доения, разливки и хранения оно в значительной степени обогащается новыми представителями микроорганизмов в различных, в зависимости от чистоты скота, помещений и рук рабочих, количествах, но всегда в громадных, выражающихся большей частью в сотнях тысяч и даже миллионах на 1 $см^3$. Поэтому во всякой цивилизованной стране микробиологич. контроль над молоком является в настоящее время безусловно необходимым. Еще недавно к продажному молоку предъявлялись требования лишь со стороны химич. контроля (содержание жира, кислотность, отсутствие посторонних примесей и консервирующих веществ), но в городах З. Европы и Америки все с большей настойчивостью ставится на очередь вопрос о бактериологических нормах. Этот вопрос и в соответствующих учреждениях Наркомздрава встречает оживленный интерес, и следует желать, чтобы нормы контроля и самый контроль вошли у нас в жизнь как можно скорее. Т. к. молоко, с одной стороны, жидко, а с другой—легко портится, а следовательно сохранение и транспорт его представляют серьезные затруднения, то человечество еще с незапамятных времен стремится к выделению из него наиболее питательноценных составных частей (жиров, белков). В настоящее время широко применяется получение из молока сметаны и творога, образующихся за счет развития в молоке и сливках молочнокислого брожения. При правильной постановке молочного дела процесс этот направляется разводками чистых культур соответств. молочнокислых бактерий.

На Кавказе, в Туркестане, а также в восточных степях (районы Самары, Оренбурга и т. д.) широко распространено приготовление из молока напитков, основанное на комбинированном брожении, состоящем из молочнокислого брожения и спиртового (к продуктам комбинированного брожения относятся также квас, хлебная закваска, крымская и туркестанская «буза» и пр.). Наибольшую известность получили: кавказский кефир, степной кумыс, айран и др. Во всех этих напитках, еще не в достаточной степени изученных, чтобы можно было с уверенностью перейти к приготовлению их на чистых культурах, главным агентом брожения являются длинные молочнокислые бактерии типа болгарской палочки (B. bulgaricus, или B. caucasicus) и дрожжи. Напитки эти, благодаря своеобразному изменению составных частей молока (пептонизации белков) под влиянием микроорганизмов, оказываются необычайно легко усвояемыми, вследствие чего они широко рекомендуются в качестве лечебно-диэтических напитков при ряде заболеваний.

В качестве одного из наиболее совершенных методов консервирования в твердом виде питательных веществ молока нужно признать сыроварение, которое в принципе сводится к отделению и подсушиванию белков молока, проведению ряда микробиологич. процессов в нем, регулируемых темп-рой, солкой и пр. В результате удается получить высокопитательный, относительно прочный продукт, обладающий различными вкусовыми эффектами в зависимости от характера приготовления и от микрофлоры. Наибольшую ценность имеют сычужные сыры, в которых сгусток получается применением специальной закваски, получаемой настаиванием на молочной сыворотке нарезанного кусочками сычуга (желудка молочных телят). Наиболее изученным из сыров является швейцарский или эмментальский сыр.

Однако сыр является относительно стойким продуктом благодаря тем микробиологическим процессам, которые приводят к характерным изменениям начального сырого продукта. Во многих случаях условия жизни (особенно городской) требуют хранения и иногда продолжительного транспорта как молока, так и других скоропортящихся продуктов (мясо, рыба, фрукты и пр.). Все подобные продукты представляют собой превосходные субстраты для развития самых разнообразных микроорганизмов, нередко в очень короткий срок портящих эти ценные для человека питательные вещества, если не приняты специальные меры к их консервированию. Более или менее длительное консервирование скоропортящихся продуктов м. б. достигнуто различными способами, сводящимися в конечном итоге: 1) к подавлению развития имеющихся в субстрате микроорганизмов и 2) к полному уничтожению их. Первое достигается созданием в субстрате неблагоприятных для развития микроорганизмов условий: хранением на холоду, высушиванием (сушеные овощи и плоды), прибавлением некоторых веществ, задерживающих развитие микроорганизмов (соленья, маринады), а иногда повышением концентрации субстрата, напр. сахара (варенье, сгущенное молоко и пр.), и конечно комбинацией того и другого. Но более совершенное и длительное консервирование достигается вторым методом—умерщвлением зародышей микроорганизмов (стерилизацией), с попутным предохранением материала от попадания новых микроорганизмов из воздуха. Стерилизация иногда без особого ущерба для дела м. б. достигнута химически, а именно прибавлением веществ, либо не представляющих собой яда для человека в тех дозах, в к-рых они достаточны для подавления жизни микроорганизмов, либо легко удаляемых (напр. хлороформ, сернистый газ). Однако гораздо большее значение имеет метод стерилизации высокой $t°$, на к-ром основано в сущности все современное *консервное дело* (см.). В нек-рых случаях для достижения эффекта стерилизации достаточно нагревания, напр. в течение 1 ч. при 70—80°; способ введен в практику Пастером и получил название п а с т е р и з а ц и и. Она широко применяется для молока и других напитков (ягодных соков), не выдерживающих без изменения своих свойств более высокого нагревания. В большинстве приведенных выше примеров микроорганизмы являются ценными для производства своей биохимической деятельностью, приводящей к разнообразным химич. изменениям в субстрате и к накоплению в нем различных химич. тел. Но иногда накопление продуктов брожения может иметь помимо того и механическое значение. Это имеет место при образовании глазков в сыре и особенно при разрыхлении теста, к-рое достигается тем, что дрожжи, выделяя в процессе брожения углекислоту, превращают тесто в пористую рыхлую массу. Можно привести и такие случаи, когда на микроорганизмы возлагается по преимуществу механич. задача,—напр. в процессе мочки прядильных растений (льна). Мочка сводится к облегчению выделения из стебля прядильных волокон, расположенных пучками в коровой части, с возможно полным отделением от них прочих тканей стебля (костры) и с возможно меньшим изменением ценных физич. свойств самих волокон. Микробиология мочки пока еще мало изучена, что мешает продвижению в эту область промышленности методов чистых культур, т. к. не вполне еще выяснено значение различных встречающихся при естественной мочке микроорганизмов. Во всяком случае повидимому главное значение имеет при этом бактерия пектинового брожения—Plectridium pectinovorum, нормально встречающаяся на стеблях льна. Бактерия эта разрушает пектиновые вещества, из которых состоят срединные пластинки, связывающие отдельные клетки коры льна в одно целое и в значительной степени входящие в состав самих клеточных оболочек. Во время мочки прежде всего подвергаются воздействию бактерий и разрушаются именно срединные пластинки клеток, а затем и все оболочки мякоти коры, в результате чего прядильные волокна могут быть легко выделены в виде пучков, состоящих из 10—12 волокон. См. *Волокна прядильные*.

Лит.: О м е л я н с к и й В., Основы микробиологии, 6 изд., М.—Л., 1926; Х у д я к о в Н., С.-х. микробиология, Москва, 1926; L a f a r F., Handbuch der technischen Mykologie, 2 Auflage, B. 1—5, Jena, 1904—14; W e i g m a n n H., Pilzkunde d. Milch, 2 Aufl., B., 1924. **В. Шапошников.**

МИКРОВОЛЬТ, единица измерения электрического напряжения, равная одной миллионной *вольта* (см.). Сокращенно эта единица обозначается: μV.

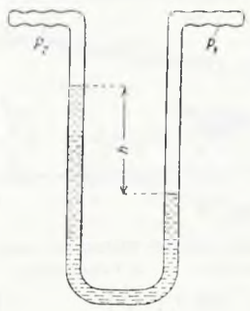
МИКРОВОЛЬТ НА МЕТР, единица *напряженности* (см.) поля электромагнитн. волны.

МИКРОЛАМПА, особый тип электронных приемных ламп (см. *Лампа электронная*), требующий пониженной по сравнению с обычными лампами с чисто вольфрамовой нитью мощности накала. Название происходит от греч. слова *микрός*—малый (малая мощность накала). Уменьшение мощности накала достигается применением катодов (нитей) из торированного вольфрама, что позволяет довести меру накала H до величины 40÷50 mA/W и выше. Параметры лампы «Микро» завода «Светлана» ВЭО (новая марка ПТ2) следующие: напряжение накала 3,6 V, ток накала—60÷70 mA, коэф. усиления $\mu_0 = 10 \div 12$ (т. е. проницаемость 8—10%), крутизна $S = 0{,}35 \div 0{,}45$ mA/V, анодное напряжение 60÷80 V. Анодный ток при сетке, соединенной с отрицательным концом нити, $I_{a_0} = 1{,}3 \div 2$ mA; полная эмиссия около 8 mA и выше. Микроламны, выпускаемые в продажу отделом электронных ламп Электрозавода ВЭО, имеют несколько иные параметры.

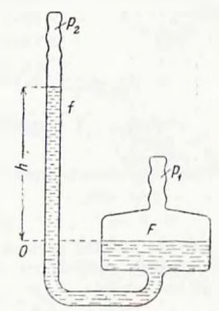
В виду экономичности мощности накала и сравнительной дешевизны М. весьма распространена среди любителей и вообще в тех случаях, когда требуется легкость аппаратуры. К числу неудобств М. следует отнести способность ее чрезвычайно реагировать на сотрясения, благодаря чему получается в телефоне приемника характерный звон, мешающий приему. Особый вид лампы—М. с двумя сетками—позволяет применять пониженное анодное напряжение (15—25 V). Старая марка—МДС, или Микро ДС; новая СТ—6; $S = 0{,}45 \div 0{,}85$ mA/V; $\mu_0 = 9 \div 13{,}5$; $I_{a_0} = 2 \div 3$ mA; остальные данные такие же, как у М. Параметры микроламны и МДС завода «Светлана» подробно исследованы Л. Б. Слепяном.

Лит.: С л е п я н Л. Б., Электронная лампа как детектор, М., 1929. **Б. Введенский.**

МИКРОМАНОМЕТР, прибор для измерения незначительных разностей давления. М. применяется часто при измерении скоростей газов в вентиляционных установках, скоростей газов в газопроводах, для определения тяги в топках; в последнем случае он носит название т я г о м е р а. М. бывают жидкостные, мембранные, с колоколами и с кольцевым сосудом.



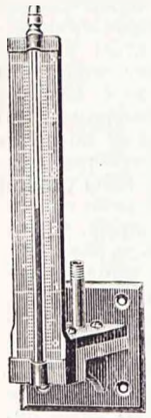
Фиг. 1.



Фиг. 2.

Ж и д к о с т н ы е М. применяются обычно при научных работах и при исследованиях вентиляционных устройств. Наиболее

простым типом жидкостного микроманометра является простая U-образная трубка, частично наполненная жидкостью и сообщающаяся своими концами (фиг. 1) с областями измеряемых давлений. Назовем h—разность высот жидкости в обоих коленах в *мм*, P_1 и P_2—давления, действующие на оба столба жидкости в *кг/м²* (или в *мм* вод. ст.), и γ—плотность жидкости в *кг/л*, тогда:



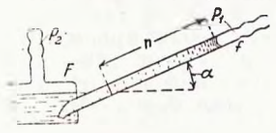
Фиг. 3.

$$P_1 - P_2 = \gamma h. \qquad (1)$$

Для упрощения отсчета часто одно колено делают значительно более крупного диаметра, тогда достаточно бывает произвести один отсчет по шкале, указывающей высоту подъема жидкости в тонкой трубке (фиг. 2). Отсчитывая высоту подъема h_1 от нулевой черты O (т. е. уровня, занимаемого жидкостью при равенстве давлений P_1 и P_2) и называя f и F площади поперечных сечений обоих сосудов на уровне менисков, имеем:

$$P_1 - P_2 = \gamma h_1 \left(1 + \frac{f}{F}\right). \qquad (2)$$

Ошибка в показаниях М., происходящая от опускания уровня в широком сосуде, обыкновенно уравновешивается соответственным изменением шкалы в отношении $\frac{F}{F+f}$ или этой ошибкой пренебрегают в виду ее малости. Конструктивное выполнение М. этого типа изображено на фиг. 3.

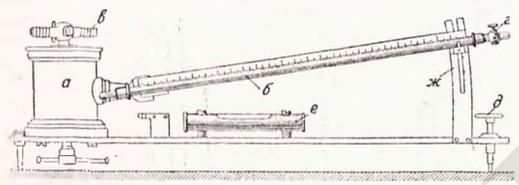


Фиг. 4.

Для увеличения чувствительности прибора делают М. с наклонными трубками. В этом случае (фиг. 4) перемещение мениска n в наклонной трубке, соответствующее разности давлений $P_1 - P_2 = h$, выражается ф-лой:

$$h = n \sin \alpha. \qquad (3)$$

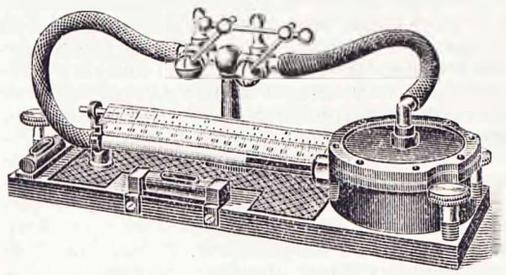
Чтобы по отсчету перемещения мениска n_1 определить действительную разность давлений, пользуются для этого типа М. следующей ф-лой:



Фиг. 5.

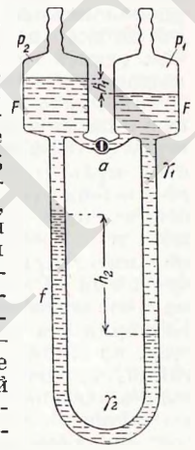
$$P_1 - P_2 = \gamma n_1 \left(\sin \alpha + \frac{f}{F}\right). \qquad (4)$$

М. этого последнего типа (сист. Сера) изображен на фиг. 5; аппарат состоит из тщательно обточенного изнутри для сохранения постоянства F по всей высоте его бронзового резервуара a, к к-рому на шарнире с пустотелой осью присоединена трубка $б$. Резервуар сообщается с полостью, в к-рой имеется большее давление, при посредстве патрубка $в$, трубка—с полостью меньшего давления через кран с насадкой $г$. Аппарат устанавливается горизонтально при помощи установительного винта $д$, правильность установки проверяется уровнем $е$. Эта конструкция позволяет изменять чувствительность прибора, придавая различные углы



Фиг. 6.

наклона трубке $б$; последняя закрепляется при помощи винта, который ходит в прорези градуированной дуги $эж$. Винт $з$ скреплен с отчасти погруженным в жидкость резервуара $а$ цилиндром; поднимая или опуская его, заставляют колебаться уровень жидкости, что служит для приведения мениска в трубке $б$ на нуль перед началом отсчетов. Для особо точных измерений применяют микроманометр системы Креля (фиг. 6), который отличается от предыдущего тем, что: 1) в нем уклон трубки постоянный $\left(n = \frac{1}{4} - \frac{1}{400}\right)$ и 2) он снабжен двумя спаренными трехходовыми кранами, через к-рые оба сосуда одновременно сообщаются или с атмосферой (для установки на нуль) или с обеими полостями измеряемых давлений. Для измерения весьма малых разностей давления применяется также двухжидкостный М. (фиг. 7); этот М. состоит из U-образной трубки сечением f *мм²*, снабженной наверху двумя цилиндрич. расширениями площадью поперечного сечения F *мм²*. В колено наливается более тяжелая жидкость уд. в. γ_2, а поверх ее—более легкая, уд. в. γ_1, не смешивающаяся с первой жидкостью; когда оба колена сообщаются с атмосферой, уровни обеих жидкостей лежат в двух горизонтальных плоскостях, для чего верхние сосуды сообщаются путем открытия крана $а$. Если при измерении, посредством попеременного закрывания и открывания крана $а$ и не изображенного на фиг. крана в колене трубки, приводят верхние поверхности жидкости в уширенных частях к одному уровню, то $h_1 = 0$, и



Фиг. 7.

$$P_1 - P_2 = h_2(\gamma_2 - \gamma_1); \qquad (5)$$

делая разность уд. в. обеих жидкостей малой, можем увеличить точность прибора в желаемой степени. Для наполнения этого М. берут напр. водный спирт уд. в. 0,93 и

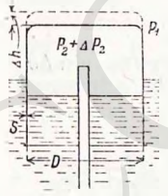
оливковое масло уд. в. 0,916, т. о. $P_1 - P_2 = 0{,}014 h_2$. Другой способ работы с этим же прибором состоит в подборе двух жидкостей приблизительно или совсем равного уд. веса и работе при постоянно закрытом кране $а$. Тогда при $\gamma_1 = \gamma_2$ разность уровней h_2 будет служить мерой разности уровней в широких сосудах h_1, причем

$$P_1 - P_2 = h_1\gamma_1 = h_2 \frac{f}{F}\gamma_1;$$

если $\gamma_1 \neq \gamma_2$, именно $\gamma_1 < \gamma_2$, то

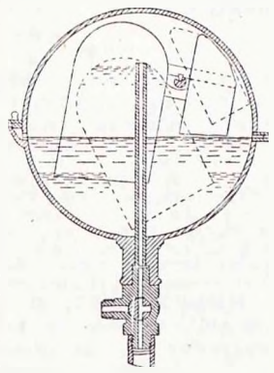
$$P_1 - P_2 = h_2\left[\gamma_2 - \left(1 - \frac{f}{F}\right)\gamma_1\right]. \qquad (6)$$

Двухжидкостные М. неудобны в том отношении, что граница между обеими жидкостями не резка и кроме того довольно трудно избежать частичного смешения жидкостей и изменения их уд. веса. В качестве жидкостей для М. применяют: воду, керосин, спирт, эфир, толуол, ксилол. От идеальной жидкости требуется незначительный и неизменяемый уд. в., однородность состава, незначительная вязкость, небольшая капиллярная постоянная и малый объемный коэф. $t°$-ного расширения. Керосин и спирт неудобны в том отношении, что более легко испаряющиеся составные части улетучиваются и таким образом изменяется уд. в. жидкости. Вода обладает слишком большой вязкостью. Хорошо зарекомендовал себя толуол.



Фиг. 8.

Все жидкостные М. неудобны для применения их в качестве тягомеров в условиях производственной практики, как по причине их чрезвычайной чувствительности, так и потому, что их трудно приспособить для создания указывающих и регистрирующих приборов. Поэтому для производственных тягомеров применяют обычно колокольные, мембранные и кольцевые микроманометры.

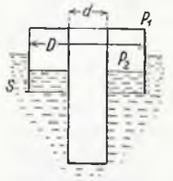


Фиг. 9.

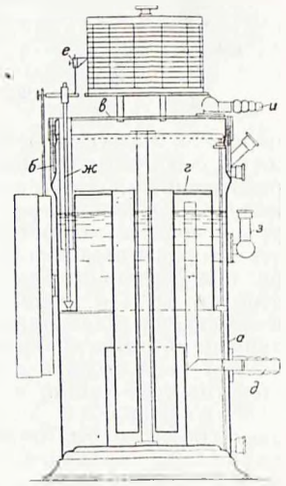
Колокольные М. Принцип действия колокольного М. изображен на фиг. 8; изменение давления P_2 под колоколом на величину $\pm \Delta P_2$ вызывает подъем или опускание колокола на величину $\pm \Delta h$ (уровень жидкости снаружи колокола считается неизменным). Эти величины связаны между собой следующей зависимостью:

$$\Delta h = \frac{\Delta P_2 D}{4s\gamma}, \qquad (7)$$

где D и s—диаметр и толщина стенок колокола, выраженные в одинаковых мерах. Отсюда видно, что чувствительность М. возрастает с увеличением диаметра колокола и с уменьшением толщины его стенок и плотности жидкости. Колокольные М. пригодны для измерения колебаний разности давлений по обеим сторонам стенок колокола. Конструктивное выполнение указывающего М. приведено на фиг. 9. Для создания самопишущего М. желательна большая сила подъема, что заставляет делать колокол значительного диаметра; принимая во внимание, что толщина стенок не м. б. сделана сколько-нибудь значительной в виду того, что вес колокола получается слишком большим, и на малые разности давлений аппарат вообще не реагирует, видим из ф-лы (7), что М. становится чрезмерно чувствительным; так например для D=400 *мм* и s= = 0,2 *мм* изменение давления на 1 *мм* вод. ст. вызовет изменение положения колокола на 500 *мм*. Дополнительная нагрузка колокола производится пружинами, или же колокол снабжают поплавком. Принцип действия поплавкового колокола заключается в том, что при изменении глубины погружения колокола изменяется объем погруженной части поплавка, что и дает добавочную силу нагрузки. Зависимость между элементами поплавкового колокола (фиг. 10) и изменением давления P_2 выражается следующей ф-лой:



Фиг. 10.

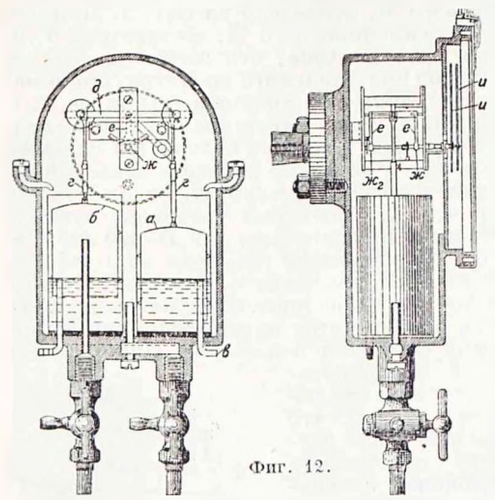


Фиг. 11.

$$\Delta h = \frac{D^2 - d^2(1+\gamma)}{\gamma(4Ds + d^2)}\Delta P_2 = K\Delta P_2. \qquad (8)$$

Практич. выполнение регистрирующего М. с поплавковым колоколом изображено на фиг. 11: $а$ — резервуар с герметически закрывающей его при помощи гидравлич. затвора $б$ крышкой $в$. Колокол $г$, внутренняя полость которого сообщается трубкой $д$ с полостью высшего измеряемого давления, соединен стерженьком $эж$ с пером регистрирующего аппарата $е$. Сливная трубка $з$ служит для поддержания постоянного уровня жидкости в резервуаре, а патрубок $и$— для присоединения трубки, сообщающейся с полостью низшего измеряемого давления. Делая поплавок переменного сечения, можно изменять значение K в формуле (8) в зависимости от высоты подъема колокола; напр. делая площадь сечения поплавка пропорциональной $\sqrt{h}$, получим величину отсчетов пропорциональной также $\sqrt{h}$, т. е. скорости газов в канале, измеряемой при помощи трубки Пито. Специальный тип М. — дифференциальный тягомер, изображенный на фиг. 12, состоит из двух М. с колоколами $а$ и $б$, из к-рых первый соединен открытой трубкой $в$ с атмосферой,

а второй — с областью наибольшего из измеряемых разрежений (например с боровом

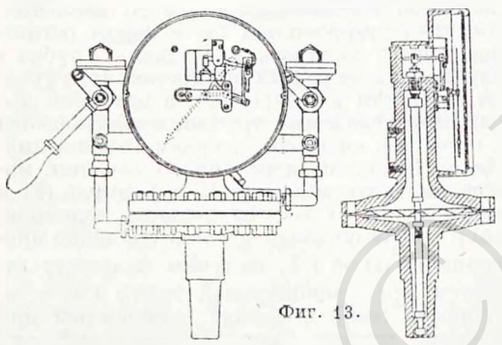


Фиг. 12.

парового котла); пространство внутри кожуха сообщается с областью наименьшего разрежения (напр. топкой котла). Каждый колокол соединен через посредство тяги *г*, уравновешенного противовесом рычага *д* и зубчатого сектора *е* с шестерней *же*, сидящей на оси отдельной для каждого колокола стрелки *и*; т. о. одна из стрелок показывает разность давлений между двумя исследуемыми областями (напр. топка—боров), а другая—между давлением в одной из областей (напр. в топке) и атмосферой.

Мембранный М. (фиг. 13) представляет собой не что иное, как мембранный манометр с мембраной особо большого диаметра и малой толщины; для возможности измерения разностей давления, пространства как под, так и над мембраной сделаны закрытыми и сообщаются с полостями измеряемых давлений двумя связанными между собой трехходовыми кранами.

Рабочей деталью М. с кольцевым сосудом является кольцевой сосуд *а* (фиг. 14, А) радиуса R и постоянного сечения f, который может качаться вокруг центра на острие *г* и разгорожен сверху переборкой *б*, а внизу столбом жидкости *в* на две полости, сообщающиеся с областями



Фиг. 13.

измеряемых давлений. Пусть жидкость уд.в. γ занимает объем, определяемый центральным углом 2α; при разности давлений $\Delta P=0$ центры тяжести сосуда S (вес его G) и жидкости S_1 (вес ее $G_1=2\alpha Rf\gamma$) лежат на одной вертикали. прямой, в расстоянии от центра вращения соответственно e и $C=R\frac{\sin\alpha}{\alpha}$. Когда ΔP имеет конечную величину, жидкость будет оттеснена на угол $\Delta\alpha$ (фиг. 14, Б) в сторону меньшего давления, вследствие чего сосуд повернется на угол φ в обратном направлении. Ур-ие равновесия в этом случае будет:

$$Ge\sin\varphi = R\cdot f\cdot\Delta P + 2R^2f\gamma\sin\alpha\cdot\sin\Delta\alpha,$$

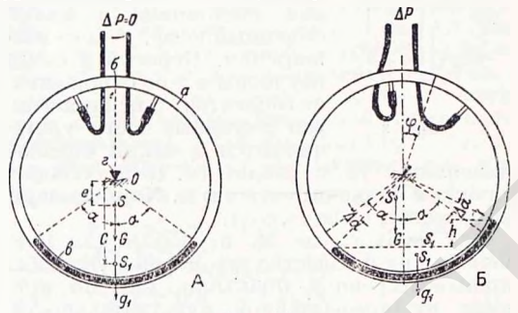
где левая сторона — момент веса сосуда относительно O, а первый член правой—момент разности давлений на перегородку *б*, и второй—момент веса столба жидкости. Разность уровней жидкости h пропорциональна разности давлений ΔP, а именно:

$$h=\frac{\Delta P}{\gamma}=R\cos(\alpha-\Delta\alpha)+R\cos(\alpha+\Delta\alpha)=$$
$$=2R\sin\alpha\cdot\sin\Delta\alpha,$$

откуда

$$\sin\Delta\alpha=\frac{\Delta P}{2R\gamma\sin\alpha}.$$

Подставляя полученное значение $\sin\Delta\alpha$ в уравнение равновесия, получим окончательно уравнение работы кольцевого микроманометра в виде:



Фиг. 14.

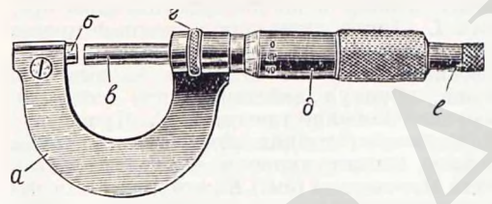
$$\sin\varphi=\frac{2Rf}{Ge}\Delta P=k\Delta P,$$

где k—постоянная прибора. М. с кольцевым сосудом применяется на практике для измерения разности давлений в *паромерах* (см.).

Лит.: Ломшаков А. С., Испытание паровых котлов, 3 изд., Л., 1927; Баулин К. К., Приборы для проверки вентиляционных установок, Сборн. «Вентиляция промышл. предприятий», Москва, 1929; Грамберг А., Технич. измерения при испытании машин и контроле их в производстве, т. 1, вып. 1 и 2, М., 1926; Гронвальд Е., Центробежные вентиляторы, пер. с нем., Харьков. 1928; Ower E., The Measurement of Air Flow, L., 1927. **Л. Павлушков.**

МИКРОМЕЛЕС, мелколодник Micromeles alnifolia Koehne, небольшое деревцо или кустарник из сем. розоцветных, произрастает в бассейне р. Амура и в Китае (Манчжурия); в Японии встречается другая его разновидность—M. japonica. Дерево достигает 8—10 *м* и обычно не очень большого диаметра, к-рый в связи с большой вырубкой лесов в этих местах все уменьшается. Древесина коричневато-розового цвета, очень плотная; идет на изготовление чертежных принадлежностей. Дерево довольно хорошо разводится семенами. Свойства древесины М. еще мало изучены. Древесина М. по своим ценным качествам похожа в этом отношении на *бересу* (см.). Константы М. см. *Спр. ТЭ*, т. IV, ст. Дерево (№ по индексу 836).

МИКРОМЕТР, шкальный измерительный инструмент, в котором абсолютное значение измеряемой длины определяется углом поворота винта, отсчитываемым на соединен-



ном с винтом барабане. М. обычного типа, применяемый в машиностроении, изображен на фиг., где *а*—скоба микрометра, *б*—упор, *в*—мерительный винтовой шпиндель, *г*—аретир, *д*—отсчетный барабан, *е*—фрикционная головка для ограничения усилия при измерении. Подробности об ошибках при измерении М., о специальных конструкциях и об изготовлении М. см. *Производственные измерения* в машиностроении, см. также *Винт микрометрический*. **Л. Павлушков.**

МИКРОСКОП, оптический прибор для рассматривания предметов в увеличенном виде. М. различаются простые и сложные.

Простой М., или лупа, состоит из одной или нескольких линз, образующих собирательную систему. Предмет помещается между главным фокусом системы и ее первой (от предмета) поверхностью т. обр., чтобы увеличенное мнимое изображение предмета было не ближе расстояния ясного зрения (250 *мм*) от рассматривающего его глаза. Увеличение лупы N (отношение угла, под которым предмет виден в лупу, к тому углу, под которым он виден на расстоянии 250 *мм*) определяется ф-лой:

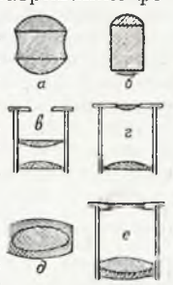
$$N=\frac{250}{F}\left(1+\frac{x}{X}\right), \qquad (1)$$

где F—фокусное расстояние лупы, x—расстояние главного фокуса лупы (со стороны глаза) от зрачка, X — расстояние изображения предмета от зрачка (все выражено в *мм*). При аккомодации глаза на бесконечность ($X=\infty$), при $x=0$, или при достаточно малом F (сильная лупа) формула (1) превращается в более простую:

$$N=\frac{250}{F}. \qquad (2)$$

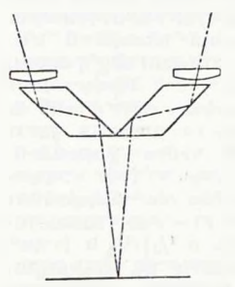
Лупа как оптич. система должна давать резкое, не окрашенное и не искаженное изображение плоского предмета конечных размеров и при больших увеличениях должна обладать достаточно большой *апертурой* (см.). Эти условия весьма близки к требованиям, предъявляемым к фотографич. объективу, но по целому ряду соображений конструкция лупы проще.

Простейшую форму лупы представляет собой обыкновенная собирательная линза. В этом случае для получения большего поля с резким изображением выгодно брать плосковыпуклую линзу, обращенную плоской стороной к глазу. Для ослабления влияния сферической *аберрации* (см.) употребляются лупы из двух плосковыпуклых стекол. Таковы лупы Фраунгофера, Вильсона и др. (фиг. 1, *в* и *г*). Довольно удовлетворительны в смысле резкости изображения по всему полю лупы, представляющие собой сплошную сферу из стекла с диафрагмой в центре—лупы Бюстера, Волластона (фиг. 1, *а*, *б*). Более совершенной является апланатическая лупа Штейнгейля (фиг. 1, *д*), состоящая из двояковыпуклой кронгласовой линзы, к которой с обеих сторон приклеены вогнутовыпуклые флинтгласовые линзы. Она дает отчетливое, свободное от окраски изображение при большом поле зрения. Еще лучшими качествами обладает анастигматическая лупа фирмы Цейсс; эта лупа по своей конструкции близка к фотографическ. объективу. Разновидностью лупы является в е р а н т, служащий для рассматривания фотографич. снимков. Для удобства пользования лупы снабжаются ручкой или специальной оправой для вставления в глазную впадину (лупы часовщиков). Иногда лупы снабжаются штативом с наводкой при помощи кремальеры (препарировочные лупы) и т. д.

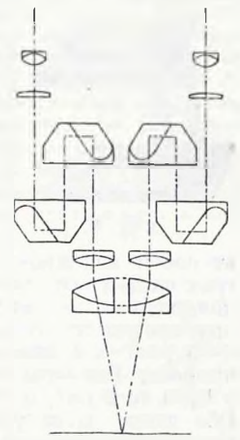


Фиг. 1.

В нек-рых случаях важно иметь при определенном увеличении большое расстояние между лупой и наблюдаемым объектом. Этому условию удовлетворяют лупы системы Шевалье и Брюке (фиг. 1, *е*), состоящие из положительной (собирательной) системы, обращенной к предмету, и отрицательной (рассеивающей), обращенной к глазу. Другой разновидностью такой лупы является Fernrohrlupe Цейсса, состоящая из призматич. зрительной трубки, на объектив к-рой надевается насадка с ахроматической линзой. К прибору прилагается ряд таких линз различных фокусов. Наблюдаемый предмет помещается в главном фокусе добавочной линзы и дает изображение на бесконечности. Это изображение рассматривается при помощи зрительной трубки. Увеличение Fernrohrlupe



Фиг. 2.



Фиг. 3.

равно увеличению добавочной линзы, рассчитанному по формуле (2), умноженному на увеличение зрительной трубки. Лупы с увеличенным свободным расстоянием от объекта являются переходной ступенью между лупой и сложным микроскопом. Удобство и рельефность зрения обоими глазами привели к устройству бинокулярных луп,

дающих рельефное изображение. Фирма Цейсс строит два типа таких луп: 1) лупы малого (3—4 раза) увеличения (фиг. 2); в них лучи, идущие от предмета, отклоняются двумя призмами специальной формы и попадают затем на две линзы, перед к-рыми помещаются глаза наблюдателя; 2) лупы более сильного увеличения—до 13, построенные на принципе Fernrohrlupe. Они состоят из призматического бинокля (фиг. 3) с малым расстоянием между объективами (увелич. 3—8 раз). На оба объектива бинокля надеваются насадки с комбинациями ахроматич. линзы и призмы, представляющими как бы части одной ахроматич. линзы с диаметром, равным расстоянию между внешними краями насадок. В общем фокусе добавочных линз помещается наблюдаемый предмет. Пучки лучей, попадающие в оба глаза, выходят из предмета под некоторым углом, который зависит от расстояния между объективами бинокля и фокуса добавочных линз, что создает стереоскопич. эффект.

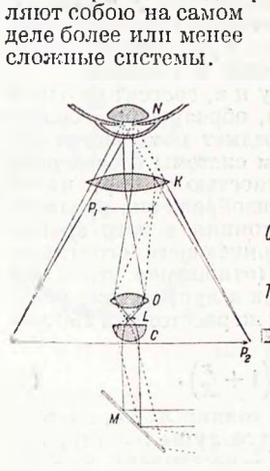
Лит.: Хвольсон О., Курс физики, т. 2, Берлин, 1923; Czapski S. und Eppenstein O., Grundzüge d. Theorie d. optischen Instrumente nach Abbe, 3 Aufl., Lpz., 1924; Rohr M., Die binokularen Instrumente, 2 Aufl., B., 1920; Handb. d. Physik, hrsg. v. H. Geiger u. K. Scheel, B. 18, B., 1927; Ehringhaus F., Das Mikroskop, seine wissenschaftlichen Grundlagen u. seine Anwendung, Lpz.—B., 1921. **В. Линник.**

Лупа ткацкая является при работах в ткацком производстве необходимым прибором и должна отличаться большой точностью. Лупами пользуются как при определении плотности ткани, т. е. числа нитей основы и прокидок утка, приходящихся на известную площадь ткани, например на 1 *см*², 1 дм.² и т. п., так и для определения строения ткани, т. е. взаимоотношения между собою основных и уточных нитей. Существует большое разнообразие разного рода конструкций луп, находящихся в зависимости от тех требований, к-рые предъявляются к лупе той или иной конструкции характером работ с тканью, условиями работ и т. п. Наиболее простой и больше всего применяемой для всякого рода ткацких работ является лупа (ткацкий складной глазок), которая изображена на фиг. 4 и представляет собой небольшой прибор, состоящий из трех частей, где верхняя и нижняя части квадратные; в верхней части укреплено круглое увеличительное стекло (увеличение 4—5 раз), а в нижней имеется квадратная прорезь. Размеры этой прорези делаются в ½, 1 и 2 *см*², а также в ¼, ½ и 1 дм².

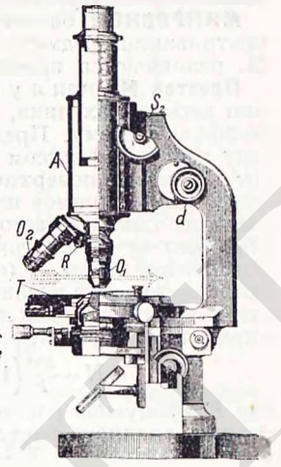
Фиг. 4.

Обе части лупы укреплены на шарнирах к особой боковой стенке (стойке), вследствие чего лупа может быть сложена. **С. Молчанов.**

Сложный М. Увеличение, даваемое лупой, редко бывает более 20 раз, в исключительных случаях оно доходит до 100—150 раз, но при таких сильных увеличениях лупа не дает вполне хорошего изображения, т. к. этому препятствуют *аберрации* (см.) линз. Поэтому для получения достаточно большого увеличения без заметных искажений употребляется М., представляющий собою сложную систему линз. На фиг. 5 показан ход лучей в сложном М. Лучи света, отраженные зеркалом *M*, попадают на собирательную систему линз — *конденсор* (см.) *C*, который сводит эти лучи на рассматриваемом предмете *L*. Далее лучи, пропущенные предметом, попадают на вторую систему линз—*объектив* (см.) *O*, который сводит лучи вновь, образуя действительное (объективное) изображение предмета P_1. Лучи, пересекающиеся в точках объективного изображения, входят далее в верхнюю систему линз М.—*окуляр* (см.) *K*, откуда после преломления попадают в глаз *N* наблюдателя. В окуляр видно мнимое изображение, он действует как лупа, сквозь к-рую наблюдатель рассматривает не самый предмет, а его увеличенное действительное изображение P_2. Т. к. объективное изображение является обратным по отношению к предмету, а мнимое изображение в окуляре—прямым, то М. в целом даст обратное изображение предмета. Конденсор, объектив и окуляр, изображенные на фиг. 5 в виде простых линз, представляют собою на самом деле более или менее сложные системы.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

Увеличение, даваемое М., как не трудно видеть, равно произведению увеличений объектива и окуляра в отдельности. Вычисление показывает, что увеличение М. *N* выражается ф-лой:

$$N = \frac{\Delta \cdot l}{f \cdot g}, \qquad (3)$$

где Δ—расстояние между обращенными друг к другу фокусами объектива и окуляра (интервал), l—расстояние наилучшего зрения наблюдателя, а f и g—фокусные расстояния объектива и окуляра. В современных М. увеличение бывает в среднем от 20 до 3 000 раз.

На фиг. 6 показан общий вид М. (левая часть—в разрезе). Предмет помещается между предметным стеклом и тонким покровным стеклом на предметном столике *T*. Объективы O_1, O_2 привинчиваются к револьверу *R*, позволяющему вращательным движением ставить один объектив вместо другого. Револьвер в свою очередь привинчен к раздвижному тубусу *A*, в верхнюю часть к-рого помещается окуляр. Установка М. на ясное зрение достигается перемещением всего тубуса

при помощи зубчатки *S*; тонкая установка производится движением микрометрич. винта *d*, устроенного различным образом в М. различных систем.

Окуляр М. в простейшем случае представляет собою т. н. окуляр Гюйгенса, состоящий из двух собирательных линз, заключенных в общую трубку. Лучи, идущие от объектива к объективному изображению, перехватываются нижней линзой этого окуляра, так что объективное изображение получается между обеими окулярными линзами; этим достигается то, что в верхнюю «глазную» линзу окуляра, к-рая и служит лупой для объективного изображения, попадает больше лучей, вследствие чего увеличивается поле зрения. Внутри окуляра Гюйгенса в том месте, где получается объективное изображение, помещается *диафрагма* (см.).

Наиболее существенной частью М. является объектив. Т. к. окуляр дает увеличенное изображение не самого предмета, а действительного, даваемого объективом изображения, то это последнее д. б. по возможности свободно от недостатков, а потому объектив д. б. сконструирован т. о., чтобы давать возможно совершенное изображение. Чем больше увеличение линз, тем заметнее их аберрации, и потому тем более совершенной д. б. конструкция объектива. Объектив д. б. прежде всего исправлен на хроматическую *аберрацию* (см.). Обычные ахроматические объективы (см. *Ахроматическая система стекол*) исправлены для двух разноцветных лучей, т. н. *апохроматы* (см.)—для трех. В первых исправление хроматической аберрации осуществлено только для одной зоны объектива, во вторых—для всех зон. Промежуточное положение между обоими видами объективов занимают т. н. полуапохроматы. Апохроматы свободны от хроматич. аберрации только в том смысле, что изображения в трех разных цветах совпадают; величина же этих изображений несколько различна. Этот последний недостаток обычно исправляется особой системой окуляра, т. н. компенсационным окуляром, без которого апохромат не употребляется.

Исправление сферической *аберрации* (см.) наиболее полно достигается в апохроматах, менее полно—в ахроматах. Объектив М. должен представлять собою *апланатическую систему стекол* (см.). Условием апланатизма является т. наз. условие синусов:

$$n \sin \alpha = v \sin \beta;$$

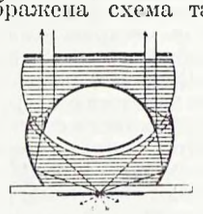
здесь α—угол между оптической осью и лучом, идущим от точки предмета, расположенной на оси, к нек-рой точке объектива; β—угол между осью и сопряженным лучом, идущим к точке изображения; v—увеличение объектива; n—показатель преломления среды между объективом и покровным стеклом; при обычных условиях в т. н. сухих объективах, когда данная среда есть воздух, $n=1$, в иммерсионных объективах (см. ниже) $n>1$. При наилучшем исправлении недостатков объектива один недостаток остается неисправленным, а именно плоскость, перпендикулярная к оптич. оси, изображается не плоскостно, вследствие чего центр поля зрения и его края не бывают одновременно в фокусе. Наилучшее исправление недостатков объектива достигается при определенной длине выдвигающегося тубуса. Для объективов Цейсса и Рейхерта эта длина должна быть равна 160 *мм*, для объективов Лейтца—170 *мм*, для объективов английских фирм—250 *мм*.

При исправлении сферич. аберрации объектива приходится принимать во внимание и преломление света у верхней поверхности покровного стекла. При этом толщина стекла принимается 0,16—0,18 *мм*. При другой толщине для достижения наименьшей аберрации несколько изменяется длина тубуса, а в нек-рых специальных объективах меняется расстояние между отдельными линзами (коррекционная оправа).

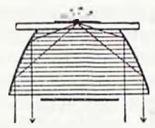
Яркость объективного изображения пропорциональна пространственному углу того конуса лучей, к-рый сходится к точке изображения из объектива; если половина отверстия этого конуса есть β, то пространственный угол пропорционален $\sin^2\beta$, т. е. на основании приведенного выше условия синусов, пропорционален $\frac{n^2 \sin^2 \alpha}{v^2}$ (α — угол между оптической осью и лучом, идущим от предмета к краю объектива). Выражение $A = n \sin \alpha$ есть т. н. апертура объектива. Т. о. яркость изображения пропорциональна квадрату апертуры и обратно пропорциональна квадрату увеличения. Отсюда следует, что яркость тем больше, чем больше n: этим и объясняется выгода иммерсии, т. е. помещение между покровным стеклом и нижней (фронтальной) линзой объектива капли жидкости. В качестве такой жидкости берется вода, а еще чаще—кедровое масло. При этом требуется и особый иммерсионный объектив. Кедровое масло как иммерсионная жидкость имеет еще и другое значение. Показатель преломления его путем соответственного приготовления делается равным показателю преломления покровного стекла и фронтальной линзы объектива. Благодаря этому избегается потеря света при отражениях от верхней поверхности покровного стекла и нижней поверхности фронтальной линзы. Такого рода иммерсия называется «гомогенной». Как указано выше, яркость изображения измеряется квадратом отношения апертуры к увеличению объектива. Поэтому при больших увеличениях яркость изображения требует и большей апертуры; для этого конус света, входящий в объектив, д. б. по возможности широким, а это в свою очередь достигается осветительной системой, конденсором, к-рый посылает на освещенную точку также широкий конус света. Другими словами, апертура конденсора д. б. достаточно велика.

Обычно предмет виден в М. потому, что задерживает часть попадающего на него света; это относится к предметам непрозрачным или окрашенным, которые кажутся темнее окружающего их светлого фона. Прозрачный предмет виден благодаря неодинаковому показателю преломления по сравнению с окружающей средой, вследствие чего такой предмет также выделяется на светлом фоне темными краями. Если же на предмет падает слишком много лучей под большим

наклоном к оптич. оси, то предмет сам разбрасывает эти лучи во все стороны (блестит), вследствие чего его контраст со светлым фоном становится слабее и предмет виден хуже. Поэтому слишком широкий конус лучей от конденсора может быть и вреден, тогда его уменьшают, регулируя отверстие диафрагмы, помещаемой под конденсором (обычно т. наз. присовой диафрагмы). Понятно, что апертура конденсора не д. б. больше, чем апертура объектива. При слабых объективах с небольшой апертурой для освещения предмета конденсор является излишним, и достаточно вогнутого зеркала. Если наблюдаемый предмет очень мал, то вследствие *дифракции* (см.) света световые волны огибают его и предмет на светлом фоне делается невидимым. Граница видимости определяется т. о. не увеличением М., а величиной дифракции, т. е. длиной световой волны. Если же предмет освещен сбоку лучами, непосредственно не попадающими в объектив, то благодаря свету, рассеянному предметом, последний кажется светлым на темном фоне. Такой М. с боковым освещением называется ультрамикроскопом. В простейшем случае боковое освещение достигается таким косым положением зеркала М. или диафрагмы под конденсором, чтобы освещающий пучок света шел мимо объектива. Но это возможно только при объективах небольшой апертуры. В противном случае следует световой пучок направлять не от зеркала, а независимо от него, перпендикулярно к оптич. оси М. Для той же цели наблюдения на темном поле служат ультраконденсоры. На фиг. 7 изображена схема так наз. кардиоид-конденсора Цейса, причем стрелками



Фиг. 7.



Фиг. 8.

показан ход падающих лучей. Оптическое действие другого распространенного типа ультраконденсоров, параболоид-конденсора ясно из фиг. 8. Апертура таких конденсоров гораздо больше апертуры объектива; при этом средние лучи осветительного конуса загорожены и на предмет не попадают, а попадают на него только крайние лучи конуса, к-рые настолько наклонены к оптич. оси, что проходят мимо объектива. Эти лучи и рассеиваются предметом, заставляя его блестеть на темном фоне.

Мелкие частицы, наблюдаемые в ультрамикроскоп при темном поле, посылают рассеянный свет в объектив. При этом вследствие дифракции светящиеся точки изображаются в объективном изображении не точкой, а светлым кружком, окруженным более бледными светлыми кольцами. Форма кружка обусловлена круглой формой отверстия объектива, радиус же кружка, как показывает вычисление, равен $0{,}61 \cdot v \cdot \frac{\lambda}{A}$, где λ—длина световой волны, v и A—увеличение и апертура объектива. Отсюда следует, что всякую светящуюся точку, видимую под М., надо принимать за кружок радиуса ϱ, определяемого по ф-ле:

$$\varrho = 0{,}61 \cdot \frac{\lambda}{A}.$$

Отсюда следует далее, что всякий мелкий светящийся предмет под М. должен казаться кружком радиуса ϱ, а следовательно М. не позволит нам определить его истинную форму и размер. Кроме того, если две частицы находятся между собой на расстоянии меньше 2ϱ, диффракционные кружки сливаются между собой и две частицы не кажутся разделенными. Величина ϱ называется поэтому величиной разрешающей способности М. Как видно из ф-лы, разрешающая способность зависит не от увеличения М., а от апертуры. Разрешающая способность М. может быть рассчитана и для того случая, когда наблюдаемый предмет виден не благодаря рассеянному им свету, а вследствие того, что он задерживает свет и потому кажется темным на светлом фоне. Если такой предмет обладает тонкой структурой, то в нем происходит диффракция света, подобная той, которая имеет место в диффракционной решетке. При этом вблизи верхнего фокуса объектива образуются диффракционные спектры, форма и расположение к-рых зависят от формы и размеров структуры предмета. В плоскости объективного изображения, рассматриваемой через окуляр, имеет место *интерференция* (см.) света, исходящего из всех диффракционных спектров. Теория, данная Аббе, показывает, что положение полос интерференции, получающихся в плоскости объективного изображения, не зависит от длины световой волны, т. е. эти полосы при белом освещении д. б. также белыми. Их расположение тем более похоже на рассматриваемую структуру, чем больше диффракционных спектров образовалось в фокальной плоскости объектива. Т. о. видимое в М. изображение структуры есть интерференционное явление.

Теория Аббе не является исчерпывающей, но приводит к важному практическому следствию. Для того чтобы в М. данная структура была видна, необходимо, чтобы по крайней мере первый диффракционный пучок от структуры попал в объектив, т. е. чтобы в фокальной плоскости объектива образовался хотя бы первый диффракционный спектр. При этом если освещающий пучок света направлен вдоль оптич. оси, то первый диффракционный пучок, направляясь в край объектива, должен образовать с осью угол α, определяемый апертурой объектива. Ф-ла диффракционной решетки дает в этом случае для первого спектра

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{n\delta},$$

где δ—размер структуры решетки, длина же световой волны принята равной $\frac{\lambda}{n}$, где λ—длина волны в воздухе, n—показатель преломления среды между объективом и покровным стеклом. Отсюда наименьший видимый размер структуры δ, т. е. разрешающая способность М., определяется ф-лой:

$$\delta = \frac{\lambda}{n \sin \alpha} = \frac{\lambda}{A},$$

где A попрежнему изображает апертуру. Можно показать, что при косом освещении разрешающая способность увеличивается еще в два раза, т. е.

$$\delta = \frac{\lambda}{2A}.$$

Получаемая ф-ла близка к той, которая получена для рассеивающих свет предметов. Предел разрешающей способности определяется величиной апертуры, которая не м. б. больше n, и длиной волны. Для уменьшения λ, а вместе с тем и наименьшего размера видимой структуры δ, прибегают иногда к ультрафиолетовым лучам, заменяя глаз фотографич. аппаратом.

Для специальных целей употребляются и специальные виды М. Так, для рассматривания непрозрачных предметов, напр. структуры металлов (см. *Металлография*), употребляются М. с верхним освещением предмета. При близких расстояниях объектива от предмета освещающий пучок падает на предмет сквозь линзы объектива. При этом требуются особые объективы, рассчитанные для употребления без покровного стекла. Для кристаллографических целей, при необходимости рассматривать предмет в поляризованном свете, употребляется поляризационный М., снабженный поляризатором и анализатором (см. *Поляризационные приборы*).

Для целей микропроекции и микрофотографии, чтобы получить действительное изображение, пользуются часто микроскопом с одним только объективом без окуляра. Для получения при этом более широкого пучка света из объектива, а потому и большего поля зрения, тубус М. делают более широким. Можно однако получать действительное изображение и через окуляр, если поднять тубус М. настолько, чтобы объективное изображение приходилось ниже фокуса окуляра.

В последнее время входят в употребление т. н. панкратические «карманные» М., в которых изменение увеличения достигается не сменой объективов и окуляров, а изменением длины тубуса. Такие М. дают увеличение до 250 раз и в сложенном виде занимают очень мало места. М. со слабым увеличением употребляется для отсчетов делений на кругах астрономич. инструментов и на других измерительных приборах.

Лит.: Хвольсон О. Д., Курс физики, т. 2, Берлин, 1923; Циммерман А., Микроскоп, Руководство к научной микроскопии, СПБ, 1896; Marshall C. R. a. Griffith H. D., An Introduction to the Theory and Use of the Microscope, L., 1928; Scheffer W., Das Mikroskop, Lpz., 1914; Ehringhaus A., Das Mikroskop, seine wissenschaftlichen Grundlagen u. seine Anwendung, Lpz., 1921; Metzner P., Das Mikroskop, Lpz., 1928 (обширная литература).

А. Млодзеевский.

МИКРОСТРУКТУРА, строение материала, видимое только при некотором увеличении. В технике М. называется строение металла или сплава, видимое при рассматривании шлифа в микроскоп с увеличением от 10 до 5 000 раз. Структура обусловливает свойства металла и сплава (см. *Металлография*), напр. если компонент сплава, образующий сетку (на фиг.—черные линии), будет вязкий, а зерна (на фиг.—белые пространства) будут хрупкие, то материал с такой структурой будет вязкий, при обратном же явлении—хрупкий. В зависимости от физич. состояния сплава М. бывают различны. На вкладн. л., *48* (см. *Металлография*) показана М. чистого металла, представляющая некоторую сетку. Ту же структуру имеют

смешанные кристаллы, т. е. металлы, образующие твердый раствор. Сплавы металлов, не образующих твердых растворов и образующих эвтектику, имеют строение, показанное на вкл. л., *1—6*, *38*, *39*. При концентрациях, отличных от эвтектических, избыточный компонент выделяется структурно-свободным (вкл. л., *3*, *5*, *41—44*). Размер отдельных составляющих М. зависит от скорости выделения их из раствора, т. е. от скорости охлаждения (вкл. л., *27—29*, *35*, *36*) и механич. обработки при температуре ниже $t°$ рекристаллизации (вкл. л., *30—33*). Для различения структур, неразрешаемых микроскопом, применяют метод анализа в рентгеновских лучах, причем кристаллы таких структур, являясь диффракционной решеткой, дают диффракционные пятна, по положению которых можно сделать заключение о расположении атомов в кристаллах металла (вкл. л., *49—58*) и о размерах самих кристаллов.

Шлифы для изучения М., полученные способом, данным в металлографии, нуждаются в проявлении, к-рое делается при помощи протравы. Для железных сплавов методы протравы указаны в Промстандарте 141, для шлаковых включений метод определения неметаллич. включений в железных сплавах указан по Кемпелю и Комштоку [1]. Для нежелезных сплавов протравы см. [2,3]. Картина структуры, видимой под микроскопом, зависит значительно от осветительного устройства микроскопа; на вкладном листе, *59*, *60* указаны снимки с вертикальным (*59*) и боковым (*60*) освещением ($\times 1\,200$). О протраве и нововведениях в области сильных увеличений см. [4].

Лит.: [1]) Орга-справочник, 2 изд., т. 2, М., 1927; [2]) Czochralski J., Moderne Metallkunde in Theorie u. Praxis, Berlin, 1924; [3]) Werkstoff-Handbuch, Nichteisenmetalle, B., 1927; [4]) Benedicks C., Metallographic Researches, N. Y., 1926.—См. также *Металлография*.

К. Грачев.

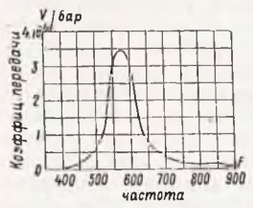
МИКРОТИПИЯ, репродукция с фотографии микроскопич. препарата.

МИКРОФАРАДА, единица измерения электрич. емкости, равная одной миллионной *фарады* (см.). Сокращенное обозначение: μF.

МИКРОФОН, устройство для превращения звуковых колебаний в электрические. Непосредственная передача речи или музыки возможна лишь на ограниченные расстояния. Поэтому когда приходится делать передачу звуков на большие расстояния или просто усиливать их, то является целесообразным звуковую энергию превратить в электрическую, так как последнюю более удобно передавать и возможно усиливать во много раз. После передачи и усиления электрич. энергия вновь преобразуется в звуковую, воспринимаемую ухом. *Звук* (см.) представляет собою колебания частиц среды, различные по частоте и интенсивности. Для передачи внятной речи нужен диапазон частот f от 300 до 2 400 пер/ск.[4], для музыки и других художественных передач необходи-

мый диапазон расширяется от $f=80$ до $f=8\,000 \div 10\,000$ [2]. М. при передаче речи или музыки должен превращать звуковую энергию в электрическую равномерно во всем диапазоне частот, и конструкция его должна быть такова, чтобы он при этом не вносил искажений. Коэф. передачи М., т. е. отношение получаемого напряжения в V на зажимах к переменному звуковому давлению в барах*, воздействующему на мембрану, должен оставаться постоянным во всем звуковом диапазоне частот и притом при различных силах звука.

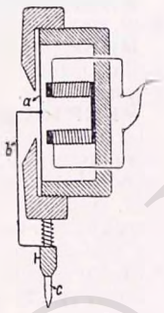
Электромагнитные М. Простейшим и давно известным микрофоном этого типа является электромагнитный телефон. При действии звука железная мембрана колеблется с частотой звуковых колебаний, то удаляясь, то приближаясь к полюсам постоянных магнитов, благодаря чему изменяется магнитный поток и в обмотках катушек М. индуктируется эдс. Обыкновенно применяют мембраны толщиной 0,2—0,3 мм, обладающие сравнительно большой массой, а также резко выраженными резонансными свойствами. М. этого типа вносят большие искажения и имеют малый коэф. передачи (см. фиг. 1, откуда видно, что коэф-т передачи сильно зависит от частоты, что и ведет к искажениям); применяются в военном деле (форпостные телефоны, к-рые одновременно являются и М.).



Фиг. 1.

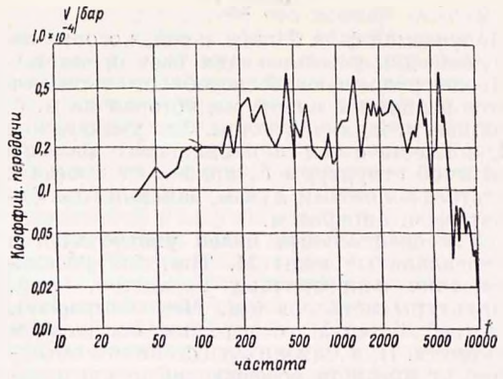
За последнее время электромагнитные М.-адаптеры широко применяются также для передачи граммофонной музыки. При этом мембрана М. *a* (фиг. 2) при помощи рычага *b* связывается с граммофонной иглой *c*. При передаче игла *c* движется по граммофонной пластине и передает свои колебания мембране М. Колебания мембраны получаются столь большие, что напряжения на зажимах М. достигают ок. 1 V и выше.

Электродинамический М. Принцип действия этого М. основан на том, что если проводник, расположенный в постоянном магнитном поле, колеблется под действием звука, то в нем индуктируется эдс. На этом принципе построено несколько типов М. Практически в СССР и за границей имеют распространение только М.: ленточный и Сайкс-Раунд-Маркони.



Фиг. 2.

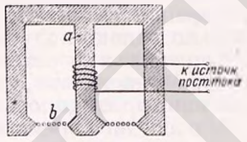
Ленточный М., разработанный фирмой Сименс и Гальске [3], состоит из рифленой алюминиевой ленты (см. *Громкоговоритель*, фиг. 7). Под действием звука лента колеблется в сильном магнитном поле, и на ее концах образуется эдс. Последняя очень мала (имеет несколько μV), поэтому после такого М. ставится усилитель в несколько каскадов, и включение М. к усилителю производится через трансформатор с коэф. трансформации не менее 1:100. Ленточный М. передает широкий диапазон частот от $f=30$ до $f=7\,000$ [4] (фиг. 3), и кроме того напряжение на его зажимах прямо пропорционально



Фиг. 3.

величине звукового давления, действующего на ленту; поэтому он практически при передаче не вносит искажений и получил большое применение в радиовещании.

М. сист. Сайкс-Раунд-Маркони [5] имеет применение в СССР и за границей (изготовляется Всесоюзным электротехнич. объединением, фиг. 4). В кольцевом междуполюсном пространстве горшкообразного электромагнита (Topfmagnet) *a* находится плоская кольцевая катушка *b*, состоящая из витков тонкой проволоки, проклеенных резиновым раствором, и являющаяся т. о. упругой мембраной. Катушка висит свободно между полюсными наконечниками и колеблется под действием звука. Так как, в противоположность ленточному микрофону, здесь имеется большое количество витков, то можно от катушки мембраны подать напряжение непосредственно на сетку усилительной лампы без трансформатора, что является большим преимуществом.



Фиг. 4.

Угольные М. Наиболее простым, чувствительным и давно известным М. этого класса является угольный М. В принципе он состоит (фиг. 5) из двух угольных электродов: *a* — неподвижного и *b* — мембраны, между которыми насыпаны угольные зерна. В спокойном состоянии сопротивление М. между электродами равняется R_0 и в цепи течет ток

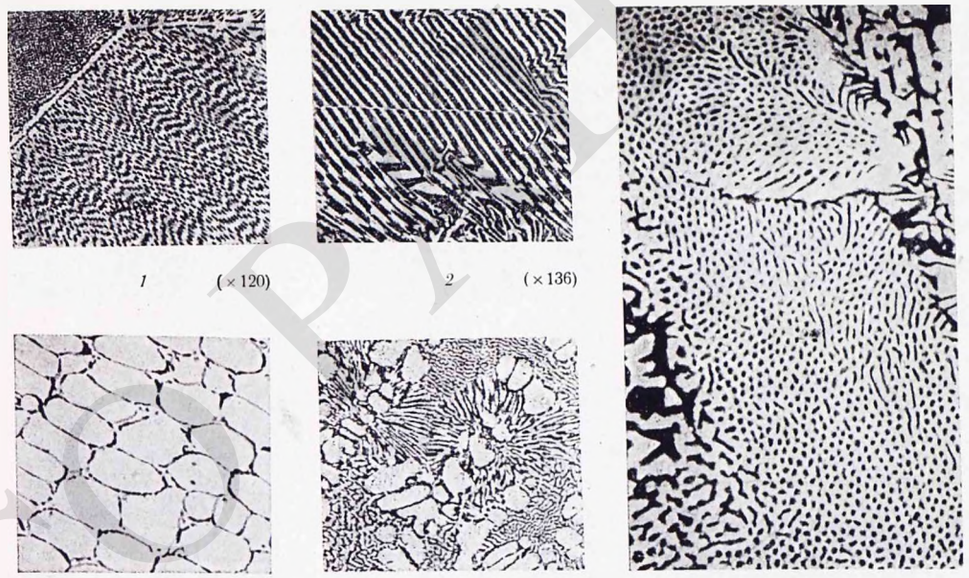
$$i_0 = \frac{E}{R_0} \qquad (1)$$

(пренебрегая малым сопротивлением батареи и катушки). При возбуждении слабым, чисто синусоидальным током частоты ω сопротивление возрастает и колеблется около величины $R > R_0$, по закону $R + r \sin \omega t$, и сила тока выражается так:

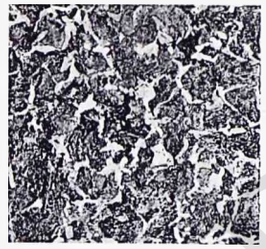
$$I = \frac{E}{R + r \sin \omega t}, \qquad (2)$$

где r — амплитуда переменного сопротивления. Это выражение можно разложить в ряд

* Бар = дина/см².

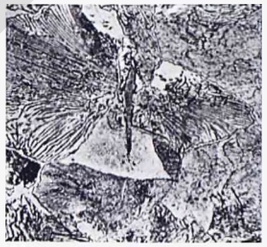


1—3. Образцы структур эвтектич. сплавов: *1*—81% Ni + 19% P (атомные %); *2*—88% Mg + Sn; *3*—ледебурит (4,3% C + 95,7% Fe; весовые %). *4—6.* Образцы структур до- и заэвтектоидных сплавов (эвтектика—63% Sn и 37% Pb): *4*—85% Sn + 15% Pb; *5*—74% Sn + 26 Pb; *6*—45% Sn + 55% Pb. *7—9.* Сплав доэвтектоидный (железоцементит, Fe—Fe_3C); на фоне эвтектоида выделился доэвтектоидный компонент (феррит на фоне перлита); протрава 1% HNO_3.



10 (×150)

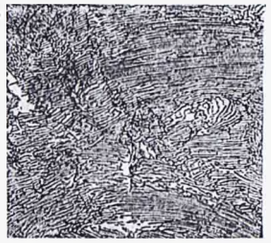
11 (×600)



12 (×600)

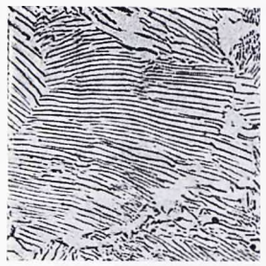
13 (×1200)

14 (×1200)



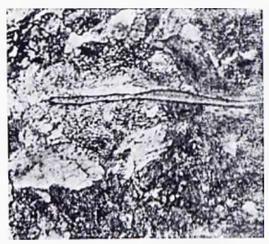
15 (×600)

16 (×1200)

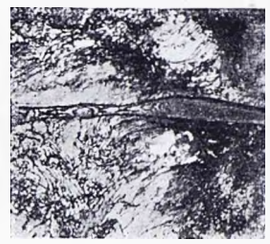


17 (×1200)

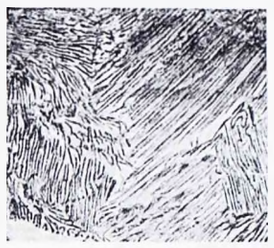
18 (×150)



19 (×600)



20 (×1200)



21 (×1000)

10—12. Сплав доэвтектоидный (железо—цементит, Fe—Fe_3C); на фоне эвтектоида выделился доэвтектоидный компонент (феррит на фоне перлита); протрава 1% HNO_3. *13—15.* Сплав заэвтектоидный (Fe—Fe_3C); на фоне перлита выделился цементит: *13*—протрава 1% HNO_3; *14*—тот же шлиф—цементит черный; протрава пикрат натрия. *16—17.* Перлит: *16*—протрава 1% HNO_3; *17*—протрава пикрат натрия. *18—20.* Перлит при разных увеличениях: одно и то же место шлифа, на что указывает включение в центре (шлак). *21.* Видоизменение структуры перлита (0,45% C) в зависимости от скорости охлаждения образца. Нормализованная сталь (остывание на воздухе с 900°); феррит и пластинчатый перлит.

ТРЕСТ „ПОЛИГРАФКНИГА"

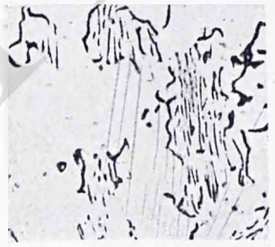
© ГПНТБ

22 (×1000)

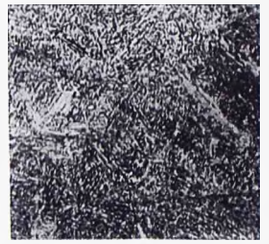
23 (×1000)

21 (×1000)

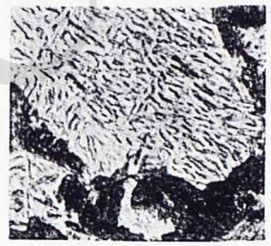
25 (×1000)



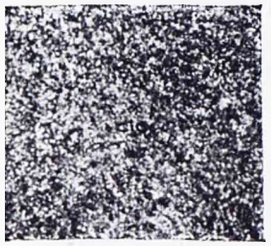
26 (×1000)



27

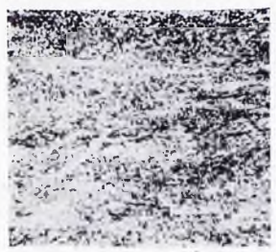


28



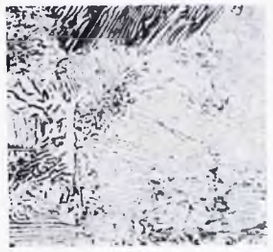
29

30 (×1000)



31 (×1000)

32 (×1000)

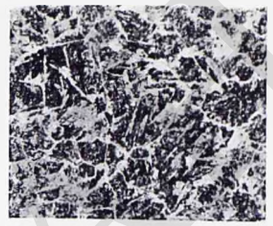


33 (×1000)

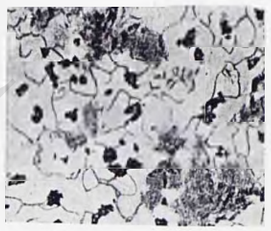
22—26. Видоизменение структуры перлита (0,45% C) в зависимости от скорости охлаждения образца: *22*—медленное остывание в области A_{r1}; часть перлита собирается в шарики; *23*—очень медленное остывание в области A_{r1}; феррит и зернистый перлит; *24*—холоднообработанный образец, после долгой выдержки (несколько часов) в области A_{c1} и очень медленно остуженный; распадение цементита с выделением крупнозернистого цементита; *25*—то же с еще большей выдержкой в интервале критич. температур; структурносвободный цементит на фоне феррита (но не перлита); *26*—тот же шлиф, но травленный пикратом натрия; цементит окрасился в черный цвет. *27.* Структура мартенсита; закалка при $t^0 A_{c1}+30^0$; штрихи указывают на напряженное состояние металла. *28.* Тот же шлиф, но нагретый до 250° (отпуск); переход распадающегося мартенсита в троостит (темные пятна). *29.* Тот же шлиф; отпуск 650°; структура очень мелко раздробленного перлита—сорбит. *30—33.* Изменения от нагрева холоднопротянутой проволоки (0,75% C): *30*—протянутая проволока с сорбитовой структурой, шлиф вдоль вытяжки; нагрев до 200—300° структуры не изменяет; благодаря такой обработке металл обладает большим врем. сопрот. на разрыв (K_z=150 *кг/мм²*) и высокими упругими свойствами; *31*—то же после ½-час. нагрева до 500° и охлаждения на воздухе—точечный перлит (сорбит). Структурносвободный феррит начинает собираться в отдельные кристаллы; K_z=125 *кг/мм²*; *32*—то же после ½-час. нагрева до 650° (зернистый перлит); дальнейшее коагулирование цементита и перекристаллизация феррита; K_z=83 *кг/мм²*; *33*—то же после нормализации—пластинчатый перлит; K_z=78 *кг/мм²*.

© ГПНТБ

34 (×100)



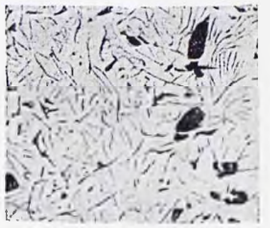
35 (×100)



36 (×100)

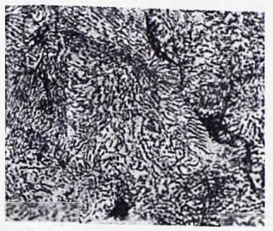
37 (×200)

38 (×20)

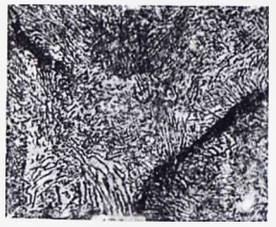


39 (×20)

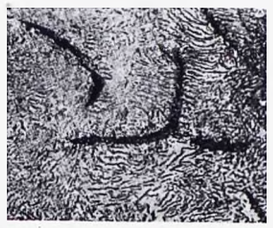
40 (×19)



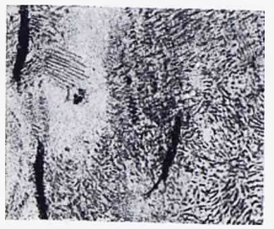
41



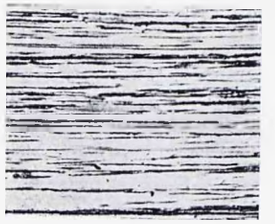
42



43



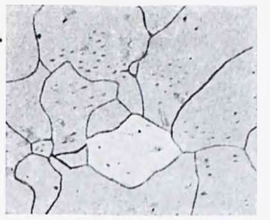
44



45

46

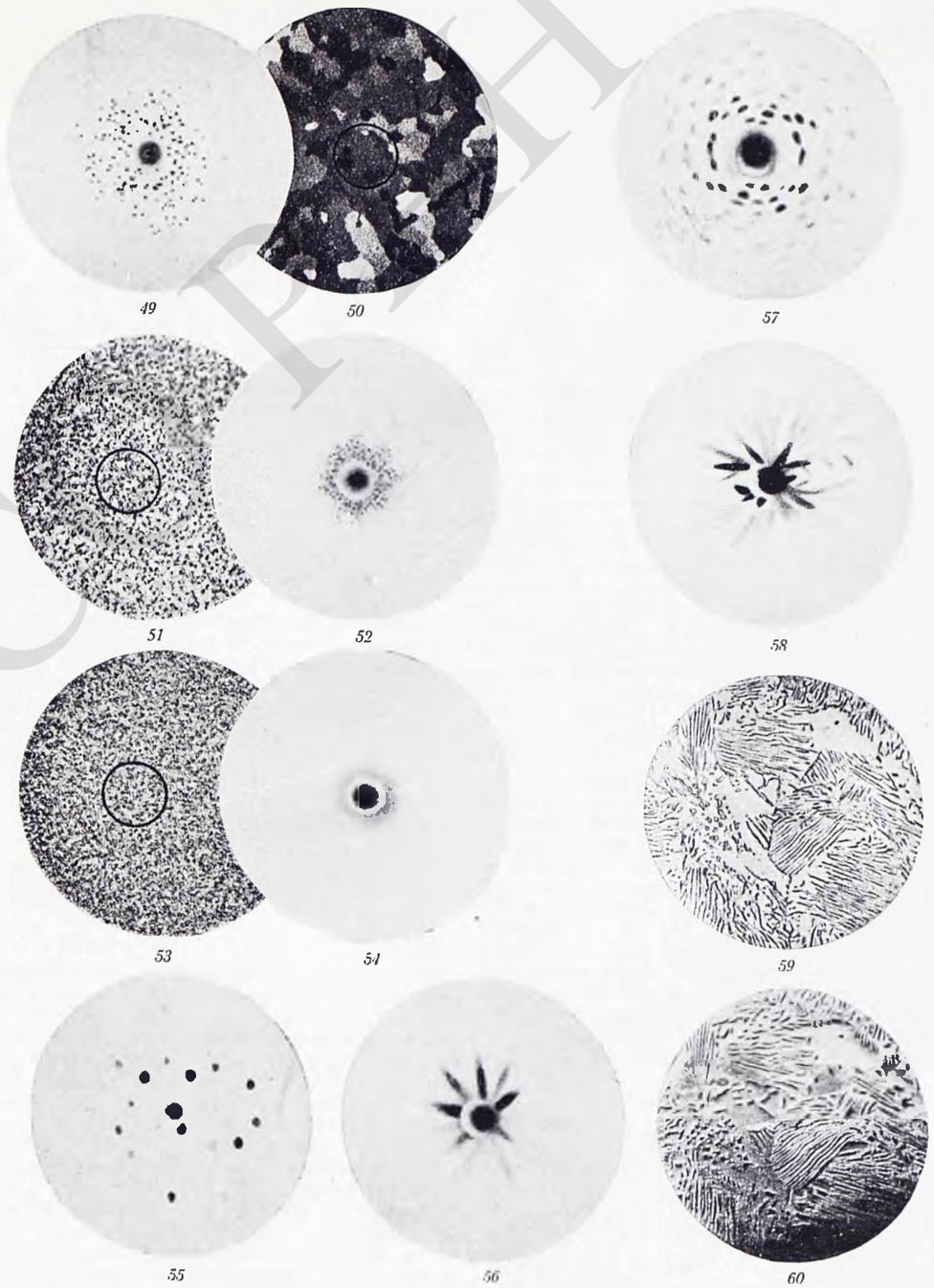
47



48

34. Сталь (24% Ni, 0.5% C); двойниковый кристалл аустенита. *35*. Сталь (1,47% C), нормализованная; иглы и сетка цементита на фоне перлита. *36*. То же после 72-час. нагрева при 800°; разложение структурносвободного цементита на феррит и углерод отжига ($Fe_3C = 3Fe + C$); цементит в структуре перлита не разложился. *37*. Чугун с 3,5% C; углерод (3,1% C) выделился в свободном состоянии (графит); 0,4% C образовали перлит; феррит в структурносвободном состоянии; низкие механич. качества чугуна. *38* и *39*. Эвтектика графитистого чугуна ($Fe + C$). *40*. Заэвтектический чугун; на фоне графитной эвтектики избыточные кристаллы (черные полосы) графита. *41—44*. Перлитографитный чугун (перлитный чугун, сталистый); структурносвободного феррита нет. Чугун очень высоких механич. качеств; $K_z = 35–40$ *кг/мм²*, удлинение до 8%. *45—48*. Изготовление шлифов: *45*—шлиф с наждачной бумаги 000000; резкие штрихи от наждака; *46*—то же, плохо проведенная полировка; оба шлифа (*45*, *46*) без протравы; *47*—шлиф протравленный—негоден; *48*—тот же (*47*) шлиф, хорошо подготовленный и протравленный; чистое железо.

© ГПНТБ СССР



49—58. Рентгенограммы. Диффракционный метод (Лауэ)—просвечивание рентгеновскими лучами дает возможность, не изготовляя шлиф, определить размеры кристаллов образца: чем крупнее кристаллы в образце, тем резче диффракционные пятна. Один кристалл (*55*) дает точное геометрич. расположение диффракционных пятен, соответствующее расположению атомов в кристаллической решетке: *49*—дает мелкие пятна, беспорядочно расположенные (как и кристаллы на пути луча); *50*—луч пронизывает ок. 120 кристаллов; *51—52*—то же, но поле покрыто 2000 кристаллов; соответственно пятна мельче; *53—54*—то же с $\sim$ 1000000 кристаллов; вместо пятен—ореол; *55—56*—рентгенограмма деформированного на холоду кристалла (*56*); астеризм (звезда) вместо пятен (*55*); *57—58*—изгиб кристалла; направление лучей астеризма указывает направление усилия при деформации. *59—60.* Доэвтектоидная сталь; освещение нормальное (*59*) и боковое (*60*); полоски цементита, как более твердые, выступают над ферритом (углубления).

© ГПНТБ СО РАН

Фурье, содержащий члены с частотой ω, 2ω, 3ω и т. д. [6]:

$$I = I_0 + I_1 \sin \omega t + I_2 \cos 2\omega t + \ldots, \quad (3)$$

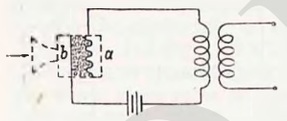
где

$$I_0 = \frac{E}{\sqrt{R^2 - r^2}},$$

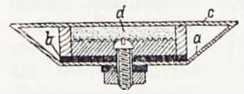
$$I_1 = \frac{2E}{\sqrt{R^2 - r^2}} \cdot \frac{\sqrt{R^2 - r^2} - R}{r},$$

$$I_2 = \frac{-2E}{\sqrt{R^2 - r^2}} \left(\frac{\sqrt{R^2 - r^2} - R}{r} \right)^2.$$

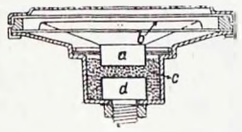
Перемен. ток основн. частоты независимо от свойств мембраны только тогда свободен от высших гармоник, когда r мало по сравнению с R, т. е. когда М. нечувствителен или слабо возбуждается. Поэтому угольные М., предназначенные для передачи музыки, где важна чистота передачи, делают по конструкции малочувствительными; для М. же, передающих обыкновенный разговор, это требование играет не столь существенную роль, и при конструировании их стремятся достигнуть наибольшей чувствительности даже за счет качества передачи. На фиг. 6 изображен обыкновенный М. для передачи разговора, состоящий из капсуля a, на дне к-рого прикреплена угольная колодка b; сверху капсуль закрывается угольной мембраной c и между мембраной и колодкой насыпан угольный порошок d в виде зерен; чтобы порошок не рассыпался, вокруг уголька колодки до самой мембраны кладут мягкий войлок. Чувствительность М. большая—при преобразовании звуковой энергии в



Фиг. 5.



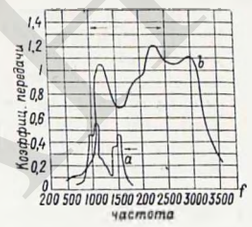
Фиг. 6.



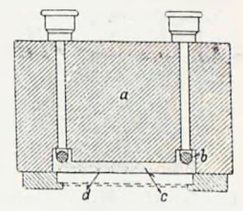
Фиг. 7.

электрическую они дают усиление до 30 раз, но вносят большие искажения и не могут применяться для передачи музыки. М. такой конструкции имеют еще тот недостаток, что при горизонтальном положении в них получается обрыв контакта. В момент обрыва появляются между контактами вольтовы дуги и происходит спекание порошка. Во избежание этого за последнее время подвижный электрод погружают в порошок. На фиг. 7 представлен М. с погружающимся электродом a [7] с мембраной из тонкой фольги из сплава алюминия конич. формы b (d—неподвижный электрод, c—угольный порошок). На фиг. 8 приведены кривые коэф-тов передачи прежнего устройства (a) и нового (b) М. с алюминиевой мембраной (коэф. передачи в условных единицах). Последний благодаря облегченной мембране особой формы имеет бо́льшую чувствительность и передает более широкую полосу частот.

Одним из лучших угольных М. для передачи музыки является М. сист. Рейса (фиг. 9), устроенный т. о.: в полости массивного прямоугольного куска мрамора a (на передней стороне) имеется углубление, по обеим сторонам которого вставлены угольные электроды b, служащие для подводки тока. Вся полость заполняется особо изготовленным



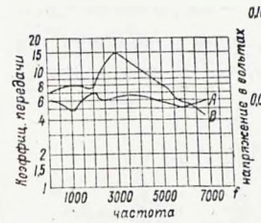
Фиг. 8.



Фиг. 9.

угольным порошком c, затем она закрывается резиновой (или слюдяной) мембраной d толщиной в несколько сотых мм. Это препятствует не только выпадению порошка, но и проникновению сырости, что имеет важное значение для хорошей работы М. На резиновую пленку натягивается сетка из шелкового газа и обе они плотно прижимаются к мрамору рамкой из эбонита. Отдача М. в сотни раз меньше обыкновенного угольного М., но зато он передает широкий диапазон частот (фиг. 10) и имеет, можно считать, прямолинейную зависимость между звуковым давлением и эдс M_1 (фиг. 11); благодаря этому, а также в виду простоты обслуживания, этот М. получил очень большое применение как в СССР, так и за границей в радиовещании (на фиг. 10 и 11 кривая A относится к М. большого размера, кривая B—к М. малого размера).

Важным недостатком угольных М. является наличие т. н. нелинейных искажений, происходящих от несимметричного изменения сопротивления при движении мембраны внутрь и кнаружи. Эти искажения сводятся к тому, что чистый тон превращается в звук с большим количеством обертонов, а при звучании двух или большего числа тонов образуется в цепи М. целый ряд комбинационных тонов, частоты к-рых составляют комбинации сумм и разностей входящих тонов. Сложные комбинационные тоны могут сделать передачу музыкальных вещей совершенно неузнаваемой. Нелинейные искажения очень велики в простом угольном М., они слабее в М. сист. Рейса.



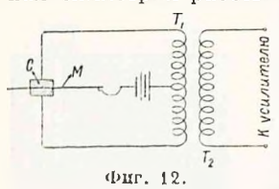
Фиг. 10.

Фиг. 11.

Двойной М. позволяет почти совершенно избавиться от нелинейных искажений. Идея устройства двойного М. дана на фиг. 12. В нем угольная мембрана M колеблется между двумя слоями угольного порошка C, и каждая из половин образованного т. о. М. действует на половину первичной обмотки T_1 трансформатора. Во вторич-

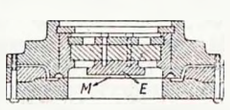
© ГПНТБ

ной обмотке T_2 трансформатора токи, индуктируемые двумя половинами первичной обмотки, складываются. Т. о. достигается полная симметрия работы М. в обе половины периода и уничтожается причина нелинейных искажений. Двойной микрофон широко применяется в американских широковещательн. станциях.



Фиг. 12.

Конденсаторный М. Превращение звуковой энергии в электрическую возможно также методом конденсаторного М. При действии звука изменяется емкость конденсаторного М., у которого одна или обе обкладки представляют собою мембраны. В простейшем случае одна обкладка является мембраной, а другая—неподвижным электродом. Такой микрофон сконструирован Венте (фиг. 13) [8]. Чрезвычайно сильно натянутая стальная мембрана M толщиной 0,05—0,07 *мм* (собственная частота такой мембраны лежит выше музыкального спектра) находится на расстоянии 0,02 *мм* от неподвижного круглой формы электрода E, представляющего вторую обкладку. Трение воздуха в узком промежутке дает сильное затухание и повышает собственную частоту мембраны. Рассмотрим схему включения микрофона (фиг. 14). При слабом возбуждении микрофона синусоидальным тоном можно принять, что емкость его будет изменяться по тому же закону:



Фиг. 13.

$$C = C_0 + C_1 \sin \omega t, \qquad (4)$$

где C_0—емкость М. в спокойном состоянии, а C_1—амплитуда переменной емкости, малая по сравнению с C_0. Выражение для тока в цепи будет

$$E - Ri = \frac{1}{C}\int i\,dt. \qquad (5)$$

Путем подстановки в ур-ие (5) значения C из ур-ия (4) и дифференцированием по t получается:

$$(C_0 + C_1 \sin \omega t)\, R\frac{di}{dt} +$$
$$+ (1 + RC_1\omega \cos \omega t)\, i - EC_1\omega \cos \omega t = 0.$$

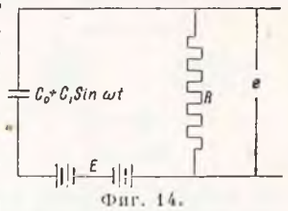
Решение ур-ия (5) [9], если пренебречь третьей и высшими степенями величины $\frac{C_1}{C_0}$, имеет вид

$$i = \frac{EC_1 [\sin(\omega t + \varphi_1)]}{C_0\sqrt{\left(\frac{1}{C_0\omega}\right)^2 + R^2}} -$$
$$- \frac{EC_1^2 R [\sin(2\omega t + \varphi_1 - \varphi_2)]}{C_0^2\sqrt{\left[\left(\frac{1}{C_0\omega}\right)^2 + 4R^2\right]\left[\left(\frac{1}{C_0\omega}\right)^2 + R^2\right]}}. \qquad (6)$$

Следовательно при синусоидальном звуковом возбуждении получается чистый синусоидальный ток тогда, когда C_1 мало по сравнению с C_0; тогда получается напряжение на концах сопротивления R:

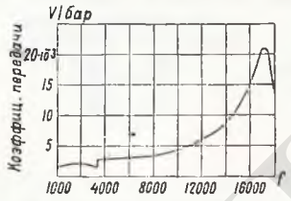
$$E = iR = R\frac{EC_1}{C_0\sqrt{\left(\frac{1}{C_0\omega}\right)^2 + R^2}}. \qquad (7)$$

Из приведенных выше ур-ий ясно видно, что конденсаторный М. работает по принципу реле, переменное напряжение возрастает пропорционально постоянному напряжению. Увеличение чувствительности повышением постоянного напряжения ограничивается возможностью пробоя конденсатора, чему благоприятствуют влажность и частички пыли. По данным работы Венте на конденсаторный М. при расстоянии между его пластинами 0,02 *мм* безопасно давать постоянные напряжения 400 V. Коэфициент передачи М. сист. Венте мал (фиг. 15), но в музыкальном спектре частот его можно считать мало зависящим от частоты; собственная частота мембраны находится около $f = 17\,000$.



Фиг. 14.

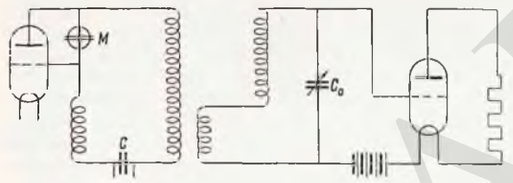
Большое применение имеет второй тип конденсаторного М., разработанного Риггером [10] (фиг. 16). Он состоит из неподвижной обкладки a, имеющей узкие щели, и другой обкладки b, представляющей собою тончайшую алюминиевую фольгу, расположенную между двумя слоями тонкой шелковой материи. От мембраны b как с одной, так и с другой стороны на близком расстоянии находятся твердые стенки благодаря чему при колебании образуются как бы воздушные подушки, вследствие чего собственная резонансная частота мембраны, как и в М. Венте, оказывается очень высокой. М. сист. Риггера можно включать по указанной выше схеме, но обычно он включается по схеме фиг. 17 как емкость в анодный контур лампового генератора высокой частоты, с которым индуктивно связывается контур сеткапить второй лампы. Вторая лампа работает как детектор. Пусть колебательный контур в цепи сетки настроен на частоту f_0 и генератор высокой частоты доставляет колебания, к-рые можно переменным конденсатором C, включенным параллельно конденсаторному М., получить той же частоты f_0. Если изобразить графически силу индуктированного тока I в контуре сетки лампы в зависимости от изменения емкости C в колебательном контуре генераторной лампы, то получится воспроизведенная на фиг. 18 резонансная кривая. Установив в колебательном контуре генератора емкость равной C_0, получим в контуре сетки ток I_0. Во время разговора мембрана конденсаторного микрофона будет колебаться, этим самым изменяя емкость колебательного контура, благодаря чему в контуре сетки второй лампы ток будет колебаться около средней величины I_0, т. е. незатухающие колебания лампового генератора модулируются в соответ-



Фиг. 15.

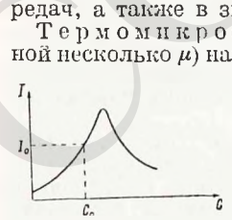
Фиг. 16.

ствии с звуковыми колебаниями, действующими на конденсаторный М. Т. к. вторая лампа работает как детектор, то в анодной цепи ее получится переменный ток, форма кривой к-рого подобна форме звуковых колебаний. Разобранная схема включений не вносит искажений и сильно увеличивает отдачу М. На фиг. 19 и 20 приведены частотная и амплитудная кривые М.; из них видно, что коэф. передачи М. для частот музыкального спектра можно считать постоянным и зависимость напряжения V от звукового давления P совершенно линейна. Конденсаторные М. системы Риггера и Венте вследствие своих исключительно хороших качеств с успехом применяются для концертных передач, а также в звуковом кино.

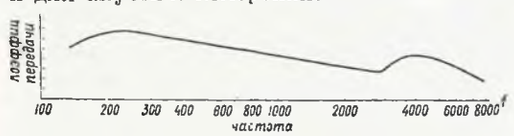


Фиг. 17.

Термомикрофоны. Тонкая (толщиной несколько μ) накаленная постоянным током платиновая проволока вносится в звуковое поле. Звуковые волны падая будут ее охлаждать и следовательно изменять ее сопротивление в такт звуковым колебаниям. Происходящим от этого колебаниям тока соответствует колебание напряжения на концах включенного в эту цепь сопротивления или трансформатора, которое подводится затем к соответствующему усилителю. Теоретическое и экспериментальное исследование термомикрофонов произведено Гиппелем и Ветцманом [11]. Практич. значения в технике связи термомикрофоны не имеют; применяются они для опытных целей звукоулавливания в военной технике [12] и для акустич. измерений.



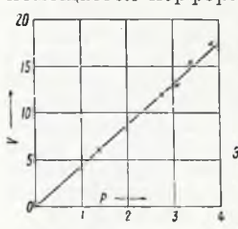
Фиг. 18.



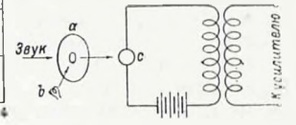
Фиг. 19.

Световой М. [13]. Этот М. основан на свойстве фотоэлемента менять ток в цепи, в к-рую он включен, при изменении интенсивности освещения. Схематич. устройство светового микрофона следующее (фиг. 21). В центре легкой мембраны a укреплено маленькое зеркальце. Колеблющаяся система делается легкой с собственной частотой, лежащей гораздо выше звуковых частот. Пучок света от источника b падает на зеркальце, к-рым он отбрасывается на фотоэлемент c. При колебаниях мембраны под воздействием звука сила освещения фотоэлемента меняется, вследствие чего меняются и его сопротивление и сила тока в цепи, причем зависимость силы тока от силы освещения строго линейна. Вызванные так. обр. изменения напряжения через трансформатор подводятся к усилителю. Световые М. точно воспроизводят звук и являются весьма совершенными аппаратами для передачи музыки.

Газовые М. [13]. Устройство газовых М. основано на явлении переноса электричества посредством ионов между двумя электродами. Переменные звуковые давления изменяют ионный поток, который создает т. о. изменения в величине постоянного тока. Этот эффект используется газовым М.—катодофон фирмы Лоренц (фиг. 22). Катодом служит тело k из окиси кальция, накаливаемое до желтого цвета посредством вложенной спирали из платины. Против него помещается перфорированный анод a, с которым соединяется рупор R для улавливания звуковых волн. Между анодом и катодом включается через высокоомное сопротивление W батарея в 500 V. При расстоянии в 0,5 *мм* между электродами получается ток в 0,2 mA. Сила его изменяется от интенсивности звука. Преимущество катодофона в том, что он не имеет мембраны; здесь приводятся в движение лишь воздушные массы, так что этот М. можно считать свободным от инерции. Эдс, наводимая в цепи катодофона, пропорциональна амплитуде смещений частиц в звуковой волне, т. е. при одинаковом звуковом давлении эдс обратно пропорциональна частоте. Для избежания искажений катодофон должен иметь усилитель с коэф-том усиления, прямо пропорциональным частоте [14]. Однако у него есть нек-рые недостатки. Разложение окиси вследствие влажности воздуха и высокой $t°$ обусловливает малую продолжительность службы М.

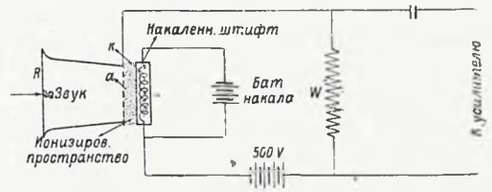


Фиг. 20.



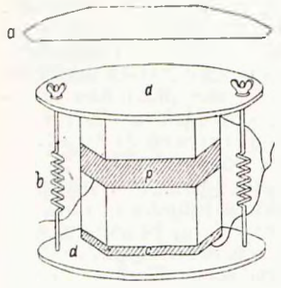
Фиг. 21.

Пьезоэлектрические М. [15]. Возможно превращение звуковой энергии в электрическую использованием пьезоэлектрич. эффекта. Известно, что в нек-рых кристаллах при давлении или растяжении создается электрическое напряжение. Этим свойством обладают в сильной степени кристаллы кварца, турмалина, сегнетовой соли, сахара, виннокаменной кислоты и пр. Ясно, что при помощи пьезоэффекта можно получить микрофонный эффект, если кристалл снабдить электродами и воздействовать на него переменным звуковым давлением. Опыты с кри-



Фиг. 22.

сталлич. М. из сегнетовой соли были впервые произведены в 1919 году Никольсоном в США [16]. Кристалл сегнетовой соли (размерами в несколько *см*), имеющий форму призмы *a* своеобразного сечения (фиг. 23) с плоскими основаниями, зажимается посредством пружинного зажима *b*, сдавливающего его с силой нескольких килограммов. В сжатом состоянии этот кристалл очень чувствителен к добавочному переменному давлению и кручению. Электродами служат: металлич. пояс *p* посреди кристалла и два основания *c* (верхнего на фиг. 23 не видно), соединенные вместе. Звуковое давление воздействует на мембрану, натянутую в виде цилиндрич. оболочки на сжимающие кристаллы диски *d*. Мембрана у Никольсона была сделана из золотобитной кожи. Пьезомикрофоны пока не приобрели практич. значения [12].



Фиг. 23.

Лит.: [1]) Fletcher, «Bell System Technical Journal», N. Y., 1922, p. 129; [2]) Wagner K. W., «Elektrotechn. Ztschr.», 1924, p. 451; [3]) Gerlach E., «Phys. Ztschr.», Lpz., 1924, p. 675; Schottky, ibid., p. 672; [4]) Hartmann C. A., Elektrotechn. Nachrichten, Eisonach, 1927, H. 9; [5]) Шмаков П., Принципы радиотелефонии, стр. 17, М., 1930; [6]) Waetzmann, «Phys. Ztschr.», Lpz., 1914, p. 638; Waetzmann, «Ztschr. f. Physik», Brschw., 1920, p. 271; [7]) Grunsted W. H., «Telephony», 1929, 23, p. 32; [8]) Wente E. C., «Phys. Review», Lancaster, N. Y., 1922, p. 498, 1917, p. 39; Яковлев, «ТиТбП», 1928, стр. 600; [9]) Wente, «Phys. Review», Lancaster, N. Y., 1917, p. 39; [10]) Riegger, «Wiss. Veröffentl. a. d. Siemens Konz.» B., 1924, p. 67; [11]) Hippell, «Ann. d. Physik», Lpz., 1924, p. 521; Hippell, «Ztschr. f. Physik», Brschw.—B., 1925, p. 716, «Ann. d. Physik», Lpz., 1924, p. 521; Waetzmann E., ibid., 1925, p. 39; Waetzmann E., «Ztschr. f. Phys.», Brschw.—B., 1924, p. 110, 1925, p. 50, 131; [12]) Tuckera Paris, «Philos. Trans. of Roy. Soc. of London», L., 1921, v. 221 A, p. 389; [13]) Weichart, «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1926, p. 126; Lee de Forest, «La Nature», 1923, p. 739; [14]) Meyer E., «Elektrische Nachrichten-Technik», B., 1929, B. 6, p. 1; [15]) Russel, «Electr. Review», L., 1923, p. 92; Яковлев и Иванов, «Вестник теоретич. и экспер. электротехники», М., 1928, стр. 470; [16]) Nicolson A., «Proc. of the Amer. Inst. of Electr. Eng.», N. Y., 1919, v. 38, p. 1315.

К. Бебяков.

МИКРОФОТОГРАФИЯ, см. *Фотография.*

МИКРОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, или микроанализ, особая методика химического анализа, позволяющая работать с весьма малыми количествами вещества, часто даже не поддающимися исследованию обычными методами аналит. химии (методами «макроанализа»). Преимущества М. а. перед обыкновенным анализом, кроме более широкой применимости, заключается гл. обр. в его высокой чувствительности, точности, надежности и значительной экономии времени и реактивов. Качественный М. а. позволяет открывать большинство химич. элементов в количествах 0,1—0,001 *µг* (1 *µг* = 0,001 *мг*), количественный М. а.—исходить из навески в 2—10 *мг*. М. а. находит наибольшее практич. применение в органич. и физиологич. химии, в медицинских (анализ мочи, крови и т. п.) и судебно-медицинских исследованиях, а также при анализе всякого рода редких, трудно доступных или опасных в обращении веществ (например сильно ядовитых или взрывчатых). За последние годы М. а. получил значительн. распространение в минералогии, в горно-разведочном деле и в производственной технике—для анализа минералов, горных пород, минерального сырья, стекла, технич. металлов и сплавов; в этих случаях химич. исследование нередко соединяют с микрометодами определения физич. констант—уд. веса, твердости, показателя преломления и т. д.

Качественный М. а. Выполнение качественного М. а. в большинстве случаев (но не всегда) связано с применением микроскопа, позволяющего наблюдать образование кристаллических осадков при реакциях (в капле жидкости) и отмечать форму, вид и величину кристаллов, скорость их роста и характерное расположение, цвет, светопреломляющие свойства, отношение к поляризованному свету, растворимость и т. д. Эти т. н. кристаллореакции являются специфич. принадлежностью М. а. и играют в нем наиболее важную роль. Кроме того в М. а. пользуются и другими характерными, как осадочными, так и красочными, реакциями на отдельные элементы, ионы, группы и соединения, применяемыми в обычном химическом анализе, с соответственным лишь изменением их методики в сторону повышения чувствительности.

Методика работы. Для качественных микрореакций берется одна капля раствора, наносимая при помощи проволочной петли на стеклянную пластинку. Осаждающий реактив вводится чаще всего в твердом виде; для этого крупинку его вносят при помощи платиновой иглы в каплю у самого ее края. Кристаллизация образующегося осадка, наблюдаемая под микроскопом, постепенно распространяется внутрь капли, причем на нек-ром расстоянии от крупинки реактива кристаллы достигают максимальной величины. Если реактив берется в жидком виде, то каплю его помещают на стекло рядом с каплей исследуемого раствора и соединяют их тонким штрихом, проведенным иглой: кристаллизация начинается в точке соприкосновения жидкостей и по мере их диффузии медленно распространяется в обе стороны. Хорошее кристаллообразование наблюдается только при определенной концентрации взятых растворов. Для отделения осадка от жидкости (напр. при промывании его) отводят иглой в сторону прозрачную часть капли и затем наклонением стекла дают капле стечь, или же отсасывают жидкость капиллярным сифоном. Высокодисперсные, не пристающие к стеклу микроосадки отделяют исключительно центрифугированием, после чего осветленную жидкость над осадком удаляют капиллярной пипеткой. При исследовании смесей или веществ неизвестного состава необходимо производить систематич. анализ, т. е. выделять определенные группы элементов и исследовать их (после отделения) микрохимич. путем. При этом чаще всего применяют обычное разделение на аналитич. группы, пользуясь общими приемами качественного анализа и употребляя лишь соответственно уменьшенные количества воды и реагентов. Групповое осаждение производят в пробирках с заостренным концом и в них же центрифугируют и промывают осадки. Реже применяется фильтрование (под давлением). Из других операций в М. а. часто применяется возгонка, позволяющая освободить вещество от примесей и получить его в характерных кристаллах. Возгонку производят между двумя плоскими стеклами, разделенными кольцом из асбестового картона; для более высоких *t°* нижнее (нагреваемое) стекло заменяется платиновой пластинкой; сложные органич. вещества (напр. алкалоиды) иногда возгоняют в вакууме, что требует более сложной аппаратуры. Красочные реакции в жидкой среде, применяемые довольно часто, не представляют каких-либо особенностей; если окрашивание в капле мало заметно, то каплю втягивают в капилляр и просматривают вертикально через лупу или микроскоп при слабом увеличении. В ряде случаев очень отчетливые красочные реакции получаются на волокне, для чего пропитывают реактивом шелковую, льняную или хл.-бум. нитку и затем погружают ее в пробную каплю.

Аппаратура. Аппаратура качественного М. а. несложна и очень портативна. Существенной принадлежностью ее является микроскоп с 80—250-кратным увеличением, достаточно большим фокусным расстоянием (т. к. каплю наблюдают б. ч. без покровного стекла) и широким полем зрения; при некоторых исследованиях применяется также поляризационный микроскоп. Второй необходимый прибор—маленькая центрифуга с ручным приводом, дающая 2 000—3 000 об/мин. Кроме этого требуются: предметные стекла (27 × 40 *мм*), ненские часовые стекла (диам. 3 *см*), пробирки (7,5 × 50 *мм* и 6 × 30 *мм*), капиллярные трубки, стеклянные палочки (диам. 2 *мм*), пипетка с тонко оттянутым кончиком и резиновым шариком, фарфоровая чашечка (диам. 3 *см*), игла из платиновой проволоки диам. 0,5 *мм*, набор петель из такой же проволоки, с диаметром ушка 2—4 *мм* (для дозировки жидких реактивов), платиновый шпатель, такая же ложечка (служит тиглем) и микрогорелка. При реакциях, сопровождаемых выделением HF, предметные стекла покрывают коллодием (или вместо них берут пластинки из целлона), а объектив микроскопа защищают, приклеивая к нему кусочек покровного стекла, смоченный каплей глицерина.

Реактивы. Набор реактивов для М. а. определяется в значительной мере характером объектов, поступающих на исследование. Важнейшими реактивами, необходимыми во всяком наборе, являются: обычные к-ты и щелочи, хлористые соли натрия, калия, рубидия, цезия, аммония, магния, ртути ($HgCl_2$), золота ($AuCl_3$) и платины ($PtCl_4$), иодистый и иодноватокислый калий, фтористый кальций, нитрит калия, нитраты калия, таллия ($TlNO_3$), серебра и висмута, сульфаты натрия, калия и цезия, карбонат и бикарбонат натрия, фосфат натрия, бихроматы калия и аммония, роданистые калий и аммоний, железистосинеродистый калий, перекись водорода, перекись натрия, уксусная кислота, ацетаты натрия, магния, кальция, стронция, бария, свинца, кобальта, меди и уранила (UO_2), щавелевая кислота, оксалат калия (средний и кислый), винная к-та, тартрат натрия, пиридин, диметилглиоксим, бензидин солянокислый, нитрон-ацетат. По мере надобности этот список дополняется другими реактивами. М. а. органич. веществ требует большого числа специальных реактивов. Все реактивы, за исключением минеральных к-т и щелочей, сохраняются в твердом виде, в склянках емкостью 3—5 *см*³ с пришлифованными крышками, помещаемых в небольшом ящике с гнездами.

Важнейшие микрореакции неорганич. ионов. Ниже указаны только конечные продукты реакций, т. е. состав осадков, получаемых введением необходимых ионов (из реактивов, перечисленных выше) в жидкость, содержащую открываемый ион. В скобках дана чувствительность реакции, указывающая наименьшее количество элемента в *µг*, открываемое в одной капле пробы.

А. Реакции на металлы. **NH_4:** открывается выделением в виде хлороплатината, $(NH_4)_2PtCl_6$ (0,1 *µг* NH_4). — **Li:** в виде ортофосфата, Li_3PO_4 (0,4 *µг* Li), карбоната, Li_2CO_3 (0,25 *µг*) или фторида, LiF (0,25 *µг*). — **Na:** в виде фторосиликата, Na_2SiF_6 (0,16 *µг*), Na-уранилацетата, $Na(UO_2)(CH_3{\cdot}COO)_3$ (0,8—0,1 *µг*), Na-Bi-сульфата, $3\,Na_2SO_4{\cdot}2\,Bi_2(SO_4)_3$ (0,04 *µг*), пироантимоната, $Na_2H_2Sb_2O_7{\cdot}6H_2O$ или хлороплатината, Na_2PtCl_6. — **K:** в виде фосфорномолибденовокислого калия, $K_3PO_4{\cdot}10\,MoO_3{\cdot}3\,H_2O$ (0,3 *µг*), K-Bi-сульфата, $(2\,K_2SO_4){\cdot}Bi_2(SO_4)_3$ (0,2 *µг*), K-Cu-Pb-нитрита, $K_2CuPb(NO_2)_6$ (0,15 *µг*), хлороплатината, K_2PtCl_6 (0,3—0,1 *µг*) или перхлората, $KClO_4$ (0,1 *µг*). — **Be:** в виде K-Be-оксалата, $BeC_2O_4{\cdot}K_2C_2O_4$ (0,08 *µг*). — **Mg:** в виде аммоний-Mg-ортофосфата, $NH_4MgPO_4{\cdot}6\,H_2O$ (0,05—0,01 *µг*) или пироантимоната, $MgH_2Sb_2O_7{\cdot}9\,H_2O$. — **Ca:** в виде оксалата, $CaC_2O_4{\cdot}H_2O$ (0,06 *µг*), сульфата (гипса), $CaSO_4{\cdot}2\,H_2O$ (0,05—0,04 *µг*), тартрата, $CaC_4H_4O_6{\cdot}4\,H_2O$ (0,03 *µг*), иодата, $Ca(JO_3)_2$ или Na-Ca-карбоната, $CaCO_3{\cdot}Na_2CO_3{\cdot}5\,H_2O$. — **Sr:** в виде оксалата, SrC_2O_4 (0,8 *µг*), хромата, $SrCrO_4$ (0,8—0,5 *µг*), сульфата, $SrSO_4$ (0,4 *µг*) или иодата, $Sr(JO_3)_2$ (0,1 *µг*). — **Ba:** в виде фторосиликата, $BaSiF_6$ (0,1 *µг*), хромата, $BaCrO_4$ (0,08 *µг*), сульфата, $BaSO_4$ (0,05 *µг*), иодата, $Ba(JO_3)_2$. — **Zn:** в виде дипиридин-Zn-дибромида, $Zn(C_5H_5N)_2Br_2$ (1 *µг*), Zn-Hg-роданида, $Zn(CNS)_2{\cdot}Hg(CNS)_2$ (0,1 *µг*), дипиридин-Zn-дироданида, $Zn(C_5H_5N)_2(CNS)_2$ (0,05 *µг*), Na-Zn-карбоната, $8\,ZnCO_3{\cdot}3\,Na_2CO_3{\cdot}8H_2O$ (0,05—0,01 *µг*) или в виде оксалата, ZnC_2O_4. — **Cd:** в виде Cd-Hg-роданида, $Cd(CNS)_2{\cdot}Hg(CNS)_2$ (1 *µг*), оксалата, $CdC_2O_4{\cdot}3\,H_2O$ (0,4—0,3 *µг*) или Rb-Cd-хлорида, $CdCl_2{\cdot}4\,RbCl$ (0,05—0,01 *µг*). — **$Hg^{\cdot}$:** открывается выделением в виде хромата, Hg_2CrO_4 (0,5 *µг*), хлорюра, HgCl (0,25 *µг*) или в виде металлической ртути (возгонка). **$Hg^{\cdot\cdot}$:** в виде иодида, HgJ_2 (0,1—0,07 *µг*) или Co-Hg-роданида, $Hg(CNS)_2{\cdot}Co(CNS)_2$ (0,05—0,04 *µг*). — **Al:** в виде фтористого аммония-алюминия, $AlF_3{\cdot}3\,NH_4F$ (0,3 *µг*), калиевых квасцов, $KAl(SO_4)_2{\cdot}12\,H_2O$ (0,3—0,2 *µг*), цезиевых квасцов, $CsAl(SO_4)_2{\cdot}12\,H_2O$ (0,1—0,08 *µг*), в виде ализаринового лака с ализариновым красным S (ализаринсульфоновокислым Na) (0,005 *µг*) или же при помощи цветной моториновой реакции (в спиртовом растворе морина—зеленая флуоресценция). — **Sn:** в виде Cs-Sn-хлорида, $SnCl_4{\cdot}2\,CsCl$ (0,2 *µг*) или Rb-Sn-хлорида, $SnCl_4{\cdot}2\,RbCl$ (0,2—0,1 *µг*). — **Pb:** в виде хлорида, $PbCl_2$ (0,3 *µг*), иодида, PbJ_2 (0,2 *µг*), хромата, $PbCrO_4$ (0,15—0,08 *µг*), Cs-Cu-Pb-нитрита, $Cs_2CuPb(NO_2)_6$ (0,03 *µг*) или K-Cu-Pb-нитрита, $K_2CuPb(NO_2)_6$ (0,01 *µг*). — **As:** в виде трехиодистого мышьяка, AsJ_3 (1 *µг*), аммоний-Ca-арсената, $NH_4CaAsO_4{\cdot}6\,H_2O$ (0,5—0,1 *µг*), аммоний-Mg-арсената, $NH_4MgAsO_4{\cdot}6\,H_2O$ (0,1—0,04 *µг*), мышьяковомолибденовокисл. аммония, $(NH_4)_3AsO_4{\cdot}10\,MoO_3{\cdot}3\,H_2O$ (0,2 *µг*) или мышьяковистого ангидрида, As_2O_3 (возгонка). — **Sb:** в виде антимонилоксалата, $(SbO)HC_2O_4{\cdot}H_2O$ (1 *µг*), Na-пироантимоната, $Na_2H_2Sb_2O_7{\cdot}6\,H_2O$ (0,5—0,1 *µг*), Cs-Sb-хлорида, $SbCl_3{\cdot}2\,CsCl{\cdot}2,5\,H_2O$ (0,15 *µг*) или Cs-Sb-иодида, $SbJ_3{\cdot}2\,CsJ$ (0,1 *µг*). — **Bi:** в виде K-Bi-сульфата, $Bi_2(SO_4)_3{\cdot}3\,K_2SO_4$ (0,3 *µг*), K-Bi-оксалата, $KBi(C_2O_4)_2$ (0,3—0,01 *µг*), Cs[и Rb]-Bi-хлорида, $BiCl_3{\cdot}2\,CsCl{\cdot}2,5\,H_2O$ и $BiCl_3{\cdot}2RbCl{\cdot}2,5\,H_2O$ (0,2—0,13 *µг*) или Cs-Bi-иодида, $BiJ_3{\cdot}2\,CsJ$ (0,13 *µг*). — **Cr:** открывается всегда в форме Cr^{VI}, для чего соединения Cr низших валентностей предварительно окисляют в производные CrO_3 (сплавлением с $Na_2O_2 + Na_2CO_3$ или в растворах—нагреванием с $H_2O_2 + NH_3$); после этого Cr^{VI} доказывают выделением в виде Ag-бихромата, $Ag_2Cr_2O_7$ (0,08—0,02 *µг*), Pb-хромата, $PbCrO_4$ (0,02 *µг*) или же хромата бензи-

дина (0,01 *μг*).—**Mn:** в виде оксалата, $MnC_2O_4 \cdot 3H_2O$ (1—0,5 *μг*), или двуокиси, MnO_2(0,2 *μг*); чаще открывают Mn при помощи обычных красочных реакций, для чего сначала переводят его в манганат (сплавлением с $KNO_3 + Na_2CO_3$) или в перманганат (окислением персульфатом или PbO_2) (0,1 *μг* Mn).—**Fe:** в виде аммоний-Fe-флюорида, $FeF_3 \cdot 3NH_4F$ (0,2 *μг*), чаще же всего при помощи красочных реакций с $K_4Fe(CN)_6$ (образование берлинской лазури; 0,07 *μг* $Fe^{...}$) или с KCNS (образование Fe-роданида).—**Co:** в виде K-Co-нитрита, $K_3Co(NO_2)_6 \cdot 3H_2O$ (0,1 *μг*), Co-Hg-роданида, $Co(CNS)_2 \cdot Hg(CNS)_2$ (0,01 *μг*) или аммоний-Co-ортофосфата, $NH_4CoPO_4 \cdot 6H_2O$.—**Ni:** в виде комплексной соли с диметилглиоксимом, $(CH_3 \cdot CNO)_2Ni \cdot (CH_3 \cdot CNOH)_2$ (0,2 *μг*) или с дициандиамидином, $Ni(OC_2H_5N_4)_2 \cdot 2H_2O$, а также в виде K-Ni-Pb-нитрита, $K_2NiPb(NO_2)_6$ (0,008 *μг*) или аммоний-Ni-ортофосфата, $NH_4NiPO_4 \cdot 6H_2O$.—**Cu:** в виде Cu-Hg-роданида, $Cu(CNS)_2 \cdot Hg(CNS)_2 \cdot H_2O$ (0,1 *μг*) или K-Cu-Pb-нитрита, $K_2CuPb(NO_2)_6$ (0,03—0,01 *μг*).—**Ag:** в виде бихромата, $Ag_2Cr_2O_7$ (0,15 *μг*), хлорида, AgCl (0,1 *μг*) или Rb-Ag-Au-хлорида, $AgCl \cdot RbCl \cdot 2AuCl_3$.—**Au:** в виде хлораурата таллия, $TlAuCl_4 \cdot 5H_2O$ (6 *μг*), Zn-Au-роданида, $Au(CNS)_3 \cdot Zn(CNS)_2$, или металлического золота (восстановление при помощи $SnCl_2$) (2 *μг*).—**Pt:** в виде хлороплатината калия, K_2PtCl_6 (0,6 *μг*) или соли Миллона и Коммайля, $N_2H_4Cu(NH_4)_2PtCl_4$ (0,06 *μг*).

Б. Реакции на кислоты. **HF:** открывается в виде фторосиликата натрия, Na_2SiF_6 (0,4 *μг* F) или фторосиликата бария, $BaSiF_6$ (0,2—0,15 *μг*).—**HCl:** в виде K-хлороплатината, K_2PtCl_6 (0,7 *μг* Cl), Tl-хлорида, TlCl (0,1 *μг*), или Ag-хлорида, AgCl (0,05 *μг*).—**HBr:** в виде K-бромоплатината, K_2PtBr_6 (0,25 *μг* Br), Tl-бромида, TlBr (0,15 *μг*), Ag-бромида, AgBr (0,05 *μг*) или бромаурата таллия, $TlAuBr_4$ (0,006 *μг*).—**HJ:** в виде K-иодоплатината, K_2PtJ_6 (0,2 *μг* J), иодной ртути, HgJ_2, Tl-иодида, TlJ (0,17 *μг*), Ag-иодида, AgJ (0,17 *μг*), Pd-иодида, PdJ_2 (0,1 *μг*) или при помощи иодокрахмальной реакции (после окисления нитритом) (0,2—0,17 *μг* J).—**$HClO_4$:** в виде Rb-перхлората, $RbClO_4$ (из раствора $KMnO_4$ вследствие изоморфизма обеих солей получаются красные кристаллы).—**H_2S:** в виде PbS (на волокне, смоченном свинцовым сахаром); нерастворимые сульфиды предварительно сплавляют с содой.—**H_2SO_4:** в виде гипса, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (0,2 *μг* S), бензидинсульфата (0,02 *μг*) или $PbSO_4$ (0,006 *μг*).—**HNO_3:** в виде осадков с нитроном (1, 4-дифенил-3, 5-энданило-4, 5-дигидро-1, 2, 4-триазолом), цинхонамин-сульфатом и уксуснокислым берберином (0,005 *μг* N) или же при помощи цветных реакций с дифениламином или бруцином.—**H_3PO_4:** в виде NH_4-Mg-ортофосфата, $NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$ (0,02 *μг* P) или фосфорномолибденовокислого аммония, $(NH_4)_3PO_4 \cdot 12MoO_3$ (0,02 *μг*).—**H_2CO_3:** в виде $SrCO_3$ (1 *μг* C) или по выделению CO_2 при подкислении.—**SiO_2:** в виде фторосиликата бария, $BaSiF_6$, фторосиликата молибдена, $MoSiF_6$ (0,05 *μг* Si) или кремнемолибденовокислого рубидия, $Rb_4SiO_4 \cdot 12MoO_3$ (0,004 *μг*).—**H_3BO_3:** в виде борофтористого калия, KBF_4 (0,1 *μг* B) или при помощи цветной реакции с куркумовой настойкой (на волокне).

Органические соединения могут также во многих случаях быть открываемы при помощи характерных кристаллореакций или реакций окрашивания в растворах и на волокне. Однако вследствие чрезвычайного разнообразия органич. веществ, трудности их разделения и отсутствия для многих из них подходящих реакций систематич. анализ здесь представляет огромные затруднения и м. б. выполнен лишь в единичных случаях, напр. когда природа и химич. характер присутствующих соединений заранее известны. В лабораторной практике органич. качественный М. а. применяется с наибольшим успехом: а) при серийных исследованиях смесей мало варьирующего состава (физиологич. анализы); б) при анализе на присутствие определенных соединений (например алкалоидов), для которых имеются специфич. микрореакции; в) для идентификации веществ, к-рые удалось получить или выделить лишь в очень малом количестве. Подробности о микрореакциях органич. веществ см. лит.

Количественный М. а. Методы колич. М. а. вырабатывают, исходя из требования: брать для анализа не более 10 *мг* вещества и определять состав его с той же степенью точности, какая достигается в обычном анализе. В связи с этим М. а. требует гораздо более точных приборов для измерения массы и объема, а успешное выполнение его и надежность получаемых результатов в значительной степени зависят от экспериментаторских навыков и искусства аналитика. Экономия времени достигается далеко не всегда и не играет решающей роли. Поэтому в колич. анализе микрохимические методы пока еще не получили широкого распространения; к ним прибегают гл. обр. в тех случаях, когда это диктуется необходимостью экономить исследуемое вещество. При весовом М. а. для взвешивания пользуются микровесами Сарториуса или Кульмана, к-рые при нагрузке до 20 *г* допускают взвешивание с точностью до 2—5 *μг*; при некоторых особенно точных исследованиях—весами Нернста. Осаждение, обработка осадков, приведение их к постоянному весу и взвешивание выполняются по специальным методам, излагаемым в соответствующих руководствах (см. лит.). При тщательной работе эти методы, несмотря на гораздо меньшую величину навески, допускают определение состава с ручательством за достоверность в десятых долях процента. Объемный М. а. выполняется почти так же, как и обычный, но с применением при титровании специальных микробюреток (емкостью 2 *см*³, с делением на сотые) и более разбавленных растворов (от 0,05 до 0,005 *N*); достигаемая точность и здесь не уступает точности макроаналитич. методов. Газовый М. а. может быть произведен с несколькими *мм*³ исследуемого газа; он требует специальной, часто весьма сложной микрохимич. аппаратуры и применяется поэтому лишь в соответственно оборудованных лабораториях. Органический элементарный М. а. позволяет путем специально разработанных методов сожжения и других операций определять количественный состав органич. вещества при навеске 2—10 *мг*. Методика сожжения в основном не отличается от общепринятой, но предъявляет повышенные требования в отношении чистоты реактивов и устранения всех источников возможных ошибок (неплотные соединения, пробки, каучук и другие органич. материалы в аппаратуре и т. д.); в существующих аппаратах для органич. М. а., весьма разнообразных по конструкции, эти вредные факторы в значительной мере исключены.

Капиллярный анализ. К собственно М. а. весьма близко примыкает капиллярный анализ, также позволяющий анализировать минимальные количества веществ, но не требующий применения микроскопа. Методика капиллярного анализа допускает только качественное исследование вещества на присутствие определенных ионов; она основана на том явлении, что при капиллярном распространении какого-либо раствора в порах фильтровальной бумаги различные содержащиеся в нем ионы распространяются неодинаково. Границы распространения любого вещества или иона зависят от концентрации его в растворе и скорости фиксации (адсорбции) его волокнами бумаги; т. о. создается возможность разделения сложного раствора на его компоненты—разделения, хотя и неполного, но достаточного для аналитич. целей. При нанесении капли такого раствора (достаточно разбавленного) на фильтровальную бумагу получается ряд концентрич. зон, в к-рых состав раствора по направлению от центра к периферии все более упрощается (у внешней границы пятна он представляет чистую воду); аналогичные зоны образуются (в виде параллельных полос), если полоску бумаги погрузить одним краем в испытуемый раствор. Пропитывая фильтровальную бумагу (до или после нанесения пробы) соответственно подобранным реактивом, можно получить на ней характерные цветные реакции того или другого иона, ясно различаемые в виде окрашенных колец или полосок; посторонние ионы, затемняющие реакцию, часто м. б. отстранены путем фиксации их на бумаге в виде нерастворимых осадков. Т. о. капиллярное разделение ионов заменяет собою обычные приемы осаждения и фильтрования. Метод капиллярного анализа разработан Ф. Фейглем с сотрудниками в 1920—23 годах под названием «Tüpfelanalyse», первоначально для смесей, содержащих катионы 3-й аналитич. группы, а позже и для катионов 4-й и 5-й групп (Hg, Pb, Bi, Cu, Cd, As, Sn, Sb); он пригоден для одновременного открытия нескольких ионов, но с известными ограничениями. Применяемые реактивы довольно разнообразны (бензидин, дифенилкарбазид, цинхонин, тетраметилдиаминодифенилметан и другие). Чувствительность метода—порядка от 0,1 до 5,0 *μг* для изолированных ионов (наличие посторонних ионов понижает чувствительность); достоинствами его являются крайняя простота, скорость работы и полное отсутствие какой-либо аппаратуры; им пользуются иногда при исследовании фабричных образцов органич. красителей для отличия составных препаратов от индивидуальных.

Капельный анализ. Этот оригинальный метод качественного химич. анализа также м. б. отнесен к микрохимическим; он разработан Н. А. Тананаевым в 1920—26 гг. для применения в заводских и исследовательских лабораториях, а также в экспедициях по разведкам ископаемого сырья и т. п. Метод разработан пока только для катионов; его основная цель—открывать поочередно все ионы, не прибегая к отделению остальных. Для каждой пробы, как правило, берется одна капля раствора, реже несколько капель и изредка—до 1 *см*³. Основным приемом анализа является получение цветного пятна или цветной каймы путем прикосновения капли реактива к капле испытуемого раствора, что выполняется обычно на фильтровальной бумаге (иногда на фарфоре или стекле). Для элементов, не дающих окрашенных пятен (щелочные и щелочноземельные металлы, Cd, Zn) анализ приходится дополнять микрометодикой обычного разделения, связанного с осаждением, фильтрованием и промыванием осадков. Методика Н. А. Тананаева позволяет проводить «дробный» анализ всех металлических катионов, пользуясь весьма небольшим количеством вещества, общедоступными реактивами и простейшим аппаратурным набором (часовые стекла, фарфоровые чашечки, стеклянные палочки, капиллярные трубки и фильтровальная бумага). Капельный метод в достаточной мере чувствителен и занимает гораздо меньше времени, чем обыкновенный систематический анализ.

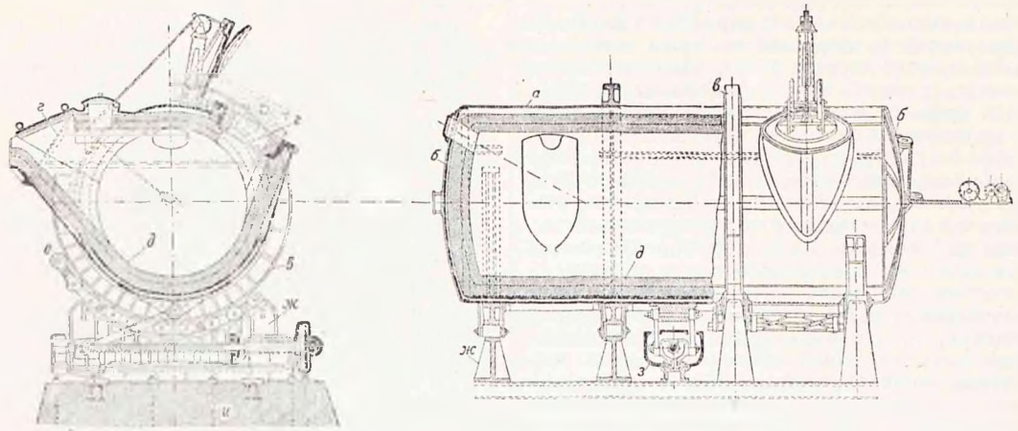
Лит.: Общая: Меншуткин Н. А., Аналитич. химия, 15 изд., М.—Л., 1929 (статья С. П. Гвоздева «Микрохим. анализ»); Mikrochemie, «Ztschr. f. das Gesamtgebiet d. Mikrochemie u. Mikrophysik», W., ab 1923; Emich F., Methoden d. Mikrochemie, Handb. d. biolog. Arbeitsmethoden, hrsg. v. E. Abderhalden, Abt. 1, T. 3, Berlin—Wien; Schoorl N., Beiträge zur mikrochemischen Analyse, Wiesbaden, 1909; Emich F., Lehrbuch d. Mikrochemie, 2 Auflage, Wiesbaden, 1926; Donau J., Die Arbeitsmethoden d. Mikrochemie, Handb. d. mikroskopischen Technik, T. 9, Stg., 1913; «Ztschr. f. analyt. Chemie», Mch., 1915, B. 46 u. ff.; Benedetti-Pichler A., «Ztschr. f. angew. Chemie», Lpz., 1929, Jg. 42, p. 954. Качественный М. а.: Беренс Г., Микрохимич. анализ, ч. 1, пер. с нем., Л., 1928; Эмих Ф., Микрохимич. анализ, пер. с нем., Л., 1926; Grey E. Ch., Practical Chemistry by Mikro-Methods, Cambridge, 1925.—Газовый М. а.: Krogh A., Mikrogasanalyse, Handbuch d. biolog. Arbeitsmethoden, hrsg. v. E. Abderhalden, Abt. 4, T. 10, B.—W.—Органический М. а.: Schoorl N., Organische Analyse, Amsterdam, 1921; Dubsky J., Vereinfachte quantitative Mikroelementaranalyse organischer Substanzen, Lpz, 1917; Behrens H. und Kley P., Organische mikrochemische Analyse, Lpz., 1922; Pregl F., Die quantitative organische Mikroanalyse, 2 Aufl., B., 1923; Benedetti-Pichler A., «Mikrochemie», W., 1927, B. 5, p. 30; Капиллярный анализ: Feigl F. u. Stern R., «Ztschr. f. analyt. Chemie», Wiesbaden, 1921, B. 60, p. 1; Hauser E., ibid., 1921, B. 60, p. 81; Feigl F. u. Neuber F., ibid., 1923, B. 62, p. 369. Kopaczewsky W., «Matières Colorantes», P., 1926, t. 30, p. 34; Капельный анализ: Тананаев Н., Капельный метод качественного химич. анализа, ч. 1—Катионы, 2 изд., Л., 1928; Gutzeit G., «Mikrochemie» W., 1929, B. 7, p. 390.

В. Янковский.

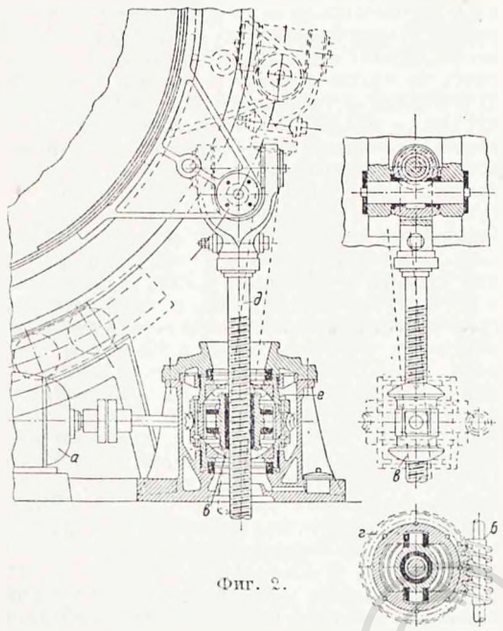
МИКСЕР, сосуд для скопа жидкого чугуна, получаемого из доменных печей или вагранок. Назначение М.: 1) создание независимости работы сталелитейного цеха от доменного, 2) выравнивание состава и $t°$ чугуна, 3) создание возможности переработки всего чугуна (в том числе и выплавленного в праздники) в жидком виде, 4) возможность легкого удаления (отстаивания) серы, 5) возможность предварительной рафинировки чугуна при соответствующей конструкции М. Различают миксеры простые, или неактивные, служащие только для скопа, выравнивания состава и удаления серы, и активные, в которых можно поднять температуру чугуна и вести выгорание примесей: кремния, марганца, фосфора, серы, а иногда и углерода. Последний тип М. по своей конструкции и интенсивности нагрева приближается к качающейся мартеновской печи; М. этого типа имеет плоский под и сравнительно неглубокую ванну (1—1,5 *м*). М. первого типа—обычно цилиндрические, имеют глубокую ванну и сравнительно слабый обогрев при помощи нефтяных форсунок или газовых горелок. Применявшиеся ранее регенераторы ныне не применяются. Расчет М. ведется по времени пребывания в нем чугуна, к-рое для лучшего удаления серы принимается в 8—12 ч.; вместимость М.—до 1 300 *т*.

Неактивный М. (фиг. 1) состоит из цилиндрического кожуха *а* со сферич. днищами *б*, с кольцами *в* и желобами *г*, *г* для заливки чугуна и для выливания чугуна из М., футеровки *д*, опорных катков *е* и балок *жж*, поворотного механизма *з* и мас-

сивного фундамента *и*. Кожух и днища М. изготовляют из котельного железа толщиною 25—30 *мм*. Желоба снабжены крышками, для закрывания и открывания которых устроен особый механизм; иногда посредине кожуха делается третий желоб для спуска шлака. Форсунки или газовые горелки, служащие для отопления миксера, устанавливаются обычно в сделанные для этого отверстия в днищах. Кожух М. охватывается несколькими прочными кольцами—клепаными железными или чаще стальными литыми, к-рыми он опирается на 2—4—6 рядов стальных роликов (диам. 200—300 *мм*), свободно лежащих на опорных балках. Клепаные или стальные литые опорные балки прочно крепятся к фундаменту М. Футеровка М., общей толщиною в 500—650 *мм*, состоит из слоя песка (25 *мм*), непосредственно примыкающего к железному кожуху, кладки из изоляционного кирпича (65—120 *мм*), слоя шамотной кладки (250 *мм*) и наконец внутреннего слоя (250 *мм*), до высоты уровня шлака, из магнезитового кирпича. Внутренний слой верхней части (свод) делается из высокосортного шамотного кирпича или чаще из динасового, причем иногда слой динасовой кладки толщиною 300 *мм* (большемерный кирпич) выкладывается непосредственно после изоляционного слоя без промежуточного шамотного.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Поворачивание (наклонение) М. производится при помощи гидравлических цилиндров или специальных (шпиндельных) механизмов, приводимых в действие электромоторами. Гидравлич. цилиндры обычно, в количестве 4 штук, располагают по обоим концам М. (по два с каждого конца); устанавливаются они непосредственно на фундаменте М. или подвешиваются на цапфах. Вертикальный шпиндельный механизм (фиг. 2) состоит: из мотора *а*, червяка *б* специальной конструкции, гайки *в*, расположенной внутри червячного колеса *г*, и винта *д*. Для восприятия осевого усилия винта гайка заключена в составную обойму, у которой средней частью является червячный венец. Места соприкосновения гайки и обоймы обточены по шаровой поверхности. Воспринимаемое обоймой осевое давление передается через шариковые опоры верхней или нижней части червячной коробки, прочно закрепленной на фундаменте М. Гайка имеет две цапфы, соответственно которым на внутренней части червячного венца имеются вертикальные прорезы. Цапфы гайки входят в эти прорезы, и т. о. гайка соединяется с червячным венцом и вместе с последним вращается. Такое соединение, а также шаровое сочленение гайки и обоймы допускают значительные повороты гайки при наклонении М. без нарушения соединения ее с червяком. Горизонтальный шпиндельный механизм виден на фиг. 1. Здесь вращательное движение мотора через пару конич. шестерен передается горизонтальному винту. Винт сообщает поступательное движение гайке, вследствие чего происходит перемещение шатуна, а следовательно и поворачивание М. Осевое давление винта воспринимается упорным подшипником, поперечное же усилие благодаря конструкции гайки со скользящей нижней опорой передается непосредственно опорной балке. Угол поворота М. равен 40—50° в сторону выливания чугуна и ок. 25° в сторону спуска шлака. В случае установки двух шпиндельных механизмов они рассчитываются т. о., чтобы каждый из них был в состоянии произвести поворот наполненного М. Данные существующих М. следующие:

Емкость в *т*	300	600	800	1 000	1 300
Длина в *м*	4,8	4,9	5,35	6,25	6,10
Диаметр в *м*	6,5	10,6	10,6	10,5	11,5

Цилиндрические М. располагаются двумя способами. 1) Для бессемеровских, томасовских и б. ч. америк. мартеновских мастерских М. располагаются в отдельном здании с таким расчетом, чтобы чугун попадал в сталелитейную мастерскую по ж.-д. путям на уровне рабочей площадки (высокое расположение М.). 2) Для мартеновских мастерских европ. типа обычно М. располагают низко—или отдельно или в одну линию с мартеновскими печами в конце мастерской.

Для активных М. обычно применяют только последнее расположение, устанавливая их в середине мастерской. Активные М. устанавливаются гл. обр. там, где передельные чугуны имеют ненормальный состав, напр. высокое содержание кремния при одновременном высоком содержании фосфора (кливлендский чугун в Англии). Производительность активных М. достигает 1—2 и 2½ оборотов чугуна в сутки в зависимости от степени рафинирования и количества подсадки холодного (штыкового) чугуна и скрапа. В отличие от неактивных М., для к-рых достаточно бывает обслуживание мостовым краном подъемной силой от 50 до 125 *т*, активные М. работают с подсадкой значительного количества руды, флюса и твердой металлич. завалки и потому требуют установки кроме заливочного крана еще и завалочной машины напольного или мостового типа, а также соответственного оборудования для подачи шихты на рабочую площадку. Размеры активных миксеров приведены в таблице:

Емкость в *т*	Под (на уровне ванны)			Объем насадок регенераторов в $м^3$
	длина в *м*	ширина в *м*	площадь в $м^2$	
250	13,8	4,2	58	220
300	14,4	4,5	61	183
400	14,02	4,72	66	—

Обессеривание в неактивных М. идет по следующей реакции:

$$FeS + Mn = MnS + Fe + 44\,101\ cal,$$

к-рая, как экзотермическая, не завершилась в доменной печи благодаря высокой *t*° горна, но начинается уже в ковше при перевозке чугуна от доменных печей к М. Сернистый марганец всплывает на поверхность металла, где, подвергаясь действию воздуха, частью окисляется, выделяя сернистый газ. Реакции, протекающие в активном М., т. е. в присутствии руды и извести, те же, что и в первом периоде мартеновского рудного процесса (см. *Мартеновский процесс*). Получающиеся при этом шлаки имеют в своем составе следующие вещества (в %):

SiO_2	P	Fe	Mn
20	2—3	8—10	16—18
29—30	1,8—1,9	4,5—6,0	—
36,41	—	6,2	14,49
27,89	2,78	15,19	13,2

Лит.: Грум-Гржимайло В. Е., Производство стали, М.—Л., 1925; Карнаухов М. М., Металлургия стали, т. 2, вып. 2, Л., 1926; Simmersbach O., Roheisenmischer u. ihre Anwendung im Eisenhüttenbetriebe, «St. u. E.», 1911, p. 253, 337, 387; Springorum F., ibid., 1915, p. 825—852; Herzog E., Die Entwicklung d. Bauart u. Betriebsweise d. Roheisenmischer in d. Nachkriegzeit, ibid., 1929, p. 1361, 1398.

М. Трубецков.

МИЛЕ МАШИНА, двухоборотная скоропечатная машина америк. фирмы The Miehle-Chicago. См. *Печатные машины.*

МИЛЛИАМПЕР, единица измерения силы электрич. тока, равная 0,001 *ампера* (см.). Сокращенное обозначение: mA или ма.

МИЛЛИВАТТ, единица измерения электрич. мощности, равная 0,001 *ватта* (см.). Сокращенное обозначение: mW или мвт.

МИЛЛИВОЛЬТ, единица измерения электрич. напряжения, равная 0,001 *вольта* (см.). Сокращенное обозначение: mV или мв.

МИНА, см. *Минное дело.*

МИНДАЛЬНОЕ ДЕРЕВО, Amygdalus communis (сем. Amygdalaceae), достигает высоты до 8 *м*, произрастает в Ср. Азии и Сев. Африке и введено в культуру на юге Европы благодаря ценным плодам, известным под именем миндаля. Плод М. д.—костянка 4—6 *см* длиною и 2,5 *см* шириною с кожистым околоплодником, покрытым бархатистым серо-зеленым войлоком. Это ценное плодовое дерево имеет много разновидностей, отличающихся между собою по вкусу плода (горькие и сладкие миндали), по форме и размерам плода и по степени твердости оболочки. Семена миндаля содержат жирное *миндальное масло* (см.). Древесина М. д. твердая, с красноватыми жилками, обладает высоким объемным весом (1,0); в столярных и токарных изделиях имеет красивый вид, не коробится и не трескается. Особенно ценятся краснодеревцами корневые наросты миндального дерева. **Н. Кобранов.**

МИНДАЛЬНОЕ МАСЛО, невысыхающее жирное масло, добываемое прессованием из косточек миндаля двух видов: сладкого миндаля (Amygdalus com. var. dulcis) и миндаля горького (Amygdalus com. var. amarus). Для прессования сладкого миндаля применяется горячее прессование, для горького—холодное. Сладкий миндаль, растущий на юге Европы, в Малой Азии и в среднеазиатских республиках, дает около 50% М. м., горький миндаль содержит его несколько меньше. М. м.—слабо окрашенная в желтый цвет жидкость без запаха, с мягким приятным вкусом, загустевающая при темп-ре от 15 до 20°. В состав М. м. входит почти исключительно глицерид оленновой кислоты с незначительной примесью глицерида линолевой кислоты. Уд. в. 0,915—0,920, кислотное число не более 4,5, число омыления 190—195, иодное число 93—102 (см. *Спр. ТЭ*, т. III, стр. 44—84). Применяется М. м. в медицине, для производства косметич. изделий и мыла. В качестве замены и для фальсификации М. м. применяются очень близкие по составу и внешним признакам масла, получаемые прессованием косточек абрикосов, персиков

и слив. Побочным продуктом производства М. м. являются жмыхи, к-рые в измельченном виде носят название миндальных отрубей и применяются в косметике. Миндальные жмыхи из горького миндаля содержат *амигдалин* (см.) и служат исходным продуктом для получения *горькоминдального эфирного масла* (см.). **Б. Рутовский.**

Лит.: см. *Жиры и масла* и *Маслобойное производство.*

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ, процесс превращения органич. веществ в неорганич. «минеральные» соединения. Исходным материалом М. могут быть органич. вещества как в твердой форме («осадок», «грязь», взвешенные и плавающие вещества), так и растворенные в сточных водах. В природе процесс М. протекает обычно при участии микробов-минерализаторов; этим широко пользуется техника в процессах биологической очистки сточных вод и в решении вопросов, связанных с т. н. самоочищением водоемов (условия спуска в них сточных вод, возможность водопользования из загрязненных источников и пр.) и с самоочищением почвы (устройство полей орошения и ассенизации, свалок для мусора, могильников для скота, кладбищ). Во всех этих случаях в самых разнообразных сочетаниях идут микробиальные процессы М.—аэробные (при доступе воздуха) и анаэробные (без доступа воздуха). Возможны также и чисто химич. процессы М., под влиянием к-рых (вследствие гидролиза, окисления или других реакций) органич. соединение превращается в неорганическое. Конечными продуктами М. органических веществ являются газообразные вещества, растворимые и нерастворимые в воде соединения. Они различны в зависимости от физико-химич. условий процесса М. и от биологич. особенностей участвующих микроорганизмов. Углерод (C) органических веществ—будут ли это белки, жиры, углеводы в твердой или жидкой фазе—переходит в углекислоту (CO_2) или метан (CH_4), азот (N)—в свободный газообразный азот (N_2), свободный аммиак (NH_3) или аммонийные соли [например $(NH_4)_2CO_3$], — в азотнокислые (например $NaNO_3$) или азотистокислые (напр. $NaNO_2$) соли, сера (S)—в газ сероводород (H_2S), в сернистые (FeS_2) и сернокислые соли (например Na_2SO_4), фосфор (P)—в фосфористый водород (PH_3), в фосфорнокислые соли [например $Ca_3(PO_4)_2$]. Промежуточными продуктами М. могут быть различные органич. соединения. Явления М. учитываются при очистке сточных вод, при самоочищении водоемов и почвы, путем наблюдения над появлением промежуточных и конечных продуктов М., что получает свое выражение в характере химич. анализа. Не менее показательными м. б. результаты бактериологического изучения живых агентов М. (микроорганизмов) и выделяемых ими ферментов.

Лит.: Buswell A. M., The Chemistry of Water a. Sewage Treatment, N. Y., 1928. **С. Строганов.**

МИНЕРАЛОГИЯ, наука, имеющая задачей изучение минералов, представляющих собою продукты природных физ.-химич. процессов, и самих процессов во времени и в различных естественных областях земной коры. Поэтому современная М. в значительной мере представляет собою химию земной коры. Она исследует взаимные естественные ассоциации минералов (их парагенезис) и законы их образования. Изучая минерал как продукт физико-химич. процесса в земной коре, М. является теснейшим образом связанной с химией, разъясняющей состав минерала и химич. законы процессов минералообразования. Мы приходим к М. через физику с *кристаллографией* (см.), физико-химию, химию и *геологию* (см.) с ее основным разветвлением—*петрографией* (см.). В настоящее время М. объединяет в себе различнейшие направления и школы. Прежде всего необходимо отметить геохимическую школу. Отправной точкой исследования является элемент, его комбинации с другими элементами, дающие различные природные соединения. Тщательно прослеживается, регулируется и выясняется по возможности полная картина от «рождения» элемента (изверженные породы) до «смерти» его, т. е. превращения в форму, наиболее устойчивую. Старое кристаллографическое направление и увлечение физиографией минералов наблюдается в З. Европе и в США до сих пор, несмотря на мощное развитие геохимич. направления. Генетическое направление стремится в первую очередь поставить вопрос о происхождении минералов, рассматривая минерал как один из этапов процесса минералообразования в природе. Однако развитию этих новых форм исследования и изучения сильно препятствуют устаревшие номенклатура и классификация. Новое направление стремится уничтожить бесконечное разнообразие названий минералов часто одной и той же группы, одного и того же генетич. цикла. Бесконечные нерациональные названия создают искусственные перегородки между группами, объединенными как своей внутренней структурой, так и единством происхождения. Равным образом и вопросы классификации, сводимые почти во всех других школах к чисто химич. признакам и даже к оптич. и физич. контрастам (Иннгли), стоят на пути к более широкому развитию генетич. М., ставящей своей задачей самую физиографию минералов пересмотреть под углом их происхождения. Поэтому генетич. школой основан в настоящее время специальный институт изучения генезиса и синтеза минералов, опирающийся в своей работе на лабораторию высоких давлений академика В. Н. Ипатьева. Действительно почти все процессы в земной коре протекают под давлением. Однако изучение химич. процессов под давлением до сих пор не нашло себе места ни в одной минералогич. лаборатории, и работы акад. Ипатьева сдвинули эту проблему с мертвой точки и поставили в порядок дня этот вопрос.

В СССР после революции, когда наука под влиянием идей Октябрьской революции начала связываться с промышленной жизнью страны, выделилось течение т. н. прикладной М. Развитие прикладной М. шло гл. обр. в направлении исследования генетического происхождения минералов, т. к. вопросы генезиса тесно связаны с определением запасов того или другого рудного тела, содержащего полезный минерал или полезные ми-

нералы. Для того напр., чтобы знать благонадежность месторождений садонской свинцовой или цинковой руды, необходимо выяснить генезис цинковой обманки и свинцового блеска, закономерность замещения цинковой обманки серным колчеданом и т. о. установить весь генетич. цикл данного рудного тела. Установление генетич. цикла позволяет нам определить, насколько вероятно в глубину может продолжаться это месторождение и следует ли ставить на нем дорогостоящую разведку для точного подсчета его запасов. При каждом решении вопроса о запасах вопросы генезиса, на первый взгляд как будто высоко теоретические, играют исключительно практич. роль. Прикладная М. понимается еще в том смысле, что изучение ее необходимо поставить в неразрывную связь с дальнейшим использованием того или другого минерала в промышленности. В самом деле, в последнее время наша рудно-минеральная промышленность широко использует процессы обогащения как механического, так и флотационного. Оба эти процесса требуют предварительно точных знаний минералогического состава руды. Между тем при изучении месторождений обычно их минералогический состав был довольно неясен, и на него не обращали должного внимания. Так напр., Чиатурское месторождение марганцевых руд до сих пор еще требует специального минералогич. изучения, так как состав руд еще не определен с достаточной полнотой и ясностью. Сравнительно недавно велся также большой спор о том, в каком виде медь находится в медистых пиритах—в виде ли минерала медного колчедана или в виде дисперсной меди. Решение вопроса в ту или другую сторону определяло собой дальнейшую технологическую обработку медистых пиритов. Вопрос, в какой форме находится железо в цинковых рудах Садона, играл тоже не меньшую роль для промышленности. Если железо находится исключительно в виде минерала пирита, то процесс обогащения может освободить цинковую руду от вредного для процесса плавки железа. Если же железо находится в виде комплексного соединения в цинковом колчедане, то никакой обогатительный процесс не сможет освободить нас от железа, и необходимо выбрать другой технологич. метод выделения цинка из руды.

Т. о. как минералогам, так и технологам д. б. одинаково интересно как знание М. вообще, так и особенно знание свойств минералов, на которых базируется их промышленное использование. Термин «прикладная М.» т. о. объединил разрозненные до сих пор группы исследователей. Прикладная М. требовала точной расшифровки понятий о руде, о глине, об известняке, о соли и т. п. терминах, обычно широко применяемых геологами. Термин «прикладная М.» указал технологам на возможные пути переработки продукта, аналогичные тем, которыми идет природа, и в этом смысле он явился чрезвычайно плодотворным для новейших технических изобретений в области переработки минерального сырья. В самом деле, если нам нужно получить безводный сернокислый натрий (сульфат), то мы обычно употребляем здесь тепловые процессы, берем широко распространенную водную соль и путем нагревания удаляем лишнее количество воды, между тем как в природе мы видим выпадение безводного сульфата из морской воды, обусловливаемое чисто физико-химич. процессом растворимости различных групп солей при определенных условиях $t°$ и давления. Исследовав генетически процессы и перенеся их в технологию, мы имеем в настоящее время превосходный метод получения сульфата без выпаривания, простым осаждением на основании теории природного процесса. Если вопросы прикладной М. совершенно не нашли своего отражения в прежней России, то это объясняется тем, что минеральное сырье почти для всех отраслей промышленности получалось из-за границы. Кроме того мы получали полуфабрикаты и продукты, приготовленные из заграничного сырья, и наши месторождения, к-рые могли бы быть использованы, оставались лежать втуне. Таким образом М. старого времени оставалась на чисто теоретич. высотах, связанных часто с отвлеченным кристаллографич. изучением минеральных тел. Преподавание в старых высших учебных заведениях было нацело оторвано от промышленной жизни и промышленных запросов и превращалось часто в кристаллографич. схоластику. В горной же промышленности старой России, если кто и работал над этими вопросами, то исключительно иностранцы, вывозя результаты этих исследований в свою страну и оставляя нашу науку в этом отношении совершенно бесплодной. Перечитывая теперь перечень того, что мы ввозили из-за границы, кроме таких более редких минералов, как напр. слюда, графит, тальк, хромовые руды, мы находим там такое простое сырье, как песок, глина, полевой шпат, кварц. Это доказывает, что ко времени переворота мы не имели даже элементарного своего собственного сырья на перешедших в руки рабочих и крестьян фабриках и з-дах. Блокада после революции заставила нашу промышленность обратиться к собственному минеральному сырью, и это вызвало к жизни развитие прикладной М. и создание большого исследовательского ин-та прикладной минералогии, взявшего на себя задачу исследования полезных минералов и их применение в промышленности страны. Первичное исследование всякой руды и сырья есть именно его минералогич. исследование, и в этом отношении, если бы мы даже знали заграничные методы обработки того либо иного полезного минерала, мы не могли бы этот метод просто автоматически перенести к нам, т. к. нигде нет руды совершенно одинакового минералогич. состава, нигде нет одинакового минерального сырья. Этим объясняются первые ошибки нашей промышленности, попытавшейся использовать сырье без его предварительного изучения. Оказалось совершенно невозможным установить стандартные марки продукта. Оказалось, что то сырье, на котором строились некоторые предприятия, было очень ограниченным, и на самом деле эти месторождения являлись ценными для использования совсем другого

полезного минерала, к-рый в нем находится, и для постройки совершенно другого предприятия, чем то, к-рое было на нем создано. Эти жестокие уроки нашли свое отражение в довольно мощном развитии исследовательских ин-тов, задачей которых стало найти метод использования того или иного полезного минерала. Помимо Института прикладной М. образовался ряд других отраслевых ин-тов, также принявших метод исследования, связанный с первоначальным минералогич. изучением и с дальнейшей увязкой этого изучения с технологич. процессами. Прикладной М. предстоит большая будущность в дальнейшем, так как богатства СССР чрезвычайно велики и еще только затронуты исследованием, использование же минерального сырья в СССР должно итти по линии организации совершенно новых производств. Между тем геологическое изучение Союза до сего времени было крайне недостаточно и страдало полным отсутствием ориентировки на потребности промышленности и сельского хозяйства и оставалось чисто отвлеченным и оторванным от жизни теоретическим исследованием.

Лит.: Болдырев А. К., Курс описательной минералогии, вып. 1, Л., 1926, вып. 2, Л., 1928; Вернадский В. Н., История минералов земной коры, т. 1, вып. 1, Л., 1924, вып. 2, Л., 1927; Федоровский Н. М., Опыт прикладной минералогии, П., 1924; его же, Главнейшие минералы, употребляемые в химич. промышленности, Л., 1925; его же, Минеральные богатства СССР и перспективы их использования, Л., 1925; его же, Генетическая минералогия, II., 1920; его же, Минералы в промышленности и с. х-ве, 2 изд., Л., 1927; его же, Курс минералогии, ч. 1—3, II.—Л., 1923—29; его же, Роль минералогии в промышленности, «МС», 1926, *5*; его же, Экономич. эффект работ И-та прикладной минералогии в цифрах, там же, 1927, *II*; Dana J., System of Mineralogy, N. Y., 1837—68, 6 ed., N. Y., 1899; Klockmann F., Lehrbuch der Mineralogie, 9/10 Aufl., Stg., 1923; Tschermak G., Lehrbuch der Mineralogie, 9 Aufl., W., 1923; Dana E. S., Textbook of Mineralogy, N. Y., 1922; Brauns R., Das Mineralreich, Stg., 1903; Delter C., Chemische Mineralogie, Leipzig, 1890; Brauns R., Chemische Mineralogie, Leipzig, 1896; Niggli G., Lehrbuch der Mineralogie, 2 Aufl., B. 1—2, Berlin, 1924—26; «The Mineralogical Magazine», Leipzig, ab 1876; «Bulletin de la Société mineralogique de France», Paris, ab 1878.

Н. Федоровский.

МИНЕРАЛЬНАЯ ШЕРСТЬ, шлаковая шерсть, минеральная вата, см. *Вата.*

МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ, группа полезных *ископаемых* (см.), объединяющая минералы и природные газы, не входящие в группу горючих веществ (уголь, торф, нефть и т. д.) или в группу рудных металлов. Эта группа разнообразных веществ носит разные названия: Nichterze в Германии, Non-metallic Minerals в Америке, «нерудные ископаемые» или М. с. в СССР. Объем понятия М. с. довольно неопределенен и скорее устанавливается в практике условно, так напр., целый ряд металлич. солей относится к этой группе.

К М. с. должно отнести следующие 80 (приблизительно) видов полезных ископаемых, к-рые можно объединить в 8 б. или м. определенных групп.

1. Соли: алунит, кварцевый камень, соли бора, соединения брома, глауберова соль, соединения иода, соли калия и магния, селитра, природная сода, хлористый натрий. 2. Абразионные материалы: корунд и наждак, алмаз, пемза, гранат (альмандин), шлифовальные и полировальные камни. 3. Материалы керамической, стекольной и изоляционной промышленности: андалузит, дистен, силлиманит, дюмортьерит, асбест, доломит, огнеупорные глины, кварц, кварцит, магнезит, нефелин, палыгорскит (горная кожа), полевой шпат и пегматит, слюда, тальк и тальковый камень, трассы и пуццоланы, соединения циркония, кислотоупорные материалы (базальты, кварциты и т. д.). 4. Строительные материалы: асфальт, гипс, ангидрит, сланцы, известняки, глины, мрамор, различные горные породы для строительства и дорожного дела, песок и гравий, материалы для цемента. 5. Цветные и драгоценные камни: свыше 90 видов, особенно—алмаз, рубин, сапфир, изумруд, шпинель, топаз, аквамарин, турмалин, гранат, опал, бирюза, янтарь, лазурит, лабрадор, родонит, малахит, яшма, агат, серпентин и другие. 6. Технические минералы: исландский шпат, агат, горный хрусталь, янтарь, яшма, мрамор и др. 7. Промышленные камни: баритит и витерит, боксит, главконит и селадонит, отбеливающие суконвальные глины (бентонит и флоридин), графит, пирит, минеральные краски, криолит, литографский камень, мел, руды мышьяка, озокерит, сера, соединения стронция (целестин и стронцианит), трепел и диатомит, фосфорит и апатит, плавиковый шпат, хромит, природные цеолиты. 8. Природные газы: гелий, неон, аргон, кислород, азот, угольная к-та. Условно к приведенной группе М. с. нередко относят и природные соединения редких металлов, а именно: бериллия, лития, цезия, редких земель, тория, гафния и др. Общий список видов М. с. каждый год пополняется включением в него новых ископаемых, к-рые вовлекаются в обиход промышленности, благодаря новым методам технологии (напр. цианит, силлиманит для керамич. промышленности и т. д.).

Залегание М. с. В противоположность рудным ископаемым подавляющая часть М. с. связана не с большими рудными поясами земной коры, следующими по тектонич. линиям ее строения, а с экзогенными поверхностными областями образований, связанных с распределением воды и климатич. зон. Отдельные виды полезных ископаемых часто залегают в определенных сочетаниях; таковы основные и весьма обычные сочетания нерудных ископаемых: 1) кварц, полевой шпат, слюда, самоцветы, соединения редких элементов; 2) нефелин, апатит, соединения циркония и редких земель; 3) хромистый железняк, змеевик, асбест, тальк; 4) пемза, трепел, алунит, сера; 5) колчедан серный, селен, теллур; 6) сланцы, мраморы, тальковые породы, графитовые сланцы; 7) известняк, мел, доломит, кремень, главконит; 8) соль поваренная, соли калия и магния, глауберова соль, гипс и ангидрит, соединения иода и брома; 9) кварцевые пески, каолин, огнеупорные глины; 10) озокерит, асфальт, сера, гипс, квасцы. Эти наиболее важные ассоциации нерудных ископаемых нередко приводят к комбинированному их использованию, благодаря чему получается весьма выгодный экономич. эффект.

Технологические свойства. М. с. имеет ряд характерных признаков, которые обусловливают его использование в промышленности. По этим признакам М. с. можно разбить на три резко различные группы. Вещества первой группы (напр. драгоценные и поделочные камни, соединения редких элементов) характеризуются высокими мировыми ценами; они требуют специальных методов не только обработки, но и торговли, при малой устойчивости цен, изменчивости и часто новизне применения. Вторую группу М. с. представляют самые обыкновенные минеральные тела, как известняк, соль, глина, гипс, кварцевые пески, мергель и т. д. Именно они представляют основу всей минеральной промышленности, являясь сырьевой базой для химич. производств, для строительства и сел. хозяйства. Вместе с тем широкое распространение этих веществ и связанная с этим низкая себестоимость их определяют значение способов перевозки, стоимости транспорта, вообще суммы накладных расходов, к-рая во много раз превышает рудничную себестоимость. Отсюда вытекают и особенности эксплоатации этого вида сырья: огромные масштабы, механизация добычи, сортировки и транспорта, методы технологич. облагораживания, улучшения или активизации продукта, сближение районов потребления и районов добычи и т. д. Третья группа М. с. занимает как бы промежуточное место между названными двумя. Это—большая часть видов нерудного сырья: полевой шпат, тальк, графит, слюда, каолин, корунд и т. д. В своей основе эти материалы являются сырьем дешевым, но не выдерживающим длительных перевозок.

Специфические особенности М. с. Добыча, транспорт, переработка М. с. могут быть характеризованы след. данными. 1) Характерной чертой основн. М. с. являются не столько его количественные запасы, сколько его качества, его технич. и физ.-хим. свойства; можно напр. иметь громадные количества каолина, но если в нем содержится железа больше 1—2%, то эти запасы практически оказываются мало годными. Необходимо, чтобы геологич. изучение базировалось на минералогич., геохимич. или химич. анализе материала. Чисто геологич. приемы изучения месторождений, оконтуирование залежей и определение запасов являются недостаточными и нередко ведут к неправильным выводам. 2) Специфич. особенности М. с. приводят к исключительной специализации и к выработке точных и строгих марок, применямых часто лишь для узких и строго определенных производств; напр. в одной Германии установлено ок. 160 рыночных марок каолина. 3) Разные виды М. с. можно применять для одной и той же цели; напр. серную к-ту можно изготовлять из самородной серы или колчедана, сернокислый глинозем—из природного алунита, боксита или даже из простых глин и т. д. Это вызывает ряд своеобразных взаимоотношений между отдельными видами сырья, конкурирующими между собой, а также борьбу за снижение цен путем изменений и улучшений технологии переработки, борьбу тарифов, фрахтов, имеющих решающее значение при малой ценности сырья, и пр. Создаются громадные колебания в использовании сырья, вызванные нередко технич. завоеванием (например метод Фраша в серной промышленности вытеснил в Америке колчедан) или же изменением транспортных условий (напр. во время войн). 4) Другой специфич. особенностью М. с. является динамика роста его потребления, значительно опережающего рост потребления металла и вовлекающего в обиход промышленности наиболее простые и наиболее распространенные природные соединения и химич. элементы земной коры, а именно, в первую очередь соединения кислорода (который составляет 49,6% земной коры), кремния (26%), алюминия (7,45%), кальция (3,25%). 5) Наравне с этим идет вовлечение в промышленность ряда редких и новых для производства веществ или химич. элементов, как-то: гелия (750 тыс. долл. в год), титана (200 тыс. долл.), редких земель и тория (250 тыс. долл.), лития (50 тыс. долл.), новооткрытого гафния, двухпроцентные руды к-рого исчисляются в добыче всего лишь десятками *кг* (Норвегия). 6) При построении промышленности и особенно химической д. б. связь между добывающей (горной) и обрабатывающей промышленностями, так как разрыв между ними или несогласованность в работе могут гибельно отразиться на всем процессе развития промышленности.

Экономика. Значение группы М. с. в области минеральной индустрии быстро возрастает. На ней базируются в настоящее время строительная и химич. промышленности, дающие массовую дешевую продукцию. О соотношении добычи между тремя основными группами—топливом, металлом и неметаллич. ископаемыми можно судить по следующим данным мировой продукции за 1928 г. (данные Горного бюро США):

	Стоимость продукции в долл.	%-ное соотношение
Топливо (ископаемый уголь, нефть, торф)	7 200 000 000	51,5
Металлы (без благородных; черные—1,9 млн. долл., цветные—1,3 млн. долл.)	3 200 000 000	22,8
Неметаллич. ископаемые . .	3 600 000 000	25,7
	14 000 000 000	100

Экономич. и геологич. особенности М. с. обусловливают два резко противоположных типа эксплоатации месторождений: 1) очень крупные механизированные предприятия и 2) многочисленные мелкокустарные добычные партии. Все промежуточные методы ведения работ по практике З. Европы и Америки оказались нерентабельными и должны были уступить названным двум типам. Для первого типа дешевизна достигается механизацией и малым % накладных, организационных и коммерч. расходов на единицу продукта; для второго удешевление вытекает из сведения почти к нулю накладных расходов в условиях кустарной работы, индивидуальной, непостоянной, связанной сезонно с временем отсутствия других заработков и с индивидуальным риском. Прекрасным примером этого может служить полевошпатовая промышленность, которая не только в Норвегии, но и в С. Америке резко пошла по этим двум типам, причем керамич. полевой шпат стал добываться почти исключительно кустарно, а разработки полевого шпата для цементного производства перешли на путь механизированных крупных предприятий.

М. с. в СССР. Запасы М. с. в Союзе ССР очень велики и позволяют значительно развить его использование. Еще недавно промышленность неметаллич. ископаемых не имела сколько-нибудь определенных планов развития. Собирание ее в крупные союзные органы началось лишь в 1927 г. Острый кризис строительных материалов послужил основанием для организации строительного комитета ВСНХ СССР (теперь Союзстроя), сконцентрировавшего работу по планирова-

нию и реконструкции строительной промышленности. Недостаток минеральных удобрений заставил подчинить союзным органам разработки калийных солей, фосфоритов и апатитов, к-рые имеют в настоящее время твердые планы развития. Вновь созданный концерн «Минералруд» должен реконструировать добычу асбеста, огнеупорных глин, магнезита, каолина, графита, слюды, талька, абразионных материалов и ряда других продуктов, в недостаток которых упирается расширение основных отраслей промышленности.

Из перечислен. минералов и пород к числу видов М. с., промышленность к-рых имеет у нас определенные планы развития, относится около 40 объектов; из них половина является новыми для нашего горного дела продуктами, и добыча их началась лишь после революции.

Лит.: Ферсман А., Химич. проблемы промышл., стр. 1—52, Л., 1924; Федоровский Н., Минералы в промышленности и сел. х-ве, 2 изд., Л., 1927; Химико-технич. справочник, ч. 1, Ископаемое сырье, вып. 1, 2 изд., Л., 1923, ч. 2, Л., 1925; Любимов А., Задания горной промышленности по импорту, «ГК», 1928, *9*, стр. 640; Ферсман А., Минеральное сырье в химич. промышл., «ЖХП», 1927, т. 4, *4*, стр. 277—282; его же, Больше внимания минер. сырью, «Торгово-пром. газета», Москва, 1929, *166*; Годовой обзор минер. ресурсов СССР за 1925/26 год. стр. 1—804, Л., 1927; «ИИ», т. 2, 1927, т. 3, 1927, т. 4, 1929; Источники минер. сырья для химич. промышл., т. 1—3, Л., 1927—28; Frechette, Howelle, Rapport sur les minéraux nonmétalliques, Canada, 1917; Dammer B. u. Tietze O., Die nutzbaren Mineralien mit Ausnahme d. Erze, Kalisalze u. Kohlen u. d. Petroleums, 2 Aufl., B. 1—2, Stg., 1927—1928; Ladoo R., Non-Metallic Minerals, Occurence, Preparation, Utilisation, N. Y., 1925; Spurr J. a. Wormser F., The Marketing of Metals a. Minerals, N. Y., 1925; Stutzer O., Die wichtigsten Lagerstätten d. Nichterze, Berlin, 1911; Fersmann A., Probleme d. Nichterze in d. Weltwirtschaft. «Internat. Bergwirtschaft u. Bergtechnik», Lpz., 1929, *17*.

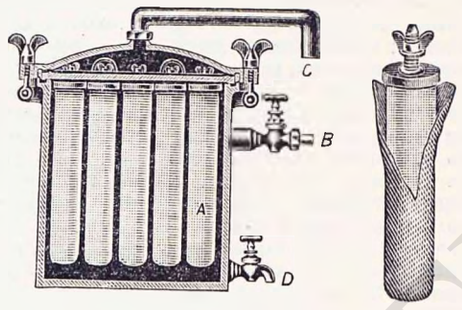
А. Ферсман.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ искусственные, напитки, изготовляемые из газированной CO_2 воды и растворенных в ней неорганич. солей (содовая, сельтерская, лечебные воды). Сюда же иногда относят также и фруктово-ягодные газированные воды, приготовляемые из фруктово-ягодных соков (морсов) и эссенций. М. в. впервые изготовлены в 1560 г. Турнейзером (Thurneiser). В России они получили широкое распространение во второй половине 19 в.

Производство искусственных минеральных и фруктово-ягодных вод в основном сводится к следующему. К чистой воде прибавляют по возможности в растворе соответствующие соли (в случае М. в.) или морсы, эссенции, сахар (в случае фруктово-ягодных вод), в смесь нагнетают CO_2 под давлением нескольких *atm* и полученной водой наполняют бутылки. Вода является главным видом сырья для производства искусственных М. в.; перед употреблением воды необходимо обратить внимание на источник, откуда она получается. Качество воды непосредственно обусловливает и качество вышеупомянутых вод; для этих же последних, как имеющих важное значение для жизни человека, безусловно необходимо, чтобы вода была чиста и не содержала микроорганизмов брожения, которые, попадая в соответствующую питательную среду (сахарные сиропы), развиваются и проявляют свою жизнедеятельность, вызывая нежелательные изменения в свойствах напитка.

Фильтрование. На больших з-дах, помещающихся в крупных промышленных центрах, где имеются хорошие водоочистительные станции, можно употреблять в производстве сырую воду, предварительно пропущенную через песочные, угольные и т. н. свечные фильтры. Можно также пользоваться и остуженным кипятком, хотя в таких случаях приходится иметь большие водохранилища, что чрезвычайно неудобно и неэкономно.

Наиболее распространенными и целесообразными фильтрами являются свечные фильтры Беркефельда (фиг. 1), состоящие из фильтровальных цилиндров *A*, заключенных в кожух, к-рый бывает или чугунный, внутри эмалированный, или литой медный, покрытый внутри слоем серебра или олова. Эти цилиндрич. формы, полые внутри, с вечи (на фиг. 1 отдельно справа), изготовленные из инфузорной пористой земли, обожженной надлежащим образом, заканчиваются вверху медным никелированным ободком,



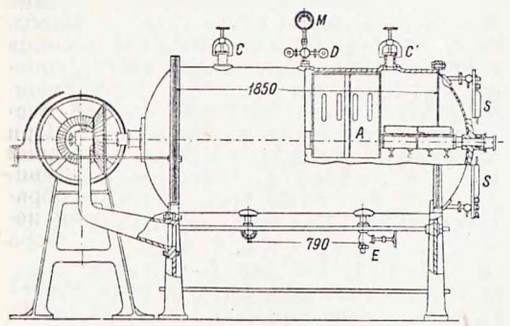
Фиг. 1.

имеющим в центре трубку с барашком для привертывания к рамке внутри кожуха. Вода под давлением водопроводной сети или при помощи насоса подается через входной штуцер *B* в нижнюю часть фильтра под рамку, проникает через поры стенок свечей внутрь их и затем через трубочку ободка в верхнюю часть кожуха и далее через штуцер *C* в крышке уже отфильтрованная идет на производство (изображенный на фиг. 1 кран *D* служит для спуска промывных вод). Пористые стенки свечей задерживают все взвешенные частицы и большую часть бактерий на своей наружной стороне. В зависимости от качества воды стенки свечей 3—4 раза в год очищают от осадка и кипятят в воде. Смотря по производительности фильтры изготовляют на 1, 3, 7 и т. д. до 39 свечей. При давлении в 2,5 *atm* незагрязненный фильтр в 27 свечей может подать $120 \cdot 27 = 3\,240$ *л/ч*. Песочные и угольные фильтры применяются как самостоятельно, так и последовательно соединенными с фильтром Беркефельда.

Сатурация (насыщение воды CO_2). Употребление CO_2 в М. в. имеет физиологич. значение, т. к. она влияет раздражающе на слизистые оболочки пищеварительных органов и быстрее утоляет жажду, а при хранении М. в. CO_2 служит одновременно консервирующим веществом. Раньше

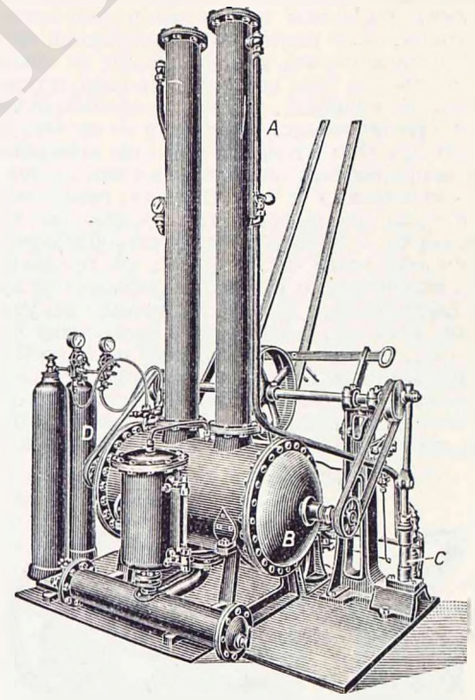
для газирования воды углекислоту получали в газообразном состоянии действием минеральной кислоты на известковый камень на самом з-де, что требовало громоздкой аппаратуры (т. наз. меловиков) и системы очистительных колонок. Но со времени появления в продаже сравнительно дешевой жидкой CO_2 от получения углекислого газа на самом з-де отказались. Старую аппаратуру можно встретить лишь на небольших з-дах провинциальных городов. Употребление жидкой CO_2 допускает применение упрощенных аппаратов и позволяет работать быстро и чисто. Аппаратура для работы с жидкой CO_2 значительно дешевле, занимает мало места, дает большую экономию во времени приготовления М. в., в химическом отношении является чистой и не заключает в себе атмосферного воздуха. CO_2 доставляется с з-дов, ее изготовляющих, в стальных баллонах по 10—20 *кг* под давлением 70—80 *atm*.

Сатурация жидкой CO_2 производится в аппаратах, к-рые получили общее название сатураторов. Т. н. объемные сатураторы представляют собой цилиндрич., шаровой или овальной формы сосуды из листовой красн. меди, покрытой внутри слоем чистого олова или серебра, с насаженными на вал лопастями *A* мешалки (фиг. 2). Лопасти мешалки делают литыми из меди; вал обычно стальной, выложенный медью. На фиг. 2 изображен приводной цилиндрический сатуратор на 1 200 *л*. Через верхние штуцеры *C* и *C′* сатуратор на 0,9 его объема наполняют отфильтрованной водой и (если вырабатывается содовая или сельтерская вода) добавляют готовые растворы соответствующих солей (NaCl, Na_2CO_3). Затем из баллона с CO_2 через его редукционный вентиль (для создания постепенного перепада давления) «перепускается» CO_2. Одновременно приводится в движение вал, вращающийся со скоростью 50—60 об/м. Перемешивание производится в течение 30 мин. Выделяющийся из воды воздух, как более легкий по сравнению с CO_2, собирается на по-



Фиг. 2.

верхности воды, откуда через трубки штуцера *D* удаляется воздушным насосом. Газированная вода подается на производство через нижний вентиль *E*. Сатуратор снабжен манометром *M* и водомерным стеклом *SS* и, будучи аппаратом, работающим под давлением выше 1 *atm*, д. б. предъявляем для периодич. осмотров технич. инспекции. Все соприкасающиеся с водой части и арматура сатуратора д. б. тщательно вылужены оловом или высеребрены. Сальники вала набивают миндальным маслом или смесью в равных долях масла-какао, очищенного вазелина и спермацета. Такая набивка не



Фиг. 3.

придает воде ни привкуса ни запаха. Расчет стенок тела сатуратора производят по формуле Баха:

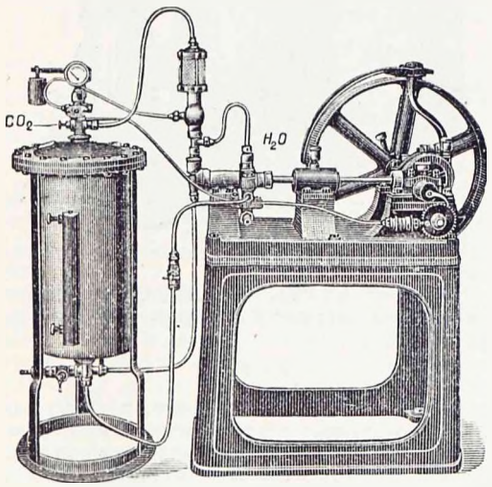
$$s = r\,\frac{p}{k_2},$$

где s—толщина стенки в *мм*, r—внутренний радиус в *мм*, p—рабочее давление в *atm*, k_2—допускаемое напряжение (для меди равное 450 *кг/см²*). Поверка толщины стенок крышек s' производится по ф-ле:

$$p = \frac{2\,k_2 s'}{r'},$$

где r'—радиус кривизны в середине днища в *мм*. Расчет болтов ведется как обычно с учетом коэф. затяжки, к-рый берется = 1,2. Газирование воды производят в пределах от 3 до 6 *atm* при разливе в бутылки и от 6 до 9 *atm* при разливе в сифоны и медные баллоны. Сатуратор цилиндрич. формы наиболее распространен в СССР. Незадолго до войны 1914—18 гг. быстрое распространение получили колончатые сатураторы различной конструкции. В основном они представляют собою (фиг. 3) заполненную фарфоровыми или стеклянными шариками медную колонку *A* высотой от 1,5 до 2,5 *м*, установленную на более широком горизонтально или вертикально расположенном цилиндре *B*. Вода, поступая под давлением водопровода или насоса *C* сверху, распыливается по поверхности шариков мелкими брызгами и, встречаясь с поступающей из бал-

лона *D* в нижнюю часть аппарата CO_2, насыщается ею и подается через широкую часть сатуратора на производство. В позднейших конструкциях в нижнюю часть аппарата введена мешалка, производящая дополнительное перемешивание компонентов. Воздух, собирающийся в верхней части колонки, удаляется при помощи автоматич. клапана. Для увеличения пропускной способности аппарата устанавливают на одном цилиндре по две колонки. Производительность колончатых, иначе распыливающих или оросительных, аппаратов — от 400 до 3 000 *л/ч*. Они называются также аппаратами непрерывного действия, так как процесс перемешивания и поступления газированной воды на производство происходит непрерывно, в противоположность описанным выше объемным сатураторам, где процессы перемешивания и расхода газированной воды следуют друг за другом. Автоматич. удаление воздуха, равномерное насыщение воды CO_2, полное использование последней и непрерывность действия являются положительными качествами описанных аппаратов. В последнее время объемные сатураторы путем установки т. н. р а с п ы л и т е л я пре-



Фиг. 4.

вращают в непрерывнодействующие. Однако невозможность удаления атмосферного воздуха, всегда имеющегося в воде, отражается на качестве продукции. Из новейших аппаратов, еще не получивших у нас широкого распространения, но отличающихся простотой конструкции и небольшими размерами, можно указать на насыщающие насосы герм. фирмы Карл Крон, названные этой фирмой «насыщающими автоматами низкого давления» (фиг. 4). При давлении не свыше 1,5 *atm* и расходе энергии в 1 HP фирма гарантирует производительность до 600 *л/ч*.

П р и г о т о в л е н и е с и р о п о в и м о р с о в. Сахар, употребляемый для фруктово-ягодных вод, д. б. безусловно чист, поэтому сахарный песок представляет неподходящий материал для приготовления сиропа; сироп из сахара-рафинада гораздо лучше противостоит влиянию плесневых грибков, чем сироп из сахарного песка. Однако и обыкновенный сахар-рафинад также нельзя считать пригодным материалом для приготовления сиропов. В виду того что сахар на рафинадных з-дах подсиняется ультрамарином, последний же под влиянием к-т фруктовых соков развивает сернистый водород, присутствие которого в фруктово-ягодных водах нежелательно, рекомендуется заказывать на заводах сахар-рафинад без ультрамарина. Сиропы, содержащие пектиновые, белковые и т. п. вещества, а также содержащие соли, способствуют скорой порче напитка. При хранении сиропов необходимо их делать более концентрированными, т. к. последние гораздо лучше противостоят влиянию микроорганизмов, чем водянистые. Необходимо сиропы подкислять виннокаменной или лимонной к-той, что затрудняет развитие плесневых грибков при хранении сиропа. Варка сиропа, во избежание пригорания сахара, производится в обычных варочных котлах из красной меди с паровой рубашкой, снабженных манометром и предохранительным клапаном. Для перемешивания сиропа котлы м. б. снабжены мешалками с деревянными (дубовыми) или медными лопастями (см. *Варочные аппараты*). Подача сахара в котлы производится при помощи ковшевых самотасок. Если самотаска обслуживает несколько котлов, то распределение сахара производится установленным над котлами ш н е к о м (вращающимся в корытообразном жолобе винтом). Такой шнек и самотаску можно использовать как для работы с сахарным песком, так и с некрупным рафинадом. После варки горячий сироп обыкновенно помощью сжатого воздуха или насоса перегоняется через фильтр-пресс в сиропохранилища—различ. формы медные луженые или алюминиевые баки. Фильтр-пресс представляет собой ряд заключенных в кожу сеток с проложенной между ними фильтровальной массой, т. н. «бриллиант». Сетки изготовляют из тканей медной проволоки, тщательно вылуженной или посеребренной. Один раз в сутки необходима разборка фильтр-пресса и промывка его частей и массы в горячей воде. Промытая и отжатая масса вновь прокладывается между сетками. На механизированных производствах сироп пропускают через суконные конусообразные фильтры, обкладываемые внутри фильтровальной массой. При большой потребности в сиропе последний искусственно охлаждают в баках со змеевиками, т. к. горячий сироп при разливе образует пену, вследствие чего получается недолив бутылок. Готовится сироп из раствора 2 вес. ч. сахара в 1 вес. ч. воды.

Из органич. к-т для фруктово-ягодных вод употребляют лимонную и виннокаменную к-ты, которые придают напитку кроме кислотности также и освежающее действие. В виду того что лимонная кислота является продуктом импортным, в настоящее время ведутся исследовательские работы по приготовлению фруктовых вод на молочной к-те. Для приготовления фруктово-ягодных вод употребляют фруктово-ягодные м о р с ы, а также и фруктовые э с с е н ц и и. Приготовление фруктово-ягодных морсов требует больших бродильных помещений, хороших

подвалов, а также довольно сложного оборудования. В настоящее время у нас в СССР насчитывается всего несколько з-дов, работающих на натуральных фруктово-ягодных морсах (например завод минеральных вод Моссельпрома).

Ягоды и фрукты, поступающие на завод для приготовления из них морса, проходят следующие процессы. Ягоды поступают на мялку, представляющую собой систему вальцов с насеченными по их поверхности канавками для захвата ягоды; в зависимости от величины ягоды расстояние между вальцами м. б. изменено. После мялки раздробленная ягода попадает прямо в бродильные кадки, в к-рые добавляют воду (подогретую), доводят $t°$ массы до 20—25° и оставляют бродить при $t°$ помещения не выше 25°. Процесс брожения заканчивается в течение 12—14 дней, после чего мязгу отжимают на ручном или гидравлич. прессе (см. *Виноделие*, фиг. 2 и 3), а морс перекачивают в бочки (емкостью ок. 360 *л*) и отправляют в подвалы для дображивания. Полное созревание морса достигается в 8—9 месяцев. Сбраживание морса происходит самопроизвольно; в последние годы ведутся работы по исследованию брожения морсов и опыты в целях более быстрого их сбраживания. Перед употреблением морс фильтруют. Фильтрацию производят через грубошерстные суконные фильтры конусообразной формы, насаженные на рамки в несколько ярусов (3—4), как предложено В. М. Тржецяком. В фильтровальные мешки кладут обычную асбестовую фильтровальную массу. Подачу морса в фильтры производят ручными (посеребренными внутри) насосами или при помощи сжатого воздуха. Готовый морс не обладает достаточным запахом, а поэтому при купажировании напитков употребляют также фруктовые эссенции. Последние м. б. натуральные (настойки лимонная, апельсинная, мандаринная, ванильная) и синтетические.

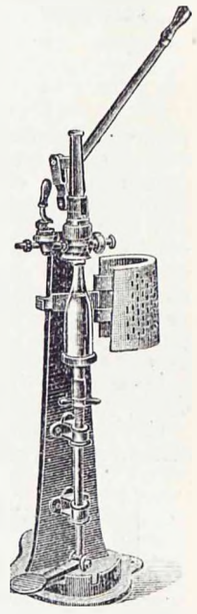
К у п а ж и р о в а н и е (смешение) ведется в кадках, из к-рых сироп обычно самотеком поступает в дозировочные аппараты. Возможно также купажирование в сатураторах, но в последнее время от этого отказались, т. к. при этом происходит быстрое разъедание внутренних поверхностей аппаратуры, за исключением приготовления содовой и сельтерской вод. В виду того что натуральный морс недостаточно окрашивает готовый напиток, применяют растительные краски, гл. обр. «орсель» и «колер» (жженый сахар), соответственно цвету натурального напитка. В следующей таблице приведена рецептура наиболее употребительных сиропов, причем на бутылку в 0,6 *л* берется 140 *см*³ сиропа.

Примерная рецептура приготовления сиропов (в *л*) (на порцию в 22 *л*).

Наименование сиропов	Эссенция	Раствор лимон. к-ты	Желтый подцвет	Красный подцвет	Морс	Сахарный сироп	Количество воды, добавляемой в купаж
Ситро	0,08—0,09	0,45—0,50	0,09—0,11	—	—	8—8,5	13—12
Клюквенный .	0,025—0,025	0,2—0,35	—	0,02—0,25	8—10	7,5—8	6—3
Лимонный . . .	2,5—3,0	0,4—0,45	—	—	—	8—8,5	11—12
Абрикотин . . .	0,05—0,06	0,4—0,45	—	0,07—0,08	—	8—8,5	8,5—9
Вишневый . . .	0,020—0,025	0,2	—	0,2	1,1	8,5	10
Черносмородинный	0,14—0,15	0,1—0,5	—	0,2	11	8,5	2

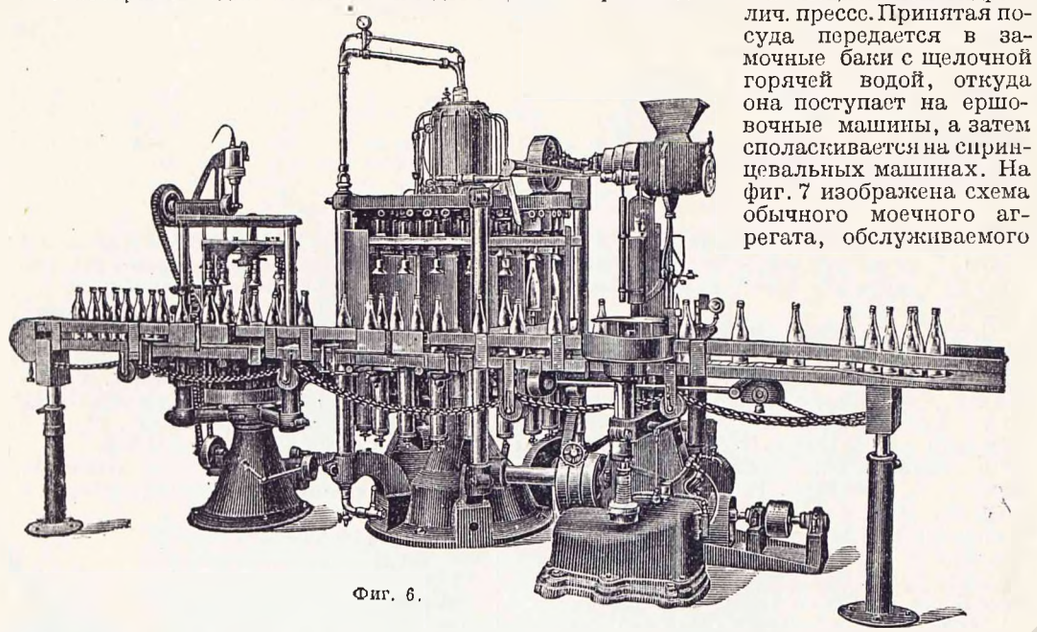
Для приготовления содовой воды в сатуратор емкостью 500 *л* наливают 250 *л* воды, добавляют 4,5 *л* раствора поваренной соли (от 20 до 22° Bé при 15°) и 13,5 *л* раствора Na_2CO_3 (12° Bé). Все это перемешивают и дополняют остальным количеством воды до 0,9 полного объема сатуратора. Газировка длится 30—45 мин. Приготовление сельтерской воды происходит так же, как и содовой, но с добавлением хлоридов.

Д о з и р о в к а с и р о п а ранее производилась вручную мерками-черпачками, затем перешли к дозировочным ручным насосам; в последнее же время получили распространение т. н. «ротационные» дозировочные аппараты, приводящиеся в действие или механич. двигателем или от руки. Производительность таких аппаратов при обслуживании их 2 работницами достигает 12—13 тыс. единиц за 8 ч. Общий всем сироподозировочным аппаратам недостаток, это быстрое разъедание соприкасающихся с сиропом (в особенности клюквенным) частей, вследствие чего получаются неравномерность порций и утечка сиропа. В самое последнее время делаются попытки применения здесь кислотоупорной бронзы. Бутылки с сиропом по транспортеру или на тележках поступают на разливно-купорочную машину (к у п о р к у), где их заполняют газированной водой и закупоривают корковой пробкой. В последнее время с успехом применяют т. н. к р о н п р о б к и, т. е. металлич. колпачки с заложенным внутрь тонким слоем пробки, плотно надеваемые на венчик бутылки. На фиг. 5 изображена ручная купорка для газированной воды. Газированная вода из сатуратора поступает через кран слева, а пробка закладывается в верхнее отверстие головки купорки. Подставив бутылку и подав ее нажимом ноги на педаль кверху, левой рукой закладывают пробку. По наполнении бутылки рукоятку купорки опускают вниз, вследствие чего соединенный с рукояткой



Фиг. 5.

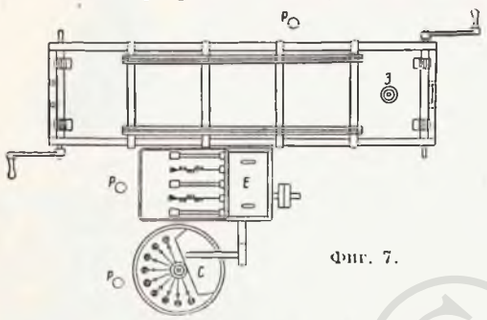
стержень продавливает пробку в горло бутылки (пробка предварительно пропаривается во вращающихся барабанах). После укупорки бутылки поступают на браковку, обвязку проволокой и этикетировку. На фиг. 6 изображен один из новейших дози-



Фиг. 6.

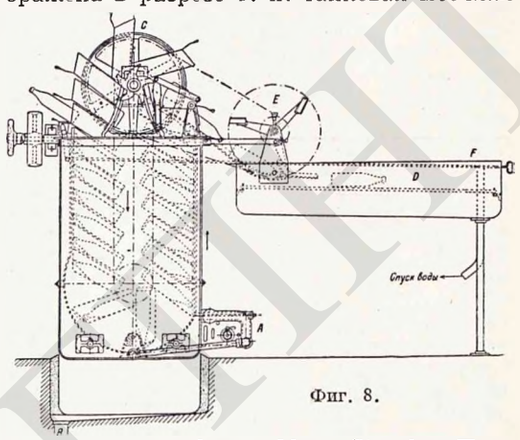
ровочно-разливочно-укупорочных агрегатов герм. фирмы Ortmann & Herbst, представляющий собою автоматически действующий аппарат, причем отдельные части его соединены общим транспортером. Бутылка подается на дозировочный аппарат, наполняется сиропом, автоматически передается на разливную машину, наполняется газированной водой и дальше следует на укупорочную машину, где закупоривается металлич. пробкой. Производительность такого агрегата, обслуживаемого двумя рабочими, достигает 48 тыс. единиц за 8 ч.

На каждом б. или м. крупном з-де М. в. обязательно устройство холодильной систе-



Фиг. 7.

мы. Охлаждение воды до 3—4° при сатурировании дает экономию не менее 15% CO_2, т. к. растворимость последней находится в зависимости от $t°$ воды. Охлаждение помещения для хранения морса, помещения для хранения готовой продукции, наконец охлаждение сиропа также требуют большого расхода холода. При выработке в одну смену 50 000 *л* продукции расход холода определяется примерно в 200—250 тыс. Cal. Наличие компрессора для получения сжатого воздуха также является необходимым на з-де М. в. Испытание поступающей на з-д посуды для М. в. производится на специальном гидравлич. прессе. Принятая посуда передается в замочные баки с щелочной горячей водой, откуда она поступает на ершовочные машины, а затем споласкивается на спринцевальных машинах. На фиг. 7 изображена схема обычного моечного агрегата, обслуживаемого тремя рабочими *P* и состоящего из замочного бака *B*, ершей *E* и спринцовки *C*. Производительность такой мойки до 8 тыс. единиц за 8 ч. На фиг. 8 схематически изображена в разрезе т. н. танковая моечная



Фиг. 8.

машина америк. фирмы Meyer Simplex. Производительность машины этой фирмы при затрате энергии в 0,5 HP и обслуживании 2 рабочими достигает 4 870 бутылок емкостью в 1 пинту (0,568 *л*) в час. Бутылки закладываются в металлич. гнезда (по 4—8 в ряд), насаженные на цепь, вращающуюся в направлении, указанном стрелками, вследствие чего бутылка погружается в бак, заполненный 3%-ным щелочным раствором. В целях лучшей циркуляции воды последняя может подогреваться газовой горелкой *A*. При отсутствии же газа вода может подо-

греваться паровыми змеевиками. Спуск *B* загрязненной воды, как обычно, помещен в нижнем углу шахты. Бутылки, пройдя по истечении 15—30 мин. через бак (время прохождения в зависимости от степени загрязнения и назначения посуды регулируется изменением числа оборотов маховика *C*), выпадают в горизонтальную ванну *D*, заполненную чистой водой. При выходе посуды из бака во избежание боя установлен маховик *E* с лопастями, имеющими на конце резиновые или деревянные подушки, воспринимающие на себя удар бутылки, скатывающейся в ванну. В конце ванны у стойки *F* устанавливают иногда ерш и контрольные спринцовки, что у нас в СССР, в силу требований санитарной инспекции, обязательно. Вся установка при максимальной высоте в 3 *м* занимает площадь в 2,4×2,0 *м*.

Лит.: Клинге А., Искусств. минер. воды, лимонады и напитки брожения, СПБ, 1913; Альмединген А., Руководство приготовления искусств. минер. вод, лимонадов и фруктово-ягодных напитков, СПБ, 1896; Кварицпус, Целебные минеральные воды и шипучие напитки, СПБ, 1882; Поземский М., Практич. общепонятное руководство к производству натуральных шипучих вод, Остров, 1903; Ферстер И., Руководство к специальному изучению искусств. минер. вод, М., 1884; Циммерман А., Химич. и бактериологич. исследование искусств. минер. вод в г. Юрьеве, СПБ, 1900; Степанов Н. В., Аппаратура производства искусств. минер. и фруктово-ягодных вод, М., 1930; «Пищевая промышл.», М., 1929, 6; Jacobsen E., Handbuch f. d. Getranke-Industrie, Berlin, 1925; Evers F., Der praktische Mineralwasserfabrikant, Lübeck, 1917; Taschenkalender f. Mineralwasser-Fabrikanten, hrsg. v. W. Lohmann, 30 Jg., Lübeck, 1929; Mitchell C., Mineral and Aerated Waters and the Machinery for Their Manufacture, L., 1913; Ray G., Manuel des vins, cidres, poirés, eaux gaseuses, Paris, 1923; Piard A., Manuel pratique du fabricant de boissons gaseuses et de sirops, Paris, 1913; «British and Colonial Mineral Water Trade Journal», L., «Soda Fountain», N. Y.; «Der Mineralwasser-Fabrikant», Lübeck; Fachzeitschr. für die Industrie künstlicher Mineralwässer, alcoholfreier Getränke und Brauserlimonaden, Lübeck; «Der Mineralwasserhandel», B. **Н. Степанов и В. Тржецяк.**

МИНЕРАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ, выходящие на земную поверхность при естественных условиях или поднятые искусственно потоки подземной воды, содержащей в растворе различные соли и газы, иногда нагретой до высокой темп-ры. В последнем случае М. и. называются термами. Слабо минерализованные термы носят название индифферентных М. и. (акратотермы). Происхождение воды М. и. независимо от химич. состава и количества газов, ими выносимых, раньше относили за счет атмосферных осадков. Считалось, что поверхностные (метеорные) воды, просачиваясь внутрь земной коры, попадают в области более высокой темп-ры, нагреваются и, двигаясь в нагретом состоянии по слоям различных горных пород, выщелачивают заключенные в них соли и из пресных превращаются в минеральные. Считалось даже возможным вычислить глубину проникания атмосферной воды, исходя из той средней величины так называемой геотермической ступени (геотермический градиент), принимаемой в 32—35 *м*, на к-рую надо углубиться в земные слои, чтобы темп-ра поднялась на 1°. Такая схема происхождения М. и., исходившая для всех их из одинаковой причины, давала возможность классифицировать М. и. только по каким-нибудь внешним признакам, устраняя необходимость генетического подразделения. Но постепенно выяснилось, что многие М. и. обладают особенностями, к-рые не м. б. объяснены этой простой схемой. К числу таких особенностей относятся: солевой состав многих М. и., часто совсем не соответствующий составу местных горных пород; не объяснимое никакими реакциями в земной коре огромное количество газов, особенно CO_2, которое выносят с собою многие М. и.; географич. распределение М. и. преимущественно в областях с нарушенным залеганием осадочных пород и главным образом в районах, где отчетливо выступают новейшие дислокационные явления, сопровождаемые излияниями на поверхность или в верхние части земной коры молодых горных пород огненно-жидкого (магматического) происхождения.

Для объяснения происхождения М. и. австрийский геолог Э. Зюсс в 1902 г. предложил следующую гипотезу: многие воды, в особенности термальные, не имеют с атмосферными осадками ничего общего, а наоборот, связаны с теми большими глубинами земной коры, где залегает магма. Постепенно остывая и кристаллизуясь, магма непрерывно выделяет газы и пары и те легко летучие соли, которые при высокой температуре еще не перешли в твердое состояние. Вся эта газообразная смесь, обладая малым уд. весом, стремится вверх, к земной поверхности, и на своем сложном пути по трещинам отдельностей в породах и глубоким структурным линиям разломов проходит области с различной физико-химич. обстановкой, в к-рой все время меняются и давление и температура. Медленное, но неуклонное охлаждение последовательно переводит одни составные части солей в жидкое состояние, другие в твердое, и таким путем возникает горячий водный раствор различных солей и газов, все составные части которого произошли из медленно остывающей магмы. Газовая смесь, сопровождающая этот раствор, стремясь к известному химическому равновесию, отвечающему данному давлению и $t°$, меняет свой состав. Однако магма, находясь на глубине и обладая весьма большой вязкостью, не будет отдавать растворенные в ней газы или будет отдавать их с большим трудом. Только при переходе в жидкое состояние отделение из магмы летучих составных частей будет совершаться с большой легкостью. Это становится возможным при понижении давления, под которым магма находится, и случается только тогда, когда до тех больших глубин, на которых она залегает, достигнут в результате тектонических процессов глубокие расколы и разломы. В таких случаях магма может или подняться до поверхности и дать начало образованию вулкана или занять какое-нибудь положение в толще коры и, медленно остывая и превращаясь в твердую горную породу, веками и тысячелетиями отделять свои легко летучие составные части. Продукты, выделяемые термальными М. и. (газы, соли, самую воду), Зюсс назвал ювенильными, т. е. девственными; составные части их при выходе на дневную поверхность впервые попадают в

условия земной атмосферы. Если большинство ученых в настоящее время вполне согласно с гипотезой Зюсса относительно происхождения в М. и. многих газообразных веществ и нек-рых солей металлов, в особенности тяжелых и щелочных, то далеко нет единодушия в вопросе о происхождении той воды, которая, растворяя все эти соли и газы, является основным субстратом каждого М. и. Тут мнения расходятся. Так, Готье, основываясь на своих опытах, предполагает, что магма содержит пары воды или элементы, необходимые для ее образования при подходящих условиях. В доказательство он приводит факт, что каждая горная порода магматического происхождения при нагревании в вакууме до 600—800° выделяет вместе с некоторыми газами и воду. Наоборот, Брюн (Brun), изучивший много действующих вулканов, отрицает присутствие ювенильной воды среди продуктов вулканических извержений и делает вывод о безводности самой магмы. Американцы Дей (Day) и Шеперд (Shepherd) открыли (1913 г.) в газообразных продуктах вулкана Килауеа (о. Гавайи) присутствие воды, к-рую они считают ювенильной. К этим же выводам приходит и Джаггор, директор вулканологич. обсерватории на о. Гавайе. Двойственность решения вопроса о происхождении воды минеральных источников мы найдем и у американских геологов, большинство которых высказывается в пользу метеорного происхождения главной массы воды в М. и., хотя и не отрицает окончательно некоторой роли воды ювенильной. Экспериментальная петрография и экспериментальная минералогия окончательно пришли к выводу, что образование многих минералов происходит в магме в присутствии воды, которая затем входит в состав нек-рых типичных магматических минералов, в особенности возникающих в последние периоды жизни магмы как огнежидкого расплава. С геологич. точки зрения идея Зюсса в том виде, как он ее изложил, не выдерживает критики. Идущий снизу ток газов и солей, растворенных в ювенильной воде, обязательно встретит в той или иной близости к поверхности водоносный горизонт, возникший за счет проникновения в земные слои атмосферных осадков, и смешается с ними. Даже там, где нет определенных водоносных горизонтов, как в кристаллич. породах, всегда есть метеорная вода, проникающая в эти породы по сети рассекающих их трещин. Следовательно даже близ действующих вулканов не может быть выходов минеральных терм с чисто ювенильными составными частями—везде будут источники смешанные. Итак, можно полагать, что ювенильные М. и., по терминологии Зюсса, в их наиболее чистом виде — большая редкость, а может быть и вовсе не существуют на земной поверхности (за исключением газов, выделяющихся из сольфатар и непосредственно из лавы). Подавляющее же большинство М. и., отличающихся обильным выделением газов, постоянством химического состава и дебита (количество воды в единицу времени) и оригинальным составом солей, относится к числу смешанных: газы в них ювенильные, а вода и соли имеют двоякое происхождение. Иногда при хорошей геологической и гидро-геологической изученности района такого смешанного источника можно даже вычислить, какое количество тех и других элементов, ювенильных и вадозных (воды атмосферного происхождения), принимает участие в составе источника. По расчетам проф. А. Н. Огильви, относящимся к кисловодскому нарзану, в нем на 1 *л* глубинной воды приходится больше 1 *л* поверхностной воды. Можно даже показать, что и сама глубинная вода («доломитный нарзан», «источник имени А. Н. Огильви»), богатая сульфатами,—тоже смешанная и образуется из бессульфатных вод глубинного происхождения и сульфатных вод надъюрского горизонта.

На обширной территории СССР воды с содержанием ювенильных составных частей в большом количестве известны на Кавказе, в Забайкалии и на Камчатке. Представители их имеются в хребтах системы Тянь-Шаня и Ср. Азии и отчасти на Урале, но в последнем районе они обнаруживают скорее уже преобладание поверхностных элементов над ювенильными.

Разнообразие М. и. конечно не исчерпывается ювенильными и смешанными. Существует еще и третий тип М. и., происхождение и жизнь которых целиком связаны с атмосферными осадками и циркуляцией подземных вод поверхностного происхождения. Это, по терминологии Зюсса, — вадозные М. и. Вода этих М. и., будучи атмосферного происхождения, во время странствования от места своего проникновения по земным слоям до места нового выхода на поверхность приобретает и свой солевой состав и свою темп-ру. Ясно, что состав солей того или другого источника целиком зависит от характера тех солей, к-рые вода выщелачивает из проходимых ею горных пород, а $t°$ будет обусловлена той глубиной, до к-рой вода на своем пути опустилась в толщу земной коры. Такие воды, двигаясь по поверхности первого встреченного ими водонепроницаемого слоя, или вместе с ним выходят на поверхность где-нибудь в долине в виде нисходящего источника или же под давлением своего напора поднимаются по трещинам в виде восходящего ключа; они м. б. получены также искусственным путем в виде артезианской струи. Такие воды свойственны областям с любой геологической структурой и обычны на пространстве Европ. части СССР, где они характеризуются преобладанием то поваренной соли (Старая Русса, Славянск), то гипса (Хилово, вблизи Пскова), то солей железа (Липецк),— таких составных частей, присутствие которых, как и часто встречающегося среди таких вод сероводорода, легко объясняется или геологическим составом окружающей местности или простыми реакциями окисления распространенных в осадочных толщах минералов (пирит). Такие вадозные источники отличаются зависимостью своего режима от сезонных колебаний темп-ры осадков: в засушливое время они имеют малый дебит и высокую минерализацию, а в дождливые периоды их дебит велик, а минерализация мала.

Каждый источник постольку нуждается в охране, поскольку питающие его атмосферные воды в областях своего питания могут подвергнуться загрязнению или заражению населением, животными или устройством промышленных предприятий с вредными отбросами, способными проникать в почву и подмешиваться к воде. На пути своего следования или в области питания эти воды могут быть умышленно или неумышленно перехвачены, отведены в сторону полностью или частью, и таким образом источник может лишиться всей или части своей воды. Все такого рода возможности устраняются учреждением путем законодательных актов или обязательных постановлений т. н. округов охраны, охватывающих всю ту часть поверхности земли, в пределах которой воды должны находиться под защитой закона.

На месте выхода М. и. должен быть каптирован, т. е. заключен в такое искусственное сооружение (каптаж) самого различного типа (колодец, буровая скважина, галлерея, барраж и пр.), к-рое обеспечило бы его от возможности подмеси посторонних вод и вместе с тем сохраняло бы в наибольшей мере все те его свойства, к-рые сочтены полезными в лечебных целях.

В целях надзора за сохранением М. и. его основных свойств следует периодически измерять его темп-ру и дебит; необходимо от времени до времени подвергать проверке и степень его минерализации, т. е. то количество солей, которое получается при выпаривании единицы объема воды, а также и устойчивость самого характера минерализации, для чего достаточно определять анализом содержание одной-двух наиболее важных составных частей.

Обычно, в особенности в медицинских книгах, М. и. классифицируют в несколько групп по их важнейшим составным частям: различают воды соленые, гипсовые, железистые, глауберовые и т. д. Однако в приемах такой классификации далеко нет единства, и так как правильность самого метода изображения типа минерализации в виде ряда определенных солей в наши дни подвергнута сомнению, то здесь примеры таких группировок не приводятся. См. *Вода*.

*Лит.:*Ог Э., Геология, пер. с франц., т. 1, 3 изд., Москва, 1924; Герасимов А., Огильви А., Фогт К. и др., Минеральные воды, «Ест. произв. силы России», т. 4—Полезные ископаемые, 2 изд., П., 1922, вып. 40, стр. 1—15; его же, Минеральные воды и их связь с геологической структурой, «Труды V Курортного съезда», М., 1926, стр. 253—261; Стопневич А. Д., Минеральные воды, П., 1920; Огильви А. Н., Краткий обзор геологических исследований около источника Нарзан в Кисловодске, «Изв. Геол. комитета», СПБ, 1909, т. 28, 8, стр. 597—630; его же, К вопросу о генезисе Ессентукских источников, «Труды Геол. ком.», СПБ, 1914, вып. 98; его же, Каптаж Нарзана и его история, там же, 1911, вып. 58; его же, К вопросу о происхождении минеральных источников района Кавказских минеральных вод, «Труды Бальнеологич. ин-та на Кавказских минер. водах», Пятигорск, 1925, т. 2; Карстенс Э. Э., О нарзанах района Кисловодск—Эльбрус, «Зап. Бальнеологич. общества в Пятигорске», 1908—09, т. 10, 4, стр. 215—261; Бертенсон Л. Б., Лечебные воды, грязи и морские купанья в России и за границей, СПБ, 1901; его же, Радиоактивность в лечебных водах и грязях, СПБ, 1914; Мушкетов И. В., Физич. геология, 3 изд., т. 2, стр. 213—221, М.—Л., 1926 (переработка и дополнения Д. И. Мушкетова); Мушкетов Д. И., Краткий курс общей геологии, стр. 184—186, М.—Л., 1929; Elie de Beaumont, Notes sur les émanations volcaniques et métallifères, «Bull. de la Societé Géologique de France», Paris, 1847, série 2, v. 4, p. 1249—2334; Suess E., Über heisse Quellen, Lpz., 1902; Delkeskamp R., Juvenile u. vadose Kohlensäure, «Zeitschrift f. praktische Geologie», Halle, 1906, B. 14, p. 33—47; Gauthier A., Les eaux minérales et leur rapport avec le volcanisme, «Annales des mines», série 10, P., 1906, t. 9, livre 3, p. 316—370; Brun A., Recherches sur l'exhalaison volcanique, Genève—P., 1911; Day A. L. et Shepherd E. S., L'eau et les gaz magmatiques, «CR», 1913, t. 157, 20, p. 958—961; Day A. L. et Shepherd E. S., Conclusions à tirer de l'analyse des gaz du cratère du Kilauea, ibid., t. 157, 21, p. 1027—1030, Paris, 1913; Day A. L. et Shepherd E. S., Water and Volcanic Activity, «Bulletin of the Geological Society of America», New York, 1913, v. 24, 4, p. 573—606; Jaggar T. A., Volcanologic Investigation at Kilauea, «American Journal of Science, New Haven, Connecticut, 1917, 4 series, v. 44, 261, p. 161—220; Sosman R. B., General Summary of the Symposium on Hot Spring, «Journal of Geology», Chicago, 1924, v. 32, 6, p. 468—471.

А. Герасимов.

МИНЕРАЛЬНЫЕ КРАСКИ, см. *Краски минеральные*.

МИНЕРАЛЬНЫЕ МАСЛА, см. *Нефти*.

МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ, или неорганические удобрения. Все удобрения можно разбить на две группы: А) природные, или естественные, и Б) искусственные. Первая группа удобрений м. б. подразделена на две подгруппы: 1) *органические удобрения* (см.) и 2) М. у., или неорганич. удобрения. К минеральным природным удобрениям относятся следующие: а) из калийсодержащих—каинит, карналлит, полигиллит, сильвинит и другие менее важные с точки зрения с. х-ва калийсодержащие минералы: мусковит, биотит, нефелин и т. д.; б) из фосфорсодержащих удобрений—фосфорит; в) из азотсодержащих удобрений—чилийская селитра; г) из кальцийсодержащих—гипс и разнообразные минералы и породы, богатые $CaCO_3$. И наконец в группу естественных М. у. входит *зола* (см.), содержащая главн. обр. кальций и калий (или наоборот: калий и кальций, в зависимости от происхождения золы), а также достаточные количества фосфора. Вторая группа—искусственные удобрения, за небольшим исключением, напр. мочевина, искусственный навоз, препараты из торфа и т. д., включает в себя по преимуществу неорганич. удобрения. В настоящее время искусственные неорганич. удобрения играют в народном хозяйстве огромное значение. По содержанию в них питательных веществ они делятся: 1) на удобрения, содержащие азот: норвежская селитра, цианамид кальция, сульфат аммония, азотнокислый аммоний, хлористый аммоний; 2) удобрения, содержащие фосфорную к-ту: суперфосфат (простой и двойной), преципитат, томасшлак, ренанафосфат и разные термофосфаты; 3) удобрения, содержащие калий: хлористый калий, сернокислый калий, сернокислый калий-магний и т. н. калийные соли с разным содержанием калия в форме KCl; 4) содержащие известь: жженая известь и гашеная, или пушонка; 5) сложные комбинированные удобрения, содержащие по 2 или по 3 важнейших из питательных веществ (N, P_2O_5 и K_2O); сюда относятся: аммофосы ($N+P_2O_5$), потазоты ($N+K_2O$) и нитрофоски ($N+P_2O_5+K_2O$). См. *Азотные удобрения*, *Известкование почв*, *Калийные соли*, *Фосфорные удобрения* и *Удобрение*.

Д. Дружинин.

МИНИМАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ. Начало теории М. п. положено в 1760 г. мемуаром Лагранжа. Лагранж ставит такую задачу: из всех поверхностей, проходящих через данный замкнутый контур (Γ) в пространстве, выбрать ту, кот рая обладает наименьшей площадью. Эту поверхность с наименьшей площадью Лагранж и называет минимальной: она дает следовательно наименьшее значение интеграла:

$$\iint_{(\Gamma)} \sqrt{1+p^2+q^2}\,dxdy,$$

где

$$\frac{dz}{dx}=p \quad \text{и} \quad \frac{dz}{dy}=q.$$

Лагранж показал, как, исходя из этого свойства, найти диференциальное ур-ие М. п. Оно имеет вид:

$$(1+q^2)r-2pqs+(1+p^2)t=0; \qquad (1)$$

здесь

$$\frac{d^2z}{dx^2}=r; \quad \frac{d^2z}{dxdy}=s; \quad \frac{d^2z}{dy^2}=t.$$

Из этого ур-ия следует, что сумма главных радиусов кривизны М. п. в каждой точке равна нулю (Менье, 1776 г.). К числу простейших М. п. принадлежат: винтовая поверхность: $z=\operatorname{arc\,tg}\frac{y}{x}$, катеноид: $y^2+z^2=\frac{a^2}{4}\left(e^{\frac{x}{a}}+e^{-\frac{x}{a}}\right)^2$, поверхность Шерка: $e^{az}=\frac{\cos ax}{\cos ay}$.

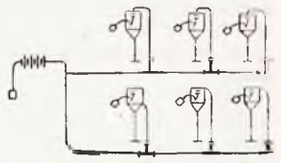
Ур-ие (1) было проинтегрировано впервые Монжем (1784 г.). Решение Монжа было усовершенствовано Лежандром, Бьерлингом и некоторыми др., но особенно многим теория М. п. обязана Вейерштрассу; он впервые вполне отчетливо указал на ту связь, которая существует между теорией М. п. и теорией функций. Согласно Вейерштрассу, всякая аналитич. ф-ия определяет нек-рую М. п. С теорией М. п. связано решение задачи Плато о форме мыльной пленки, проходящей через металлич. контур (Γ). Решение ее достигается выбором того интеграла уравнения (1), который проходит через данный контур (Γ). Эта задача, требующая применения всех наличных ресурсов математич. анализа, в настоящее время решена только для контуров самого простейшего вида. Решением этой задачи занимались Риман, Вейерштрасс, Шварц и др. По своей связи с самыми разнообразными частями математики теория М. п. является одной из наиболее интересных глав математического анализа.

На свойствах М. п. основаны выводы т е о р и и к а п и л л я р н о с т и (см. *Капиллярные явления*) о форме поверхности жидких тел, принимаемой ими под действием *поверхностного натяжения* (см.).

Лит.: D a r b o u x G., Théorie des surfaces, t. 1, Paris, 1914; B i a n c h i L., Vorlesungen über Differentialgeometrie, 2 Aufl., Lpz., 1910.

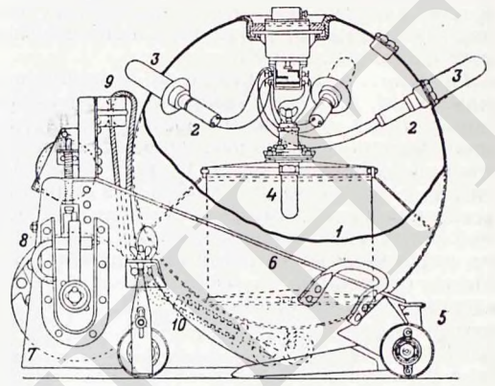
МИННОЕ ДЕЛО, отрасль инженерной науки, изучающая применение взрывчатых веществ для производства подземных и подводных взрывов с применением подготовительных и вспомогательных работ. В военном деле—устройство подземных галлерей, подкопов и установка мин в земле во время позиционной или крепостной войны. В горном деле — производство подземных работ при проведении выработок и закладка зарядов взрывчатого вещества в буровых скважинах (см. *Взрывные работы*). В морской войне—установка мин около берегов и в водных районах для обороны против надводных судов и подводных лодок.

Морские мины м. б. разделены на два основных класса: с т а н ц и о н н ы е и а в т о н о м н ы е, в зависимости от того, происходит ли их взрыв с берега или автоматически от соприкосновения с неприятельским кораблем. Станционные мины (фиг. 1) обычно управляются и взрываются электрич. током с берега или с какой-либо пловучей базы, связанной электрич. кабелем с миной. Наличие электрич. кабеля делает постановку станционных мин громоздкой, дорогой и возможной лишь не далее 10 миль от береговых станций. По способу производства взрыва мины классифицируются на к о н т а к т н ы е — когда взрыв происходит от соприкосновения корабля непосредственно с самой миной, и н е к о н т а к т н ы е—когда взрыв производится каким-либо другим путем.



Фиг. 1.

Взрыв контактной мины м. б. достигнут различными способами, соответственно которым мины разделяются на механические, химические и электрические; в первых действует курковое или терочное приспособление, вторые взрываются в момент, когда от



Фиг. 2.

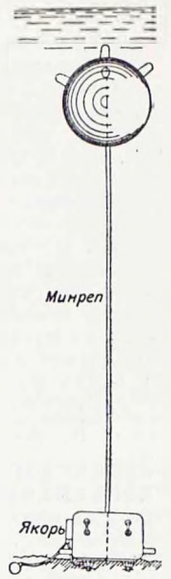
удара извне происходит химич. реакция, результатом чего является повышение $t°$, и наконец последние детонируют от запалов гремучей ртути, взрываемых электрич. током. Контактная мина представляет собой корпус из клепаных или сварных стальных листов грушевидной или сферич. формы (фиг. 2). Внутреннее помещение мины разделяется металлич. перегородкой на два отделения, из к-рых нижнее служит для помещения заряда *1*, а верхнее—воздушной камерой с целью придать мине определенную пловучесть и остойчивость. В зарядном отделении помещается взрывчатый состав, б. ч. состоящий из шашек влажного пироксилина. В верхней части мины расположены 3 или 5

втулок с вставленными в них углецинковыми батареями *2*. На верхней сферич. поверхности располагают свинцовые колпаки *3*, внутри которых помещены стеклянные трубочки с раствором двухромокалиевой соли (мина Герца). При ударе судна о корпус мины ломается свинцовый колпак, причем двухромокалиевая соль из сломанной трубки выливается в батарею, к-рая т. о. и заряжается. Ток проходит через запал *4* и взрывает его. На фиг. 2 изображено положение мины на палубе корабля: *5*—ролики для передвижения мины по рельсам, *6*—чашка якоря, в которую укладывается мина, *7* — вьюшка якоря для наматывания минрепа (стального троса), *8*—рама, в которой вращается вьюшка, *9* — минреп, один конец прикреплен к мине, другой к якорю, *10*—палубные захваты для крепления мины к палубным рельсам в походном положении корабля.

Неконтактные мины взрываются или способом включения электрич. ск. тока или автоматически. Мины, взрываемые способом включения электрич. тока, т. н. о б с е р в а ц и о н н ы е м и н ы, связаны кабелями с берегом или пловучими базами и потому мало удобны и в некоторых случаях совершенно бесполезны, напр.—против погруженных подводных лодок. Мины неконтактные автоматические получили в минувшую войну большое развитие и применение (одними американцами было поставлено в Северном море ок. 60 000 мин). Неконтактные мины можно разделить на две категории: а) мины, имеющие антенну, соприкосновение корабля с к-рой вызывает взрыв мины (фиг. 3); б) мины, взрывающиеся или от действия магнитных сил, излучаемых металлич. массой корабля, или от действия сложной системы колебаний, вызываемых машинами на идущем корабле. Мины с антенной имеют значение гл. обр. как средство борьбы с подводными лодками, т. к. благодаря антенне увеличивается район действия минного поля. Мины магнитные и другие чисто неконтактные мало применялись из-за хрупкости и сложности приборов, а также и потому, что действие этих взрывных приборов зависит от величины, скорости и различных магнитных масс корабля, благодаря чему возможен или преждевременный взрыв мины или его запаздывание. Идея взрыва мины на расстоянии без проводов заключается в том, что местный ток приемника, будучи замыкаем под влиянием электромагнитных волн станции отправления, взрывает запал, чем вызывает и взрыв мины. Предохранение мины от несвоевременного взрыва может осуществляться: 1) настройкой установки на строго определенную длину волны, известную обороняющемуся; 2) применением способа приема лишь при действии сразу нескольких волн разной длины; 3) введением в устройство механизма, который замыкает цепь лишь после ряда сигналов, через определенные промежутки времени.

Дальнейший признак для классификации мин—это способы постановки мин: а) пловучая мина, к-рая при помощи стального троса стоит на месте, удерживаясь якорем, носит название п л о в у ч е й я к о р н о й м и н ы (фиг. 4); б) мина, лежащая на дне (грунте), называется д о н н о й миной, и в) д р е й ф у ю щ а я мина, не имеющая связи с грунтом,

Фиг. 3.



Фиг. 4.

постоянно находится в движении. Наиболее массовый тип—это пловучая якорная мина. Употребляется как на мелких глубинах, так и в открытом море. Может ставиться на глубинах до 1 — 1,5 *км*. Взрывные механизмы мин—или колпаки, поломка к-рых вызывает взрыв, или специальные приборы, действующие от сотрясения мины при ударе последней о корабль. Количество зарядов (взрывчатого вещества) в минах самое разнообразное—от 8 до 500 *кг*, в зависимости от того, для каких целей сконструирована мина. Донная мина имеет значение г. о. для мелководья и против подводных лодок. Мина требует большого заряда и применения неконтактных взрывателей. Дрейфующая мина применяется на реках и местах, где имеется течение в определенную сторону; может употребляться как против кораблей, так и для взрыва мостов, плотин и других преград.

Кроме перечисленных выше видов, мины также применяют как узко противолодочные средства: а) мины, буксируемые кораблем на стальном тросе по месту, где предполагается нахождение подводной лодки; б) мины, подвешиваемые к сетям, ставящимся на предполагаемых путях неприятельских подводных лодок. Буксируемые мины имеют легко обтекаемую форму для уменьшения сопротивления при буксировке. Мины, подвешиваемые к противолодочным сетям, обычно по своей конструкции сделаны т. о., что взрываются не только при соприкосновении с подводной лодкой, но и при попадании лодки в сеть. Последнее обстоятельство позволяет увеличить район действия сети при незначительном количестве самих мин.

Обычно мины ставятся со всех видов кораблей, как надводных, так и подводных лодок, имея для того соответствующее оборудование на корабле и приспособление у

самих мин. Классификация минных полей на основании войны 1914—18 гг. м. б. установлена в следующем виде: а) заграждения, или преграды (см. *Заграждения*), б) минированные зоны, в) банки, или отдельные минные поля. Минированные зоны представляют минированное водное пространство любой величины, точно отмеченное. Назначение зоны—создать неудобства и стеснение противнику при его выходах и операциях. Банки, или отдельные минные поля—заграждение, которое имеет специальное, но временное значение и устанавливается в водах противника—на предполагаемых путях его кораблей. Постановка банок, в отличие от минированной зоны, не может иметь длительного значения, и поддержание поставленной банки невозможно или бесцельно.

Мины самодвижущиеся, выпускаемые минными аппаратами с подводных лодок и надводных судов, см. *Торпеды*.

Лит.: «Морской сборник», Л., 1930; Петров М., Морская техника, ч. 1—2, Л., 1924—26; Laubeuf M. et Stroh H., Sous-marins, torpilles et mines, P., 1923. **А. Ворохобин.**

МИРБАНОВОЕ МАСЛО, см. *Нитробензол.*

МИРОБАЛАНЫ, общее название плодов, произрастающих в Индии деревьев Terminalia chebula, T. citrina и T. belerica (семейства Combretaceae) и Phyllanthus emblica (сем. Euphorbiaceae), из которых добываются дубильные вещества. Миробаланы от Terminalia chebula — продолговато-грушевидной формы, от желтого до бурого цвета, длиною 3—5 *см*. Поступают в продажу в подсушенном, размолотом и просеянном виде без косточек. Миробаланы употребляются при дублении вместе с дубовой и сосновой корой, они дают черную краску; из М. приготовляют твердые и жидкие *дубильные экстракты* (см.). Константы М. как дубителя даны в *Спр. ТЭ*, т. III, ст. Растительные дубильные материалы (стр. 117).

Лит.: Гпамм Г., Дубильные вещества и дубильные материалы, пер. с нем., Л., 1927. **Н. Кобранов.**

МИРРА, камедесмола. Производящее мирру растение не вполне выяснено; предположительно указывают различные виды Commiphora, по преимуществу Commiphora abyssinica, встречающиеся в Северной Африке. Из двух существующих сортов—герабол-М. и бисабол-М.—только первый сорт имеет торговое значение. Добыча мирры в главном районе заготовок (Сомали) производится путем сбора вытекающего из трещин в коре и затвердевающего на воздухе млечного сока. Сравнительно реже производят надрезы на коре для усиления истечения. Дальнейшая обработка М. состоит в сортировке (в Адене или Бомбее—главных портах вывоза). М. представляет неправильной формы комки величиной от ореха до кулака, окрашенные в красновато-желтый или коричневый цвет; имеет раковистый, мелкозернистый, с жирным блеском излом, на котором часто заметны белые пятна. М. обладает специфичным и довольно сильным запахом и приятным горьким вкусом. С водой мирра дает молочную эмульсию, спирт же извлекает из нее только смолы; большая часть смол м. б. извлечена также эфиром, хлороформом и толуолом, тогда как петролейный эфир растворяет только около четверти всего количества смол. Нормально мирра содержит: камедей и энзимов около 61%, смол 30%, влаги 5%, загрязнений 3—4%, золы $> 7\%$, эфирного масла до 8,8%. Кислотное число М. > 25, число омыления около 229. С 80%-ной серной к-той и ванилином М. дает красное окрашивание, не исчезающее при разбавлении. При свете кварцевой лампы М. показывает желто-зеленую флуоресценцию, чем можно пользоваться для открытия фальсификаций. В состав мирры входят: α-герабомиррол, $C_{20}H_{22}O_7$ (около 3%), β-герабомиррол, $C_{20}H_{36}O_{10}$ (ок. 2%), α-герабомирролол, $C_{17}H_{21}O_5$ (около 4%), β-герабомирролол, $C_{19}H_{28}O_5$ (около 2%) и миррорезен, $C_{29}H_{30}O_4$ (около 6%). Применение М.—в медицинской практике и при изготовлении косметических препаратов—сравнительно невелико.

Лит.: Вольф Г., Бальзамы, смолы, искусственные смолы, олифы и лаки, пер. с нем, Петроград, 1923; Bottler M., Harze u. Harzindustrie, 2 Aufl., Leipzig, 1924; Wolf H., Die natürlichen Harze, Stuttgart, 1928. **Б. Рутовский.**

МИРТ, Myrtus communis, вечнозеленый кустарник, с кожистыми листьями, обладающими ароматическим запахом. Из листвы М. добывается особое миртовое масло, выход которого очень мал (0,3%). М. произрастает дико в Средиземноморской области Европы, выдерживая мягкий климат Ю. Англии. Из ягод М. приготовляли в древности масло и особое вино, которые применялись в медицине. До 190 видов миртовых произрастают в восточной внетропич. части Ю. Америки; среди них встречаются и деревья. Серовато-красная древесина довольно тяжела (объемный вес 1,0) и прочна.

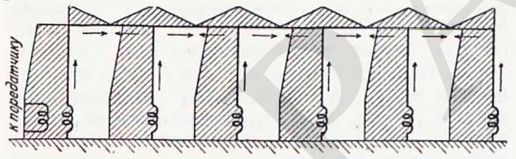
Лит.: Керн Э. Э., Деревья и кустарники, их лесоводственные особенности, использование и технич. применения, М.—Л., 1925; Leunis J., Synopsis d. drei Naturreiche, T. 2—Botanik, Hannover, 1883—1886.

МИТКАЛЬ, хл.-бум. ткань гроденаплевого переплетения, принадлежащая к классу гладких тканей. По количеству производимого на ткацких ф-ках товара М. занимает первое место. М. суровые предназначаются обычно или в отбелку, или в окраску, или для набивки, или же наконец употребляются неокрашенными вместо полотна. В зависимости от отделки М. в готовом виде известны под названиями: ситца, головных набивных платков, мадаполама, нансука, коленкора и т. п. Миткали различаются: по весу—легкие, средние и тяжелые; по плотности—плотные, средние и редкие; по доброте—миткали первого и второго сорта и по тонине—обыкновенные и тонкие. До революции миткалевая ткань вырабатывалась в громадном количестве различных сортов: по ширине, плотности, №№ пряжи, весу и т. п., иногда очень мало отличаясь друг от друга. Стандартизация, проведенная в текстильной промышленности за последние 5 лет, значительно сократила ассортимент и установила определенные виды как сурового, так и отделанного М. В настоящее время, согласно ОСТ, М. вырабатывают шириною от 62 до 106 *см*. №№ пряжи применяются для основы 32—80, а для утка 38—100. Плотность ткани: по основе 52—100 нитей на 1 дм., а по утку 48—100 прокидок на 1 дм. М. работается в 4 ремизки по две за одну. Основа пробирается по одной нити в галю и по две нити в зуб берда. **С. Молчанов.**

МИХЛЕРА КЕТОН, см. *Промежуточные продукты синтеза красителей.*

МНИМЫЕ ЧИСЛА, см. *Комплексные числа.*

МНОГОКРАТНАЯ АНТЕННА, или *антенна* (см.) Александерсона (Alexanderson), применяется при радиопередаче на длинных волнах с целью увеличения кпд антенного устройства. М. а. представляет собой **Г**-образную антенну с большой горизонтальной частью, у к-рой вместо одного снижения устроено несколько снижений (фиг. 1). Снижения настраиваются включенными катушками самоиндукции т. о., чтобы они с определенным участком горизонтальной части антенны составляли резонансный контур, и М. а. разделяется на число антенн по числу снижений. Наиболее простым видом М. а. является т. наз. **П**-образная антенна, состоящая из горизонтальной части с двумя настроенными снижениями по концам (фиг. 2). На фиг. показано распределение тока в такой антенне, если самоиндукция удлинительной катушки L_1 меньше самоиндукции катушки L_2 (при равенстве самоиндукций L_1 и L_2 нулевая точка находится посредине). Как видно из чертежа, **П**-образная антенна состоит из двух **Г**-образных антенн, работающих в фазе. Кпд такой антенны выше, чем **Г**-образной, поэтому такие антенны применяются на радиовещательных станциях в США, где невысокие мачты не дают возможности получить большой кпд другими обычными способами. Антенна Александерсона точно таким же образом может быть разбита на ряд **Т**- и **Г**-образных антенн (фиг. 1). Больший кпд, с точки зрения Александерсона, получается вследствие того, что излучение оказывается таким же при меньшем сопротивлении вредных потерь, так как эти сопротивления оказываются включенными параллельно. Действительно, если сравнить **Г**-образную антенну с одним снижением, причем сила тока в снижении равна I с М. а., в к-рой n снижений и сила тока в каждом снижении составляет $\frac{I}{n}$, то излученная мощность W_s будет одинакова, если снижения достаточно далеки друг от друга, чтобы не оказывать друг на друга действия. Мощность же, теряемая во вредных сопротивлениях, равна в первом случае



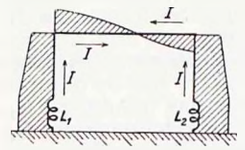
Фиг. 1.

$$W_{\Omega_1} = I^2 R \quad ,$$

а во втором случае

$$W_{\Omega_2} = \left(\frac{I}{n}\right)^2 R_\Omega n = \frac{I^2 R_\Omega}{n} = \frac{W_{\Omega_1}}{n},$$

т. е. уменьшается в n раз, если сопротивление потерь для каждой антенны в том и в другом случае одинаково. Т. о. излучаемая мощность остается без изменения, мощность потерь уменьшается, и следовательно кпд, равный



Фиг. 2.

$$\eta_A = \frac{W_s}{W_s + W_\Omega},$$

увеличивается довольно значительно.

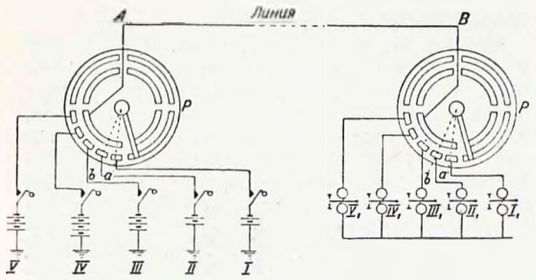
Можно М. а. рассматривать и с другой точки зрения. Сравнивая всю антенну с **Г**-образной антенной, мы можем считать, что сопротивление излучения увеличилось в n^2 раз, в то время как сопротивление потерь—в n раз. В силу этого кпд увеличился. Опыт подтверждает увеличение кпд при применении М. а. Используются М. а. для больших радиотелеграфных станций, работающих частотой ниже 30 кц/ск. (волна более 10 000 *м*), т. к. при мачтах даже в 250 *м* высотой сопротивление излучения при таких волнах выражалось десятыми и даже сотыми долями ома. В связи с применением коротких волн для дальней связи М. а. значение свое потеряли и применяются редко.

Лит.: Alexanderson E., «Proc. of the Inst. of Radio Eng.», N. Y., 1920, Aug., p. 263; Banneitz E., Taschenbuch der drahtlosen Telegraphie u. Telephonie, p. 405—408, B., 1927. **И. Кляцкин.**

МНОГОКРАТНОЕ ТЕЛЕГРАФИРОВАНИЕ И ТЕЛЕФОНИРОВАНИЕ, метод телеграфирования и телефонирования по проводам, дающий возможность уплотнять *линии связи* (см.) путем одновременной передачи по одной и той же линии нескольких телеграмм и телефонных переговоров. Экспериментально и теоретически доказано, что напр. при двухпроводной 4-*мм* бронзовой линии возможно осуществить: а) телеграфные передачи частотами от 0 до 300 пер/ск., б) 1 телефонный разговор частотами от 300 до 2 500 пер/ск., в) до 12 телеграфных передач аппаратами любой системы и частотами в пределах от 3 000 до 10 000 пер/ск. и наконец г) 3 телефонных разговора в диапазоне частот от 10 000 до 45 000 пер/ск. Количество одновременных телеграфных и телефонных передач не ограничено указанными цифрами; техника в этом отношении еще не сказала последнего слова.

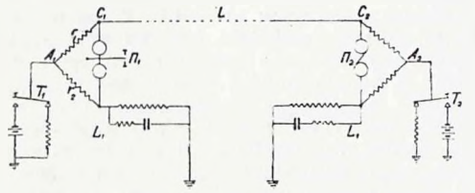
Многократное телеграфирование в зависимости от способов передачи и приема телеграфных сигналов разделяется на два вида: 1) телеграфирование особыми системами телеграфных аппаратов и приборов и способами их включений, 2) телеграфирование переменными токами. Представителем первого вида многократных установок, получивших у нас наибольшее распространение, является буквопечатающий аппарат Бодо (см. *Буквопечатающие телеграфные аппараты*). Принцип действия аппарата Бодо представлен схемой на фиг. 1. Его работа характеризуется как последовательное соединение при помощи особых синхронно вращающихся распределителей P, отдельных передатчиков и приемников. Когда щетки распределителя находятся в положении a, передатчик I соединяется с приемником I_1. Дальнейшее вращение щеток в положение b соединяет передатчик II с приемником II_1. Т. о. за один оборот щеток можно принять или передать несколько сигналов. Существуют и другие системы аппаратов

многократного телеграфирования, которые построены на тех же принципах, что и аппарат Бодо. Методом последовательного соединения передатчиков осуществляется 2-, 4-, 6- и 8-кратная телеграфная связь. Двухкратную телеграфную связь можно осуще-



Фиг. 1.

ствить при помощи особого способа телеграфирования, называемого дуплекс. Этот способ телеграфирования основан на том, что передатчик, посылая ток в приемник соседней станции, не влияет на собственный приемник, к-рый м. б. включен в линию двояким образом: либо он включен в диагональ *мостика Витстона* (см.) либо он снабжается двумя обмотками (дифференциальное реле). Схема соединения дуплексного телеграфирования по способу моста представлена на фиг. 2. Здесь сопротивления r_1 и r_2 представляют два плеча моста, третьим плечом является линия L, а четвертым—искусственная (балансная) линия L_1. В одну из диагоналей моста включен приемник,

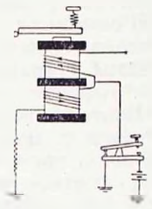


Фиг. 2.

а в другую передатчик. При посылке последним (T_1) ток в точке A_1 сначала разветвляется на две равные части. Одна половина тока идет в провод, другая через искусственную линию в землю. Ток, пройдя линию, в точке C_2 разветвляется, часть его проходит приемное реле $П_2$ и приводит его в действие. То же произойдет при посылке сигналов передатчиком T_2; когда же одновременно работают два передатчика T_1 и T_2, то провод C_1C_2 остается без тока, каждое реле получает теперь ток от собственной батареи, но только до тех пор, пока посылают ток оба передатчика.

При дифференциальном способе телеграфирования применяются в приемнике вспомогательные обмотки, ток в к-рых компенсирует действие линейной обмотки. На фиг. 3 показана схема дуплексного телеграфирования при помощи дифференциального *реле* (см.). Передатчик не действует на собственное реле, т. к. ток проходит обе обмотки в таких направлениях, что магнитные поля их взаимно уничтожаются, и якорь реле не притягивается. Приходящий ток с линии заставит подействовать реле, т. к. в этом случае магнитные поля складываются. При помощи дуплексных схем можно телеграфировать как однократными системами телеграфных аппаратов (напр. аппаратом Морзе), так и многократными, примером чего может служить схема четырехкратного Бодо-дуплекс.

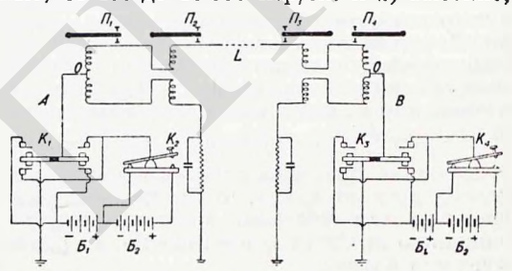
К многократному телеграфированию относится также система квадруплекс. Эта система допускает работу четырех телеграфных аппаратов одновременно. На фиг. 4 показана схема телеграфирования квадруплекс. На каждой станции A и B установлены по два ключа K_1, K_2 и K_3, K_4 и по два приемника $П_1$ и $П_2$, $П_3$ и $П_4$. Приемники $П_1$ и $П_4$, не поляризованные с диференциальными обмотками, работают токами большой силы, приемники $П_2$ и $П_3$, поляризованные с дифференциальными обмотками,



Фиг. 3.

работают слабыми токами и только одного направления (напр. плюсом). Передача и прием происходят следующим образом. Передает ключ K_1: в этом случае положительный ток от батареи $Б_1$ пойдет через ключи K_2 и K_1 к точке O, где он разветвится на две равных части, и приемники $П_1$ и $П_2$ останутся в покое; та часть тока, которая пройдет линию L, пройдет одну обмотку приемников $П_3$ и $П_4$; этого тока будет недостаточно для приведения в действие приемника $П_4$, но приемник $П_3$ работать будет. Передает ключ K_2: по предыдущему приемники $П_1$ и $П_2$ не будут работать; та же часть тока, к-рая пройдет линию, приведет в действие приемник $П_4$, т. к. в этот момент работала батарея $Б_1+Б_2$, но приемник $П_3$ останется в покое, потому, что ток отрицательный. При одновременном нажатии ключей K_1 и K_2 в линию пойдет ток от батареи $Б_1+Б_2$ и приведет в действие приемник $П_3$, так как ток положительный, и приемник $П_4$, так как он большой силы. При работе всех ключей одновременно будут работать все четыре приемника.

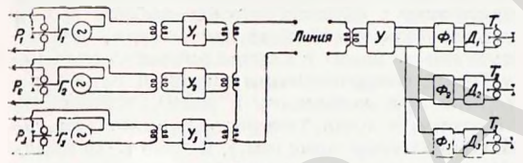
В случае многократного телеграфирования переменными токами применяются частоты: 1) звуковые (тональные) от 400 до 10 000 пер/ск. и 2) высокие,



Фиг. 4.

т. е. выше 10 000 пер/ск. Нижний предел применяемых частот определяется требуемой скоростью телеграфирования, т. к. для устойчивости телеграфного действия импульс переменного тока должен иметь не менее

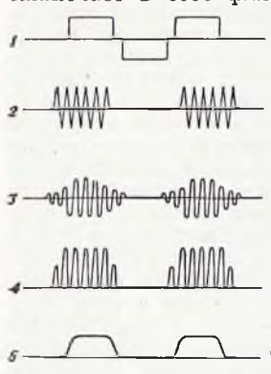
четырех перемен направления тока. Верхний предел определяется физич. свойствами линии и тем расстоянием, на к-рое требуется телеграфировать. Кабельные линии, километрическое затухание β (см. *Бета*) и угло-



Фиг. 5.

вой измеритель α к-рых значительны, допускают телеграфирование частотами не свыше 3,000 пер/ск. На бронзовых воздушных линиях возможно осуществить телеграфирование в пределах от 400 до 40 000 пер/ск.

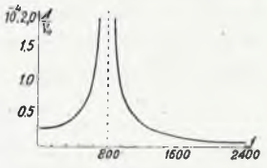
Установки, при помощи которых производится многократное телеграфирование, имеют следующие элементы: 1) генераторы переменного тока, 2) *усилители* (см.) входящих и исходящих токов, 3) электрич. *фильтры* (см.), 4) детектирующие устройства, 5) вспомогательные устройства. На фиг. 5 показана принципиальная схема установки многократного телеграфирования. Передающая часть ее имеет несколько генераторов $Г_1$, $Г_2$, ... с различными частотами f_1, f_2, ..., ток от которых соответствующим образом м. б. послан в линию. Приемная часть установки заключает в себе фильтры $Ф_1$, $Ф_2$, ..., рас-



Фиг. 6.

считанные на пропускание частот f_1, f_2, ..., усилительные и детектирующие устройства. Действует такая установка следующим образом. Телеграфный аппарат посылает сигналы в реле P_1, к-рое своим язычком и контактом, в момент прохождения сигнала через его обмотки, замыкает цепь генератора $Г_1$. Последний посылает в усилитель $У_1$ импульс переменного тока, по продолжительности соответствующий посланному сигналу от телеграфного аппарата. Усиленный ток затем идет в линию. В то же время другой телеграфный аппарат может послать сигнал в реле P_2, которое точно так же замыкает цепь генератора $Г_2$, от к-рого импульс переменного тока, но уже другой частоты, через усилитель $У_2$ идет в ту же линию. Действие других телеграфных аппаратов и генераторов происходит подобным же образом. Т. к. переменный ток проходит линию с нек-рым затуханием, то приходящий в приемное устройство переменный ток предварительно усиливают. Импульсы всех частот фильтрами $Ф_1$, $Ф_2$, ... разделяются т. о., что импульс с частотой f_1 проходит только через соответствующий ему фильтр $Ф_1$, импульс с частотой тока f_2 проходит фильтр $Ф_2$ и т. д. Затем импульс детектируется детекторной лампой $Д_1$, в анодной цепи к-рой возникнет импульс уже постоянного тока, способного привести в действие телеграфное реле T_1. Это реле передаст сигнал телеграфному аппарату. То же произойдет с остальными сигналами, передаваемыми токами других частот. Процессы преобразования сигналов показаны на фиг. 6 (где *1*—ток в обмотке передающего реле, *2*—ток в линии, *3*—ток после фильтра, *4*—ток в анодной цепи детекторной лампы, *5*—ток в обмотке приемного реле).

В телеграфии значительную роль играет скорость передачи сигнала. При телеграфировании переменными токами скорость передачи сигнала ограничена: 1) электрич. и механич. инерцией приборов, 2) затуханием и искажением цепей, 3) внешними помехами. Электрич. фильтры в многократной телеграфии сглаживают телеграфные знаки. Процесс сглаживания заключается в следующем. Если у начала фильтра внезапно приложить переменное напряжение, то переменный ток у конца нарастает постепенно. При выключении переменного напряжения у начала ток у конца затухает также постепенно. Если импульс постоянного тока разложить в ряд Фурье, то увидим, что этот импульс образован спектром частот от 0 до ∞. Любой телеграфный сигнал м. б. разложен на составные колебания. Как пример разложения знака Морзе «а» см. *Быстродействующие радиопередача и радиоприем*, где фиг. 17 показывает, что этот сигнал имеет составные колебания с различными частотами, причем амплитуды их имеют наибольшее значение в приближении к частоте 0. Точно так же импульс переменного тока содержит спектр частот, амплитуды к-рых возрастают в приближении к несущей частоте. Амплитуда составного колебания A и его частота f находятся с амплитудой v_0 несущей частоты f_0 в следующей зависимости:



Фиг. 7.

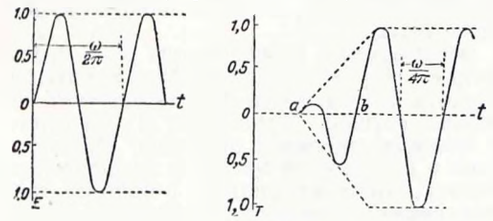
$$A = \frac{v_0 f_0}{4\pi^2 (f^2 - f_0^2)}.$$

На фиг. 7 показан спектр амплитуд точки переменного тока при $f=800$ пер/ск. Т. к. действием фильтра боковые составные колебания уничтожаются, а через фильтр проходят только колебания, наиболее близко стоящие к основной частоте, то сигнал будет искажен. На фиг. 8 показано нарастание тока в конце фильтра или, как иначе называют, раскачивание амплитуды тока. В период нарастания тока частота и амплитуда принимаемого сигнала увеличиваются от небольшой величины в точке a до тех пор, пока в точке b не достигнет установившегося состояния. Для телеграфирования считают началом раскачивания тот момент, когда амплитуда возросла на 10% ее конечного значения, а колебания установившимися, когда амплитуда достигла 90% ее конечного значения. Продолжительность всего процесса раскачивания определяется: 1) шириной отверстия фильтра и 2) частотой точки. Избирательность

фильтра увеличивается как с повышением числа звеньев, так и с уменьшением ширины отверстия фильтра. Последнее условие ведет к увеличению раскачивания, так как продолжительность τ этого явления выражается следующим соотношением:

$$\tau = \frac{k}{2\pi(f_2 - f_1)},$$

где $f_2 - f_1$—полоса пропускания фильтра, k—постоянная, равная 5÷5,5. Влияние,

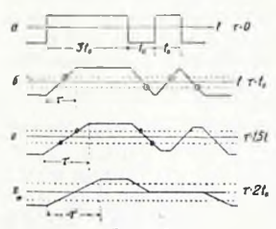


Фиг. 8.

которое оказывает фильтр на телеграфный знак, наглядно видно из фиг. 9. Если время раскачивания $\tau = 0$ (фиг. 9,а), форма знака не изменяется. Если установить границу действия приемного реле, как на фиг. показано пунктиром, то знак будет воспроизведен без искажения. При увеличении τ войдет уже искажение, и меньшая часть посылки будет производить полезную работу. При $\tau = 2t_0$ прием невозможен, как показано на фиг. 9,г. Практикой установлено, что τ не д. б. больше продолжительности «точки» t_0, т. е. $t_0 = \tau$. Для длительности точки t_0 частота $f_t = \frac{1}{2t_0}$. Тогда ширина отверстия определится из выражения:

$$\frac{f_t}{f_2 - f_1} = \frac{\pi}{k}, \text{ или } f_2 - f_1 = \frac{k}{\pi} f_t.$$

Ширина отверстия фильтра определяется частотами, для к-рых затухание на 0,5 непера (фиг. 10) выше минимального затухания. Практически ширина отверстия бывает 65—75 периодов. Фильтры д. б. построены т. о., чтобы они позволяли в предоставляемом для телеграфной передачи диапазоне частот установить максимум телеграфных связей; кроме того они должны: 1) обеспечивать отчетливость передачи сигнала, 2) не влиять друг на друга, 3) допускать скорость работы, нормальную для общепринятых телеграфных аппаратов.

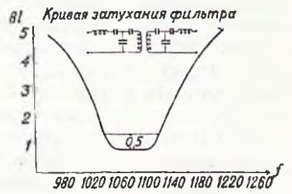


Фиг. 9.

В качестве источников переменного тока обычно применяются маломощные ламповые генераторы с самовозбуждением. Существуют также системы, у которых в качестве источника тока применяются машинные генераторы. Выбор несущих частот f_n генераторов производится таким образом, чтобы они были нечетно кратны единственному числу f_0, т. е.

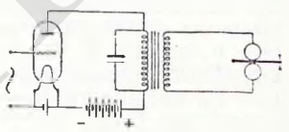
$$f_n = (2n + 1)f_0.$$

Этим путем устраняется влияние передач друг на друга. По тем же соображениям генераторы д. б. достаточно свободны от высших гармоник. колебаний и иметь вполне устойчивую частоту. Для сохранения последнего условия применяют на тональных установках камертонные генераторы (см. *Телефонная передача*). Телеграфное реле включают таким образом, чтобы работа его не отражалась на частоте генератора, что может иметь место в случае значительных колебаний сопротивления внешней цепи генератора при замыкании и размыкании цепи. Поэтому в цепь генератора включают добавочное *затухание* (см.), а само реле включают последовательно либо параллельно генератору. Передача энергии от генераторов в линию не должна сопровождаться взаимным влиянием их друг на друга, что достигается включением генераторов через усилитель (фиг. 5) или фильтр (фиг. 10) или же последовательным соединением генераторов. Расчет генераторов производится обычными методами (см. *Ламповые генераторы*). Усилители как у передатчиков, так и у приемников обыкновенно конструируют по схеме с трансформаторами; усилители бывают: одноламповые, реже двухламповые с каскадным или пушпульным (симметричным) соединением.



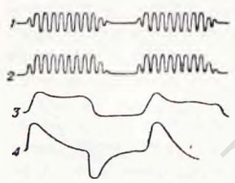
Фиг. 10.

После фильтра приемный ток обычно поступает на лампу, имеющую на сетке значительное отрицательное напряжение, вследствие чего в анодной цепи лампы получается выпрямленный уже импульс телеграфного сигнала; находящееся в анодной цепи реле под действием уже импульса постоянного тока сработает и в свою очередь перешлет полученный сигнал на телеграфный аппарат. Т. к. в анодной цепи ток имеет только одно направление, то возвращение якоря реле к спокойному контакту производится либо силой притяжения пружины либо путем воздействия добавочной обмотки в реле с батареей. Существуют схемы, в которых реле возвращается к спокойному контакту путем использования нестационарных процессов, возникающих в цепях с емкостью и самоиндукцией. В схеме (фиг. 11) с трансформатором в анодной цепи выпрямительной лампы работа реле происходит следующим образом. Когда в анодной цепи под действием приходящих сигналов мгновенно нарастает ток, во вторичной обмотке трансформатора появляется импульс тока одного направления; в момент убывания тока в анодной цепи во вторичной обмотке будет импульс тока другого направления (фиг. 12, где *1*—ток на входе в детектор лампы, *2*—ток в анодной цепи, *3*—ток в первичной обмотке трансформатора, *4*—ток во вторичной обмотке трансформатора). Расчет этого трансформатора должен быть произведен таким обр. чтобы



Фиг. 11.

его максимальная отдача была при частоте точки f_t. Выпрямление м. б. произведено напр. контактным детектором. Реле, которое работает от неустановившихся токов, обязательно д. б. свободно от перемагничиваний и достаточно чувствительно. Т. к. установки д. б. достаточно удобны и устойчивы в эксплоатации, их снабжают вспомогательными приборами, как то: вольтметрами и

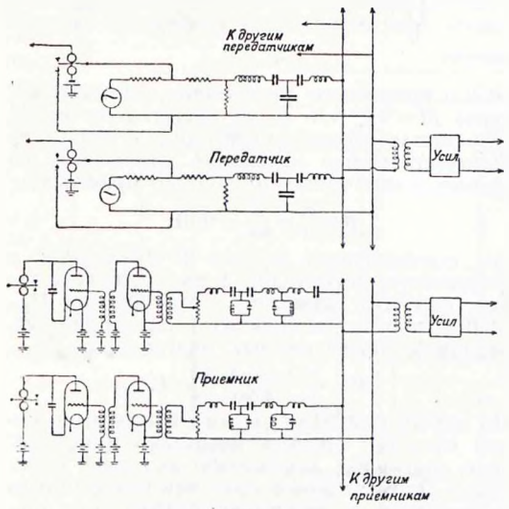


Фиг. 12.

амперметрами для измерений питающих источников тока, устройствами для служебных переговоров, сигнальными приспособлениями и т. д. Вся установка монтируется вместе с главными элементами схемы на общем каркасе. Передача и прием телеграмм производятся при помощи обыкновенных телеграфных аппаратов (Бодо, Сименса и других). Существуют схемы многократного телеграфирования переменными токами, допускающие работу одновременно 4, 6, 10, 12 телеграфных аппаратов. На фиг. 13 установка системы Western Electric с машинным генератором.

В. Дубовин.

Многократное телефонирование по проводам впервые было осуществлено американцем Сквайером (G. Squier) в 1910 г., но в виду сложности устройства распространения не получило, и только после изобретения электронной лампы подошли к практическому использованию нового вида связи (Америка и Германия в 1921 г., СССР в 1924 г.).



Фиг. 13.

Многократное телефонирование основано на применении переменного синусоидального тока высокой частоты (т. н. н е с у щ е г о т о к а) для передачи разговорного тока; с этой целью амплитуду тока высокой частоты изменяют в такт с разговорным током; процесс этот называется *модуляцией* (см.). Нетрудно убедиться в том, что модулированная волна тока содержит токи трех различных частот. Действительно, предположим, что колебания высокочастотного тока имеют вид $A \sin Ht$, а колебания разговорного тока—$a \sin Nt$; так как амплитуда A изменяется в такт разговорного тока, то амплитуда модулированного тока будет равна $A + a \sin Nt$, и модулированный высокочастотный ток определится выражением:

$$y = (A + a \sin Nt) \sin Ht.$$

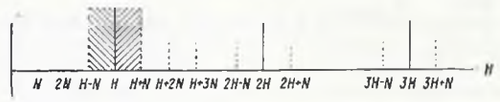
Так как

$$\cos(Ht - Nt) - \cos(Ht + Nt) = 2 \sin Ht \sin Nt,$$

то

$$y = A \sin Ht + \frac{a}{2} \cos(H - N)t - \frac{a}{2} \cos(H + N)t.$$

Следовательно модулированная волна содержит три частоты: H—несущую частоту и две боковые частоты: $(H-N)$ и $(H+N)$. Существует два способа многократного телефонирования, именно: 1) осуществляемого при посылке в линию несущей частоты (H), когда в линию направляются все три частоты, и 2) осуществляемого без посылки в линию несущей частоты (H), когда в линию



Фиг. 14.

направляются только две частоты $(H - N)$ и $(H + N)$. Как в том, так и в другом случае одна из *боковых частот* (см.) м. б. задержана в пункте отправления и в линию не направится.

Первый способ технически выполняется обычно следующим образом. Оба колебания $A \sin Ht$ и $a \sin Nt$ складывают, а затем подвергают действию модулятора, в качестве которого применяется электронная лампа, работающая в области наиболее сильной кривизны своей характеристики; благодаря этому в анодной цепи модулятора возникают высшие гармоники и комбинированные колебания, т. е. частоты:

$$H, N, 2H, 2N, (H - N), (H + N), 3H, 3N, (2H \pm N), (H \pm 2N) \text{ и т. д.}$$

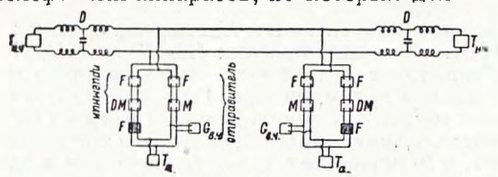
(фиг. 14). Частоты $H, (H + N)$ и $(H - N)$, необходимые для образования модулированного колебания, заштрихованы на фиг. 14. Колебания остальных частот могут вредить, ибо искажают модулированную волну, а потому не д. б. допущены на линию. Для этого между отправителем и линией требуется включить прибор (фильтрующий контур), который должен пропускать только частоты $H, (H + N)$ и $(H - N)$. К приемному пункту подходит модулированная волна с частотами H и $(H \pm N)$; здесь эта волна встречает электронную лампу, служащую д е м о д у л я т о р о м (выпрямителем), благодаря чему в ее анодной цепи возникают колебания H и $(H \pm N)$, их высшие гармоники и комбинированные колебания:

$$(H + N) + H = 2H + N; H + (H - N) = 2H - N; (H + N) - H = N; H - (H - N) = N,$$

т. е. колебания разговорных частот. Для того, чтобы в телефонный аппарат проникли только разговорные частоты N, между демодулятором и телефонным аппаратом необходимо установить фильтрующий контур.

Так. обр. происходит передача разговора в одном направлении; совершенно аналогич-

но происходит она и в обратном направлении; только надо применить для несущей волны другую частоту; следовательно для одного двухстороннего разговора требуются две различные несущие волны. Применяя другие высокие частоты, можно по одной и той же линии вести одновременно несколько разговоров; в этом случае в приемном пункте необходимо волны различных частот разделить фильтрующими контурами для направления их к соответствующему телефонному аппарату; что касается включения в линию телефонных аппаратов, по которым должна



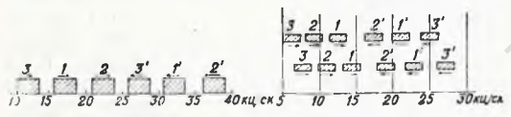
Фиг. 15.

происходить обыкновенная телефонная передача, то это вполне возможно; надо только преградить к ним доступ высокочастотных токов, что достигается также при помощи фильтрующих контуров. Оборудование телефонной линии, по к-рой происходит одновременно один разговор по высокой частоте и один «обыкновенный» разговор, схематически изображено на фиг. 15. Здесь $T_{н.ч.}$—телефонный аппарат низкой частоты, D—дроссельный фильтр, F—фильтры, M — модулятор, DM — демодулятор, $G_{в.ч.}$— генератор высокой частоты, T_a—телефонный аппарат. Т. к. для высокочастотной телефонии можно использовать довольно ограниченный спектр частот, то для осуществления нескольких пар разговоров необходимо спектр частот, требующийся для одного разговора, по возможности сузить. Последнее достигается тем, что одну боковую частоту $(H+N)$ или $(H-N)$ задерживают в отправительном пункте и в линию ее не пускают, иначе говоря, тогда модулированная волна будет следующего вида:

$$y = A \sin Ht + \frac{a}{2} \cos (H - N)t.$$

Для телефонной передачи достаточно двух частот H и $H-N$ (или $H+N$). Необходимо отметить, что, применяя эти две частоты вместо трех, мы используем для модуляции половину амплитуды разговорного тока.

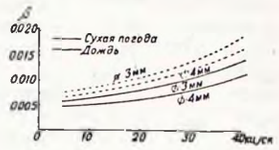
Переходим к выяснению численных значений для N и H. Опытом выяснено, что те-



Фиг. 16.

Фиг. 17.

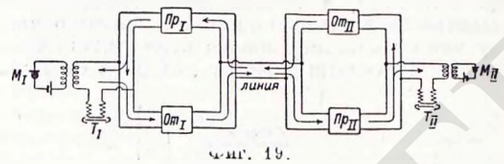
лефонная передача может считаться вполне удовлетворительной, если в ней участвуют частоты до 2 400 пер/ск., поэтому $N = 2\,400$; для выяснения величины H необходимо коснуться вопроса о спектре высоких частот, к-рым мы можем располагать. Что касается наименьшего значения H, то оно определяется тем, что H д. б. больше наивысшей частоты разговорного тока. Последние исследования показали, что наивысшие частоты имеет буква C, для к-рой f достигает 10 000—12 000 пер/ск.; поэтому напр. фирма Телефункен за начальную частоту спектра несущей волны принимает 10 000 пер/ск. Американцы в этом отношении более радикальны и начинают с 5 000 пер/ск., т. е. идут заведомо на определенное искажение. Но т. к. это искажение не превышает искажения, имеющего место при обыкновенном телефонировании, то с ним можно вполне примириться. Частота же верхнего предела для величины H определяется, во-первых, тем расстоянием, на к-рое требуется установить телефонную передачу при помощи несущей частоты, во-вторых—числом



Фиг. 18.

одновременных переговоров и в-третьих—экономич. соображениями. На фиг. 16 и 17 указано распределение частот, применяемое фирмой Телефункен и фирмой Белля.

Что касается дальности телефонирования на высоких частотах, то она определяется верхним пределом спектра частот несущей волны, мощностью отправительного аппарата и усилительной способностью приемного. Напр. аппараты немецких фирм и Всесоюзного электротехнического объединения



Фиг. 19.

(ВЭО) покрывают расстояние, соответствующее $\beta l = 5 \div 5{,}5$. Если желательно этими аппаратами покрыть расстояние в 500 *км*, то километрическое затухание наивысшей из применяемых частот не должно превышать:

$$\beta = \frac{\beta l}{l} = \frac{5}{500} = 0{,}01,$$

что соответствует частоте 24 000 пер/ск. в дождливую погоду для 4-мм бронзовой линии (фиг. 18). Зная начальную частоту H_1= =5 000 пер/ск. и конечную H_2=24 000, определяем число парных разговоров:

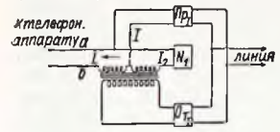
$$P = \frac{1}{2} \frac{24\,000 - 5\,000}{2\,400} = 4.$$

Но между каждыми двумя спектрами высокой частоты, предназначенными для передачи разговора, необходимо оставить некоторый промежуток частот, так как фильтры пропускают не только те частоты, для пропуска к-рых они построены, но и ближайшие к ним. Практически эти промежутки делают не менее 600 пер/ск. Поэтому на каждый разговор (в одну сторону) требуется спектр частот, равный $2\,400 + 600 = 3\,000$ пер/ск. Следовательно число парных разговоров для разобранного выше примера

$$P = \frac{1}{2} \frac{19\,000}{3\,000} = 3.$$

Если бы схема соединения приемников, отправителей и телефонных аппаратов имела вид согласно фиг. 19, где *Отп*—отправитель,

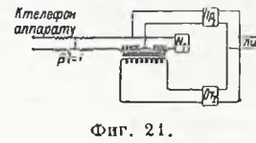
Пр—приемник, *М*—микрофон, *Т*—телефон, то всякая телефонная передача была бы исключена появлением суммирования (свиста) вследствие появления токов обратной связи (отправитель I, линия, приемник II; отправитель II, линия, приемник I; отправитель I, линия и т. д.). Поэтому необходимо ввести дифференциальный трансформатор, к-рый бы препятствовал исходящему току из приемника I (или II) действовать на отправитель I (или II). Тогда схема принимает вид согласно фиг. 20. Теперь ток I из приемника разветвляется в обмотках дифференциального трансформатора частью (I_1) в телефонный аппарат, а частью (I_2) в балансную линию N_1. Если $I_1 = I_2$, то входящий ток I не будет действовать на отправитель I. Но равенство $I_1 = I_2$ достигается только в том случае, если кажущееся сопротивление телефонного аппарата равно кажущемуся сопротивлению балансной линии N_1. Так как телефонные аппараты могут иметь различные сопротивления и кроме того они устанавливаются в различных расстояниях от телефонной станции, то кажущееся сопротивление, измеренное от точек *а* и *б* в сторону телефонного аппарата, является переменной величиной, а потому такая схема (фиг. 20) не будет эксплоатационной, т. к. невозможно практически для каждого абонента настраивать балансную линию N_1. Поэтому между дифференциальным трансформатором и телефонным аппаратом включают искусственную линию



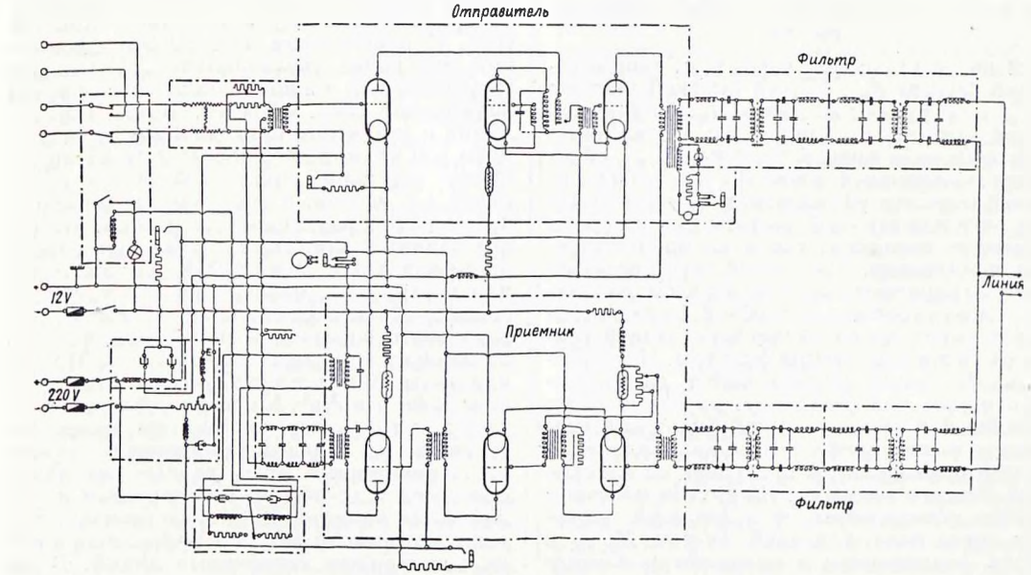
Фиг. 20.

(удлинитель) с таким затуханием, чтобы изменение кажущегося сопротивления на ее конце весьма мало сказывалось на ее кажущемся сопротивлении, измеренном из точек *а* и *б* в сторону телефонного аппарата. Практически достаточно затухание этой искусственной линии сделать равным $\beta l = 1$, тогда схема принимает вид, изображенный на фиг. 21. Принципиальная схема всей установки изображена на фиг. 22.

Многократное телефонирование без посылки в линию тока несущей частоты. При многократном телефонировании при помощи несущего тока весьма важно, чтобы в линии было как можно меньше посторонней энергии. С этой целью предпочтительно применять такие схемы отправителей, при к-рых энергия от каждого из них поступает в линию только при воздействии на них микрофоном (т. е. только во время произношения слов); в остальное же время, хотя генератор и работает (при выслушивании говорящего на противоположном конце линии), но энергия от него в линию не подается. Наиболее распространенная система—это система балансной модуляции, при к-рой в линию поступают только две боковые частоты, если же одна из них будет устранена соответствующим фильтром, то передача совершается на одной боковой частоте, без несущей; для того же, чтобы в приемном устройстве получить модулированную волну обычного вида, нужно в приемнике на боковую частоту наложить несущую частоту от местного генератора. В отношении распределения частот для разговоров в этой системе также применяются различные частоты для передачи разговора в противоположных направлениях. Объясняется это,



Фиг. 21.

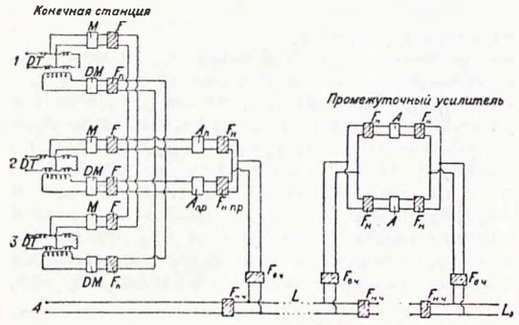


Фиг. 22.

во-первых, тем, что вопрос о промежуточном усилении упрощается, т. к. частоты противоположных направлений разделены друг от друга и объединены в группы; затем облегчается устранение взаимного мешающего влияния различных установок на одной и

той же воздушной магистрали, и получается возможность установить на одной и той же магистрали большое число связей.

На фиг. 23 представлена упрощенная схема всей установки. Она заключает в себе аппараты одного конечного пункта, первый участок линии и промежуточный усилитель. Понятно, что общее расстояние между конечными пунктами м. б. увеличено при соответственном увеличении числа промежуточных усилителей. В каждом конечном пункте имеются конечные клеммы трех цепей, работающих несущими токами (*1*, *2* и *3*) и обыкновенной разговорной линии (*4*). Все эти линии оканчиваются на междугородном коммутаторе. Когда абонент соединен с одной из этих линий, например *1*, разговорные токи, проходя через диференциальный трансформатор с тремя обмотками *DT* и поступая в модулятор *M*, модулируют несущий ток высокой частоты. Получающиеся модулированные полосы частот проходят через фильтр *F*, пропускающий в усилитель $A_п$. передатчика только токи одной какой-либо определенной полосы частот; отсюда токи



Фиг. 23.

этой полосы проходят через т. н. направляющий фильтр $F_{н.}$, фильтр высокой частоты $F_{в.ч.}$ и поступают на линию L_1. Фильтр высокой частоты, в соединении с дополнительным фильтром низкой частоты $F_{н.ч.}$, образует т. называемый линейный фильтр, к-рый отделяет обыкновенный разговорный ток от токов высокой частоты как на обеих конечных станциях, так и на промежуточных усилителях. Две другие линии несущей частоты работают таким же образом; различные модулированные полосы соединяются вместе, проходя на линию через общий усилитель и направляющий фильтры. На усилительной станции группа частот, заключающая в себе три разговора, проходит через линейный и направляющий фильтры к усилителю и затем от него через направляющий и линейный фильтры поступает на следующий участок линии L_2. На другом конечном пункте объединенные несущие токи проходят через направляющий фильтр $F_{н.пр.}$ и снова усиливаются в приемном усилителе $A_{пр.}$. При выходе из этого усилителя различные полосы несущих частот разделяются полосными фильтрами, проходят в демодулятор *DM*, где они принимают свою первоначальную форму, и затем через диференциальный трансформатор *DT* поступают на соответствующие клеммы междугородного коммутатора.

Так как затухание в воздушных линиях большой длины зависит от атмосферных условий, то этим вызывается необходимость регулирования усиления всей системы. Регулировку эту осуществляют при помощи т. н. контрольной связи, выбирая между полосами частот, предназначенными для разговоров, специальную несущую частоту. При каждой усилительной установке в приемнике имеется прибор, отмечающий уровень передачи (см. *Телефонная передача*). Стрелка этого прибора должна нормально стоять на нуле шкалы или вообще в нормальном для данной системы положении. Если изменение линейного затухания вызовет изменение уровня передачи, то прибор покажет соответствующее отклонение. Регулируя промежуточный усилитель или потенциометр конечного усилителя, можно добиться опять нормального уровня передачи. Кроме того конечный приемный пункт оборудуется еще сигнальной цепью, к-рая дает предупреждение дежурному технику в том случае, когда отклонение уровня передачи от нормального уровня превышает предельную, предварительно установленную величину. Для каждого направления передачи применяется отдельная контрольная частота. Так как эта связь не используется для передачи разговоров, то для нее берется очень узкая полоса, вследствие чего общий диапазон частот, отведенный для этих целей, незначителен.

Общие вопросы передачи. На фиг. 18 представлены типичные кривые затухания воздушных линий при высокой частоте в зависимости от диаметра проводов и состояния погоды. Затухание при сырой погоде возрастает приблизительно на 40% по сравнению с затуханием при сухой погоде. С повышением частоты эти отклонения еще более увеличиваются. Изменение затухания для данного конкретного случая определяют след. образом. Пусть имеется линия с диаметром провода 4 *мм*, протяжением 600 *км* при несущей частоте 25 кц/ск. Общее затухание при сухой погоде будет равно 4,8 непера, в очень сырую погоду — 6,0 неперов; разница — 1,2 непера. На более длинных линиях, в случае применения промежуточных усилителей (трансляций) или перепряма, отклонения эти могут достигать очень значительной величины. Устойчивость передачи в значительной степени зависит от качества изоляторов. Применяя изоляторы соответствующего типа, дающие даже и в сырую погоду небольшие потери для токов высокой частоты, можно достигнуть еще большей устойчивости передачи. Приведенные здесь данные затухания относятся к проводам, подвешенным на телефонных изоляторах старого стандартного типа, которые до сих пор применяются еще на большинстве телефонных линий. В настоящее время начинают однако входить в употребление изоляторы нового улучшенного типа, при которых изменения в затухании, происходящие вследствие изменения атмосферных условий, уменьшаются в 3 раза, абсолютная же величина затухания для высоких частот уменьшается до 25%. Как было указано выше, для телефонирования

несущими токами пользуются в большинстве случаев воздушными линиями. Когда такие линии проходят через густо населенные районы, необходимо нек-рые участки воздушных линий убрать в кабели. Вследствие малого диаметра кабельных жил и близкого взаимного расположения их затухание при высоких частотах достигает значительной величины даже и на сравнительно небольших участках кабеля. В связи с этим были предложены особые способы пупинизирования кабелей (см. *Пупинизация*), к-рые позволили значительно уменьшить затухание при высоких частотах и благодаря к-рым волновое сопротивление кабельной цепи в значительной мере приближается к волновому сопротивлению воздушных линий, вследствие чего уменьшаются потери от отражения. Этот факт имеет весьма существенное значение, так как волновое сопротивление воздушной цепи колеблется от 600 до 700 Ω, непупинизированный же кабель имеет волновое сопротивление порядка 130—150 Ω. Возникающие при этом потери вследствие отражения достигают большой величины даже и на коротких участках непупинизированных кабелей. В современных пупинизированных кабелях, применяемых для систем несущих токов, катушки (самоиндукция их $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ Н) ставятся на расстоянии $\sim$ 200 *м*. Пупинизированные кабельные линии имеют волновое сопротивление, близкое к волновому сопротивлению воздушной линии на всем диапазоне частот, применяемом для передачи несущими токами. Пупинизация уменьшает затухание кабеля для высокой частоты примерно вдвое. Для станционных кабелей и проводов и для очень коротких промежуточных и входных кабелей применяются особые способы пупинизирования.

Связь на несущих частотах почти не испытывает мешающего влияния со стороны посторонних токов. Однако это объясняется скорее устройством аппаратов и установок, чем свойствами токов высокой частоты. Наш опыт показал, что если не принимать специальных предохранительных мер, то могут возникнуть мешающие воздействия от следующих посторонних источников энергии: а) высших гармоник силовых установок; б) частот, производимых силовыми линиями, например в случаях возникновения дуги на изоляторах, при действии предохранителей различных видов, при работе электрич. ж. д., при групповом уличном освещении и т. д.; в) систем несущей частоты, применяемых на линиях передачи электрич. энергии; г) мощных радиостанций. Силовые установки дают обычно гармоники, частота к-рых лежит вне того диапазона, к-рый применяется для системы несущих токов, вследствие чего эти системы испытывают значительно меньше помех со стороны гармоник силовых установок, чем обыкновенные телефонные линии тональной частоты. Однако в некоторых случаях, например когда в системе группового уличного освещения, обслуживаемой отдельными групповыми трансформаторами или автотрансформаторами, перегорает лампа, то получающееся при этом насыщение магнитной цепи трансформатора вызывает гармоники значительной силы, частота к-рых достигает 30 кц/ск. и выше, и к-рые вносят заметные помехи в систему телефонирования несущими токами. Более серьезным источником помех являются неисправности в силовых линиях, при к-рых получается образование дуги; сюда относятся возникновение дуг на изоляторах, утечка через деревья, касающиеся проводов линии, действие громоотводов, ненормальное искрение коммутатора или контактного кольца, переключение и т. д. Иногда телефонные системы несущих токов интерферируют с лежащими вблизи них силовыми линиями, используемыми для телефонной передачи несущими токами. Вследствие широкого распространения систем несущей частоты на силовых магистралях и в виду того, что применяемая в них мощность передачи во много раз превышает мощность описанных здесь систем, интерференция со стороны их могла бы стать источником более серьезных помех, если бы эти линии не работали на частотах более высоких, чем тот диапазон частот, к-рый применяется для телефонных линий. Радиотелеграфные станции, работающие на частотах, лежащих в диапазоне, используемом для установок многократного телефонирования, могут явиться источником помех там, где линии несущих токов проходят сравнительно близко от радиостанций. Воздушные телефонные линии играют роль длинноволновых антенн и принимают энергию, получаемую радиостанциями. Эта энергия попадает сначала в провод и затем уходит в землю. Но вследствие остаточной асимметрии линии часть энергии неизбежно попадает в приемные аппараты в виде звуков, напоминающих гетеродинные сигналы в радиотелеграфном приемнике. Молния и другие статич. разряды являются главной причиной шумового фона, наблюдающегося во всех линиях несущей частоты. Помехи эти обычно невелики, если не считать такие случаи, как гроза и т. д.

Воздушные телефонные линии, расположенные в непосредственной близости друг от друга, при одновременной работе подвержены взаимному влиянию (явлению подслушивания) вследствие индуктивного и емкостного взаимодействия проводов. Для многопроводных воздушных линий этот вопрос имеет серьезное значение даже и в том случае, когда применяемые частоты не превышают тонального диапазона. Для устранения переходных разговоров применяется скрещивание, *транспозиция* (см.) проводов. С повышением частот, используемых для передачи, мешающее влияние линий друг на друга усиливается. Поэтому транспозиции проводов линий, используемых для несущих частот, устанавливаются значительно чаще, чем на линиях, работающих лишь низкой частотой (в некоторых случаях даже через столб). Явление подслушивания можно значительно уменьшить следующими мерами: 1) правильным установлением направлений несущих частот; 2) выравниванием уровней передачи между системами несущей частоты, работающими по линиям, которые идут параллельно на большом протяжении; 3) применением ступенчатого распределения частот (фиг. 17); 4) тщательной согласован-

ностью отдельных частей телефонной цепи (аппараты, линия и т. д.).

Усилители устанавливаются в том случае, когда протяжение линии превосходит расстояние, при к-ром конечные передающие аппараты могут поддерживать необходимый уровень передачи. Роль усилителя следовательно состоит в усилении несущих токов т. о., чтобы последние, достигая следующего участка линии, были по величине сравнимы с токами, приходящими с конечной станции. Очевидно, что требования, предъявляемые усилителями в отношении степени усиления, мощности и т. д., колеблются в широких пределах в зависимости от длины линии, частоты и т. п. Опыт показал, что наиболее целесообразно устанавливать усилители высокой частоты на расстоянии, равном приблизительно расстоянию между усилителями низкой частоты, работающими на той же линии. Это расстояние в среднем равно 240—450 *км*, в редких случаях оно несколько больше. Благодаря установке усилителей низкой и высокой частоты на одной и той же станции сокращается оборудование, упрощается содержание, и получается возможность пользоваться одним и тем же источником питания. Требуемые усиления и мощность определяются т. о. расстоянием между усилителями. Усиление зависит от затухания линии между усилителями, а мощность от уровня энергии на выходе усилителя, к-рый необходим для обеспечения передачи. В виду большого затухания линии в диапазоне несущих частот усилитель несущих токов должен давать такое максимальное усиление, к-рое приблизительно раза в четыре превосходило бы усиление, даваемое усилителем низкой частоты, работающим на той же самой линии. Если усиление порядка 1,5 непера легко может быть получено от усилителей низкой частоты, работающих с искусственными линиями по двухпроводной системе, то усиление в 4.5 непера, к-рое должны давать усилители высокой частоты, требует или работы без искусственных линий или перехода на четырехпроводную систему.

Первоначальные системы телефонирования несущими токами в сравнении с подвеской новых проводов являлись экономически более выгодными лишь для расстояний, превышающих 500 *км*; системы, применяемые в настоящее время, дают экономию и на значительно меньших протяжениях (до 300 *км*). Этот факт стимулировал широкое распространение установок многократного телефонирования несущими токами. Нельзя не признать т. о., что телефонирование несущими токами является одним из главных факторов в развитии дальней телефонной связи, где применение его дает значительную экономию. Введение новых систем значительно удешевило эксплоатацию и дало возможность в Америке снизить тариф на междугородные разговоры. Эксплоатационные требования, предъявляемые при телефонировании несущими токами, в основном не отличаются от требований, предъявляемых к коммерческ. телефонным линиям, работающим другими способами. Задача заключается в установлении такой междугородной телефонной связи между двумя отдаленными станциями, которая удовлетворяла бы определенным стандартам передачи в отношении громкости, устойчивости и качества передаваемой речи. Для удовлетворения последнего условия необходимо, чтобы полоса передаваемых тональных частот имела определенный диапазон. Кроме того необходимо сократить до минимума эффекты, вызывающие искажение, а также устранить с линии шумы и явление подслушивания. Сигнализационная система д. б. устроена т. о., чтобы телефонистки конечных станций могли вызывать друг друга, иначе говоря, система должна работать как обыкновенная телефонная линия. **М. Юрьев.**

Лит.: Гаррисон Г. Г., Буквопечатающие аппараты и механизмы, М., 1926; Яблочковский Н. А., Электрич. телеграф, М., 1923; Шмаков П. В., Радио по проводам, М., 1927; его же, Проволочный радио в Америке, «Техника связи», М., 1923, т. 2; Юрьев М. Ю., Многократная телефония с помощью высокочастотных токов, «Жизнь и техника связи», М., 1924, *8*, *9—10*; Boddie C. A., Telephone Communication over Power Lines by High Frequency Currents, «Proc. of the Institute of Radio Eng.», N. Y., 1927, v. 15, 7, p. 559; Sterky H., Neue schwedische Systeme für Hochfrequenzverbindungen auf Fernsprechleitungen, «The L. M. Ericson-Review», Stockholm, 1929, *10—12*, p. 137—154; Cruickshank, Voice Frequency Telegraphs, «JAIEE», 1929, v. 67, *391*.

МНОГОКРАТНЫЙ ПРИЕМ в радиотехнике. Многократные радиопередача и радиоприем являются существенным элементом технической организации современных *радиоузлов* (см.). Правильная эксплоатация радиосвязи требует осуществления как одновременной передачи разных сигналов несколькими (или одним) передатчиками с нескольких (или одной) антенн, так и одновременного приема многих корреспондентов при помощи одной (или нескольких) антенн. Управление всеми передатчиками, как и конечный прием (слуховой, чаще автоматический) получающихся радиосигналов от всех приемников, сосредоточивается в центральном бюро (радиоузле), причем передающие радиостанции (т. н. «передающий центр»), приемные установки (т. н. «приемный центр») и центральное бюро, всегда территориально разделенные расстояниями в несколько десятков *км*, связаны между собой проволочными (воздушными или значительно чаще кабельными подземными) линиями; т. о. осуществляется многократная дуплексная радиосвязь.

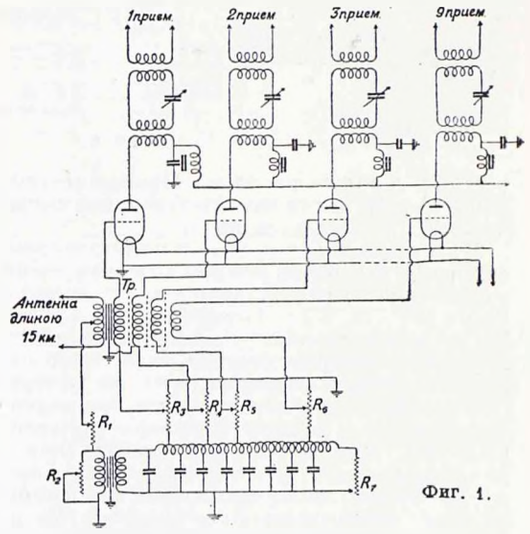
Многократная радиопередача до последнего времени практически осуществлялась в виде схемы передатчиков, пространственно разделенных и работающих каждый только на одну антенну. Если удаление передатчиков один от другого и разность частот колебаний, излучаемых ими, достаточно велики, то одновременная эксплоатация их не вызывает затруднений. Однако при значительно чаще применяющемся устройстве передатчиков на одной территории («передающий центр») для избежания взаимных влияний приходится часто использовать «отвязывание» антенн (см. *Связь*) и кроме того, располагая их на данной местности, выбирать частоты излучаемых ими колебаний таким образом, чтобы избежать взаимных воздействий. Делались неоднократно попытки получения многократной

радиопередачи при помощи только одной антенны, на которую работало два (редко более) передатчика (применялись искусственные методы—напр. получение волн связи в ламповом генераторе, выделение гармоник в машинном передатчике), излучавшие две или больше частоты. Однако эти системы не привились. Лишь в последние годы в связи с развитием коротких волн в ряде государств (СССР, Англия, Германия) для многократной радиопередачи используют коротковолный передатчик со многими модуляциями. Так, Маркони в одном и том же передатчике практически применяет модуляции: 1) телефонную—в пределах 400—3 000 пер/ск.; 2) две телеграфные—на частотах 7 000 и 9 000 пер/ск. На приеме эти частоты, получаемые при одной и той же несущей частоте (см. *Несущая волна*), разделяются при помощи надлежащих фильтров и направляются: телефонная модуляция—абоненту, а телеграфные—в пишущее устройство. В этом случае реализуемый за счет глубины модуляции суммарный коэф. модуляции не может превосходить 95—100% (см. *Модуляция*). Достоинством такой схемы являются: 1) возможность регулирования мощности по отдельным направлениям, 2) занятие в эфире полосы частот, втрое меньшей требующейся для трех отдельных передатчиков. Недостатком схемы является значительная сложность устройства как на передающей, так и на приемной стороне.

Многократный радиоприем в современном виде, в противоположность передаче (происходящей на открытых антеннах), использует всегда замкнутую форму радиосети в простой или *кардиоидной схеме* (см.) и *волновую антенну* (см.), так как такие радиосети, обладая значительной направленностью, позволяют уменьшить воздействие на приемник атмосферных помех и исключить мешающее действие собственных (т. е. того же радиоузла) передатчиков. Сигналы, подаваемые затем в центральное бюро узла, могут приниматься в одном или нескольких пунктах (приемных центрах).

Исторически, вначале для М. п. применялись устройства отдельных антенн (контурных или рамочных) для каждого приемника. В СССР эта мысль нашла себе отражение в конструкции В. Баженова [1,2,3], реализовавшего путем подвеса на одной мачте семи замкнутых антенн в виде различной конфигурации и разного числа витков контуров семикратный одновременный радиоприем. В З. Европе та же идея осуществлялась путем устройства рамок или контурных антенн на расстоянии нескольких сот *м* одна от другой, причем для каждого приемника или группы в 2—3 приемника требовались отдельное здание и особый персонал. В настоящее время (после 1925 г.) наиболее употребительным является устройство М. п. на одной антенне; для этой цели используются или гониометр или волновая антенна; подробное изложение схем и принципов устройства М. п. при помощи первого—см. *Гониометр*; теперь развивается использование для М. п. двух или нескольких гониометров [4]; поэтому далее описывается М. п. в случае применения волновой антенны.

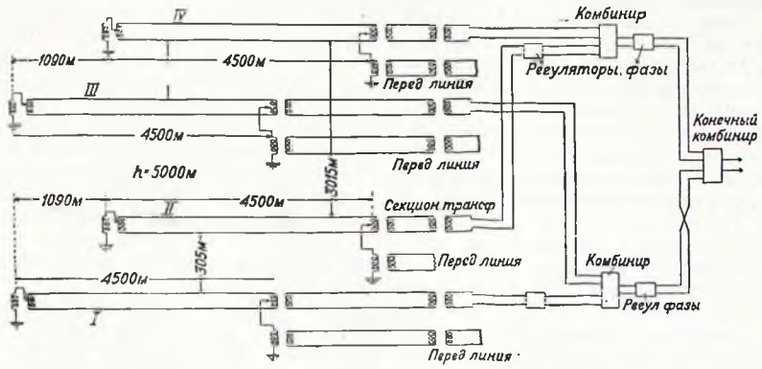
Волновая антенна дает возможность М. п. корреспондентов, лежащих в одном направлении (примерно в секторе 60°) в двукратном диапазоне волн. Все европейские радиостанции в Северной Америке «видны» под углом не больше 60°, поэтому волновая антенна именно в Америке получила наибольшее распространение. На фиг. 1 показана схема девятикратного приема европ. корреспондентов в местечке Ривирхид (приемный центр нью-йоркского радиоузла); здесь сопротивлениями R_1 и R_2 регулируют амплитуды эффекта открытой антенны от снижающегося провода, предназначенного для компенсации этого именно эффекта. Сопротивления R_3, R_4, R_5 и R_6, а также искусственная линия (она служит компенсатором фазы) тоже



Фиг. 1.

предназначены для подбора амплитуды и фазы тока, устраняющего эффект открытой антенны. Одна и та же антенна распределяет принятую энергию по всем приемникам при помощи специального трансформатора с 9 вторичными обмотками, заэкранированными одна от другой (приемники связываются с антенной каждый через отдельную лампу—см. *Гониометр*, фиг. 12). Для твердо зафиксированных волн применима конструкция из нескольких волновых антенн (фиг. 2); однако эксплоатация при этом получается очень сложной. Затруднения, возникающие при осуществлении М. п., заключаются главн. обр. в следующем: 1) в случае приема с нескольких антенн—взаимное влияние последних; 2) в случае приема с нескольких антенн (также и при одной антенне) — непосредственное излучение гетеродинов приемников (см. *Гетеродинный прием*). Первое затруднение устраняется соответствующим расположением антенн, формой их [5] и выбором различного диапазона принимаемых частот. Уменьшение же влияния излучения гетеродина достигается: 1) надлежащим *экранированием* (см.) гетеродина; 2) применением очень слабо излучающих вовне тороидальных катушек; 3) получением в гетеродине колебаний только первого рода. Вредное действие гетеродина

уменьшается, если при конструировании схемы: 1) отказаться от многократного гетеродинирования, 2) с детекторной лампой устраивать слабую связь, 3) употреблять преимущественно усиление по высокой частоте, 4) гетеродин удалять от цепей высокой



Фиг. 2.

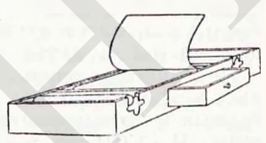
частоты, а также входных. Помехи гетеродинов при М. п. тем значительнее, чем выше частота принимаемых волн.

М. п. возможно устроить и при приеме на открытую (апериодическую) антенну; схема такого приема не отличается принципиально от фиг. 12 в ст. *Гониометр* (см.). Для М. п. коротких волн, еще не получившего широкого распространения, прием на открытую антенну является наиболее употребительным. В настоящее время все радиостанции М. п. (обычно служащие выделенными приемниками при радиоузлах), конструируемые европ. фирмами, являются гониометрического типа; только америк. фирмы во всех своих постройках станций М. п. используют схему волновой антенны.

Лит.: [1]Сов. П. 5261, 9673; [2]Г. П. 430695; [3]«ТиТбП», 1921, *13*, 1924, *27*; [4]E s a u A., Die Vergrösserung d. Empfangsbereiches bei Doppelrahmen u. Doppelcardioidenanordnungen durch Goniometer, «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1922, B. 30, *5*, p. 141; [5]Г. П. 420450.—Б а ж е н о в В. И., Основы теории радиоприема, вып. 1, М., 1930; К у к с е н к о П. Н., Направленный радиоприем, М., 1930.

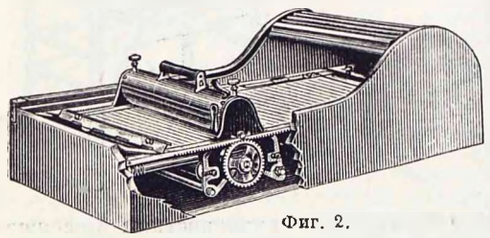
МНОЖИТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ И МАШИНЫ употребляются в конторской практике для получения копий с документов, чертежей и рисунков. Множительные аппараты делятся на печатающие: 1) с массы (гектографич. способом), 2) при помощи трафаретов, 3) литографским, 4) типографским и 5) фотографич. способами.

1. Г е к т о г р а ф и ч е с к и е а п п а р а т ы. Оригинал, написанный на хорошей плотной бумаге от руки гектографич. чернилами или на машинке при помощи гектографич. ленты, прижимается к массе, впитывающей в себя чернила (краску ленты). К полученному т. о. клише прикладывают листы писчей бумаги, прокатывают и получают соответствующие копии. По окончании работы клише смывают губкой, смоченной в теплой воде. Первоначально гектографические чернила изготовлялись на сахаре и давали очень ограниченное число оттисков. С изобретением в 1879 г. чернил из метилвиолета (см. *Метиловый фиолетовый*) стало возможным получать до ста оттисков. В настоящее время чернила изготовляются из спирта, анилиновой краски и дистиллированной воды с незначительным добавлением фенола и гуммиарабика или глицерина. Гектографич. масса изготовляется из клея (желатины) с глицерином. К этой смеси по различным рецептам добавляют в небольших количествах сернобариевую соль, декстрин, окись цинка и т. п. Масса для аппаратов этого типа изготовляется также из глины с примесью глицерина. Рецепты гектографич. масс: 1) 4 ч. обеленного столярного (костяного) клея, 15 ч. воды, 20 ч. глицерина, 2 ч. тщательно измельченной сернобариевой соли; 2) 8—10 ч. желатины, 20 ч. воды, 20 ч. глицерина, 5 ч. декстрина (иногда добавляют 4 ч. сахара и 3 ч. окиси цинка); 3) 4 ч. клея, 5 ч. воды, 3 ч. аммиака, 2 ч. сахара, 8 ч. глицерина. Наиболее примитивные аппараты состоят из металлич. ящика, в к-рый наливают клеевую массу. Неудобство этих аппаратов заключается в необходимости по окончании работы ожидать, когда масса впитает чернила старого клише и будет вновь готова к употреблению. Усовершенствованный в 1891 г. А. Шапиро аппарат (фиг. 1) состоит из рулона ленты, на к-рую нанесен слой гектографич. массы. Лента эта по мере использования перематывается с одного валика на другой, что дает возможность не дожидаться впитывания лентой чернил использованного клише, а употреблять каждый раз свежий участок ленты. Недостатками гектографич. аппаратов являются: медленность работы (до 100 оттисков в час), незначительное число копий с одного клише (максимум 100 при весьма высоком качестве чернил и массы), уменьшение ясности каждой последующей копии вследствие всасывания чернил бумагой и массой, а также большая зависимость от $t°$ и других внешних условий. Имеется очень большое число разновидностей гектографич. аппаратов. Наиболее распространенные из них: бареограф, блисограф, гупнон, копинст, рапидограф, шапирограф, гектофикс, гектопеликан, оптимус, айронклед, спидограф, дуплигрант, эффишенси, накитон и др.



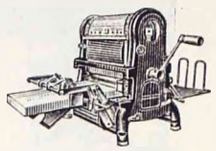
Фиг. 1.

2. А п п а р а т ы, р а б о т а ю щ и е п р и п о м о щ и т р а ф а р е т о в. Оригинал пишут посредством пишущей машинки, с к-рой снята лента, или от руки специальным пером или шилом на особой восковой или фибровой бумаге. При этом в восковом слое бумаги получаются отверстия (соответствующие тексту документа). Изготовленный т. о. трафарет накладывают на смоченную краской подушку или вал. При прикладывании к трафарету бумаги и прокатывании ее валиком сквозь отверстия трафарета, выступает краска и оставляет оттиск на бумаге. Восковая бумага применена впервые для размножения документов в 1873 г. Эдисоном, изобревшим мимеограф. Но достаточно прочная и пригодная для письма на машинке бумага появилась лишь с 1888 г. Для изготовления «восковок» употребляется японская бумага из растительного волокна. Бумажную полосу пропитывают воском, путем протягивания через ванну с растопленным восковым составом. Качество бумаги для трафаретов непрерывно совершенствуется. В последнее время изобретена фибровая бумага, из к-рой изготовляются постоянные трафареты. По употреблении эти матрицы можно снимать и затем, в случае надобности, снова пускать в дело через нек-рое время. Они не ломаются и не размягчаются, а также выдерживают большое число оттисков. Краска для размножения при помощи восковых трафаретов изготовляется по преимуществу на масле. Для работы с постоянными матрицами употребляют краски, изготовленные как на масле, так и на воде. Бумага для печатания на аппаратах, печатающих шаблонами, употребляется волокнистая, пористая, хорошо впитывающая краску. Множительные аппараты, работающие с трафаретов, разделяются на плоские и ротационные. Плоские аппараты состоят из металлического ящика, на дне к-рого находится подушка для краски. Над подушкой расположена рамка с натянутой шелковой сеткой, к к-рой прикрепляется трафарет (восковка) лицевой стороной книзу. На рамку с трафаретом накладывается бумага, по которой проводят валиком, прижимающим рамку и бумагу к подушке с краской, вследствие чего проникающая сквозь отверстия трафарета краска оставляет оттиск на бумаге. В нек-рых аппаратах вместо прижимающего валика употребляется крышка. В других (фиг. 2) окраска производится находящимся между подушкой и рамкой валиком, движущимся вдоль ящика при помощи рукоятки. В простейших аппаратах (дерби, брюко, бундс, грейф, диваграф и др.) бумага накладывается ручным способом. В более усовершенствованных (типидо, гелакс, диво, брюкофис и др.) бумага вкладывается стопами, вследствие чего производительность их можно довести при очень совершенной работе до 500 оттисков в час. Преимущество этого рода аппаратов перед гектографическими заключается в большей интенсивности окраски и большей производительности с одного клише. Ротационные аппараты имеют много разновидностей: простейшие ручные (фиг. 3) имеют один барабан (ронео, ропакс, ротари, ундервуд и т. д.), покрытый



Фиг. 2.

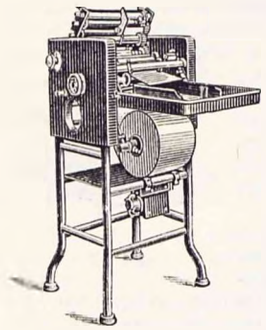
тканью, пропитанной жидкой краской. При поворачивании барабана бумага прижимается к трафарету находящимся внизу валиком, причем краска с барабана просачивается сквозь трафарет и дает оттиск на бумаге. В нек-рых системах ротационных аппаратов (гештетнер, ротори, ротафикс и др.) применяется дополнительный вал, к-рый растирает густую краску и наносит ее на обратную сторону трафарета через шелковую сетку. В отдельных моделях автоматизирована и самая подача краски на вал. Для одновременного печатания с обеих сторон применяются ротационные аппараты с двумя барабанами. Имеются четырехбарабанные аппараты для многокрасочного печатания с обеих сторон. Для ускорения печатания отдельные модели снабжаются приспособлениями для автоматической подачи бумаги (фиг. 3) и приводятся от электродвигателя. Наиболее усовершенствованные модели могут дать до 4 000 оттисков в час. Преимущества ротатора—быстрота работы и относительно большое число оттисков с одного клише. Недостатки—неравномерная, иногда с «пролысинами» печать, хрупкость трафаретов и зависимость от $t°$-ных влияний.



Фиг. 3.

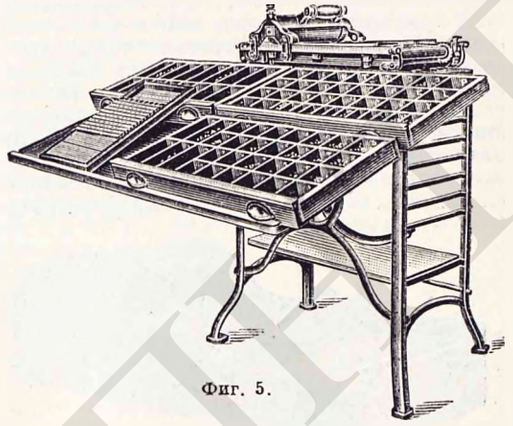
3. А п п а р а т ы л и т о г р а ф с к о г о т и п а. Литографский способ печатания, основанный на использовании сцепления между жирными веществами, как простой и дешевый, неоднократно пытались применить в конторской работе, но неудачно. Лишь с открытием применения для литографирования алюминиевых и цинковых пластин, появились в конце 19 в. множительные аппараты литографского типа. В 1910 г. был изобретен способ печатания на стекле. При печатании с алюминиевых или цинковых пластин оригинал изготовляется от руки или на пишущей машинке, куда пластинка вставляется, как обыкновенная бумага. Текст наносится жирной лентой, автографич. чернилами, тушью или жирным мелом. Затем лист смачивается камедистой жидкостью. По высыхании, требующем нескольких минут, пластинка вставляется в машину и готова к печатанию. Пластинки могут сохраняться неопределенно долгое время, а также счищаться и употребляться до 10 раз. Простейший аппарат этого рода — ручной ротатор опалограф, в к-ром на барабан ротатора надевается алюминиевая пластинка, изготовленная указанным выше способом. Краска накатывается автоматически специальным валиком. Аппарат дает до 1 800 оттисков в час. Значительно более сложен аппарат рота-принт (фиг. 4), приводимый в движение электромотором. Рота-принт печатает с бумажного рулона, автоматически разрезаемого на любой формат. Производительность до 6 000 оттисков в час. Еще более сложна ротационная машина шварц-прессе, клише к к-рой изготовляется из металлич. фольги, на которую оригинал переводится фотографич. путем. Для перевода годится всякий напечатанный или написанный оригинал.

Клише хорошо сохраняется, но также легко и смывается по минований надобности. Машина приводится в движение электромотором. Производительность машины до 1 500 оттисков в час. Для печатания может употребляться любая бумага как гладкая, так и шероховатая. Преимущества перечисленных аппаратов заключаются в точности и легкости воспроизведения, быстроте работы, чрезвычайно большом числе оттисков с одного клише, долгой сохраняемости клише, легкой возможности внесения исправлений и возможности печатания в несколько красок. Для печатания со стекла применяют в аппарате опалограф матовые стеклянные, фарфоровые и эмалированные плитки, в аппарате стеклограф—зеркальные и шлифованные стеклянные плитки. Оригинал пишут на писчей бумаге от руки специальными чернилами или же на машине при помощи особой ленты. Чернила изготовляются по различным рецептам в основном из разведенного нашатырного спирта и хлористого цинка, лента же пропитывается смесью раствора хлористого цинка с глицерином. По изготовлении оригинала поверхность стекла смачивают раствором солей алюминия или железа в смеси с глицерином. Затем раствор стирают и на стекло накладывают оригинал, к-рый прижимается к поверхности стекла на несколько минут другим стеклом или каким-либо прессом. Полученное т. о. клише проявляют раствором глицерина и различных солей. При печатании (перед каждым оттиском) на клише ручным валиком накатывают густую краску, изготовляемую на масле, затем накладывают лист бумаги, к-рый прокатывают для получения оттиска чистым валиком. Бумага употребляется гладкая писчая. Во избежание размазывания или склеивания листы оттисков прокладывают бумажной макулатурой или припудривают тальком. По окончании работы клише легко смывается соляной к-той, и стекло вновь готово к употреблению. Недостатком стеклографа является медленность работы (до 100 оттисков в час), преимуществами—четкость оттисков, очень большое число оттисков с одного клише, портативность и простота работы.



Фиг. 4.

4. Аппараты типографского типа представляют собой приспособленные для конторских условий типографские скоропечатные машины в соединении с наборными и разборными аппаратами. Они разделяются на плоские и ротационные. В большинстве случаев набор производится обычным ручным способом. Рисунок шрифта обычно подражает буквам пишущей машинки, чтобы оттиски не отличались от обычного оригинального письма. Для ускорения набора имеются наборные и разборные машины с клавиатурой, как у пишущих машин, системы Родерталь, наборно-разборные аппараты фрео, дебего, допаг, мультиграф, миллиотип и др.; большинство из них однако довольно примитивно. Плоские печатные машины (фиг. 5) имеются двух типов. При неподвижном наборе (альфа, брео, милиотип, дреготип, тахотип и др.), над последним натянуто пропитанное краской полотно, как в пишущей машинке. На полотно накладывают лист бумаги, по которому прокатывают движущийся по рельсам валик. Степень нажима валика регулируется винтами. Оттиск получается при каждом движении валика. В машинах с подвижным набором (родерталь, эло, фиксотип, стукотип и др.) набор укреплен на скользящих по рельсам салазках, над которыми натянуто красящее полотно. Бумага, накладываемая на полотно, прижимается укрепленным неподвижно в центре машины валиком. В этих машинах применяются также валы, накатывающие типографскую краску на набор; красящее полотно при этом выключают. Как в первом, так и во втором случае возможно многокрасочное печатание. Ротационные печатные машины (дапаг, дебего-рекс, энос, мультиграф, пресило, ронеотип и др.) снабжены барабанами с желобками, в которые вставляется набор, и красящими полотнами. Нек-рые машины снабжены также валиками для накатки краски. Машина монакс-комбинатор, благодаря особому устройству барабана, может печатать как с набора, так и с трафаретов.



Фиг. 5.

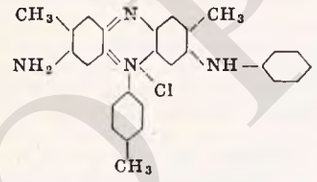
При применении разноцветных красящих полотен, перечисленные машины пригодны и для многоцветного печатания.

5. Аппараты фотографич. типа изготовляют точные копии с оригинала в несколько секунд. Многие приспособлены для массового размножения копий (см. *Светокопировальные аппараты*).

Лит.: Гуревич Е. и С., Спутник практика, 2 изд., М.—Л., 1930; Ермаков А. В., Краткое руководство работы на стеклографе, Екатеринбург, 1921; Illustriertes Büromaschinen-Dauer-Lexicon in Kartothekform u. Bezugquellen-Kartei für Organisations-Geräte, hrsg. v. L. Braunер, B., 1927—29 (картотека ежегодно пополняется); Wallon K., Kontormaschinen, Handbuch d. neuzeitigen maschinellen Hilfsmitteln u. ihre Verwendung im Kontor, Stg., 1922; Lehner S., Die Tintenfabrikation, 7 Auflage, W.—Lpz., 1920; Koller Th., Die Koper- u. Vervielfaltigungverfahren, 2 Aufl., W.—Lpz., 1921; The Business Machines and Equipment Digest, Equipment-Research Corporation, Chicago, 1927. **Н. Колосов.**

МО, единица электрической *проводимости* (см.), т. е. проводимость электрич. цепи, электрическое сопротивление к-рой равно одному *ому* (см.). Проводимость—величина, обратная сопротивлению. Этим объясняется происхождение слова М. (mho), образованного чтением справа налево слова ohm. В герм. литературе вместо М. применяется для обозначения единицы проводимости слово «сименс» или сокращенное обозначение—S; однако обозначение это не получило большого распространения вне Германии.

МОВЕИН, основной азониевый краситель, фенилированный сафранин, строения (предположительно)



М. представляет исключительно историч. и теоретич. интерес как первый синтетич. краситель. М. был получен впервые В. Перкином в 1856 г. при попытке синтетич. получения хинина окислением смеси анилина и производных толуидина. Нек-рое время несмотря на высокую цену (до 500 руб. за *кг*) М. служил объектом промышленного производства и применялся для окраски шелка. Выход М. не превышал 5% вследствие образования значительных количеств нерастворимых продуктов окисления аминов, как черный анилин и т. п. М. изготовляется в настоящее время в небольших количествах и применяется исключительно в Англии для окраски фиолетовых марок (*см. Азиновые красящие вещества* и *Красящие вещества*).

Лит.: Fierz-David H. E., Künstliche organische Farbstoffe, Technologie d. Textilfasern, hrsg. v. R. Herzog, B. 3, B., 1926. **И. Иоффе.**

МОДЕЛЬНОЕ ДЕЛО, совокупность принципов конструирования моделей и производство их. Для изготовления формы для отливки применяются модели, шаблоны и стержневые ящики. Применение моделей и шаблонов определяется характером отливаемой детали и условиями производства. Модель в основном представляет собой копию будущей отливки по ее наружным очертаниям. Внутреннее очертание отливки как правило создает стержень, изготовляемый при помощи стержневых ящиков. Шаблон не является копией очертаний отливки, но служит так же, как и модель, для получения формы отливки. Модели бывают деревянные, металлические, цементные и гипсовые.

Наиболее употребительны деревянные модели, применяемые как для ручной, так и для машинной формовки. Лесные материалы, к-рые употребляются в М. д., следующие: сосна, ольха, грушевое дерево, орех. Сосна применяется для больших деталей, шишечных ящиков больших и средних размеров и для усилений конструкций ящиков. Ольха плотнее сосны, вследствие чего поделки м. б. чище обработаны в своей торцовой части. Грушевое и ореховое дерево применяется гл. обр. для моделей тонкостенных. Эти сорта дерева весьма прочны и зачастую применяются для моделей вместо металлических. Известно из практики, что деревянные модели для машинной формовки, изготовленные из соответствующего материала, выдерживают до 15 000 формовок.

Металлические модели, применяемые гл. обр. для машинной формовки, изготовляются из чугуна, алюминия и сплавов красной меди. Модели из сплавов красной меди лучше поддаются полировке и находят применение в тонкостенных деталях (напр. цилиндр мотоциклетного мотора, авиамотора и т. д.). Модели из алюминия находят себе применение при изготовлении крупных деталей и при ручной формовке в серийном производстве. Применение моделей из чугуна ограничено исключительно простыми деталями. Попутно с этим следует отметить применение моделей деревянных с отдельными, часто отъемными деталями из металла. Металл в М. д. применяется также при изготовлении стержневых ящиков, но лишь в условиях массового производства; как правило стержневые ящики делаются деревянными.

Цементные и гипсовые модели применяются исключительно при машинной формовке, причем в этих моделях иногда отдельные выступающие части, легко повреждаемые при формовке, делаются металлическими. Преимущество цементных и гипсовых моделей перед металлическими заключается в дешевизне материала и простоте изготовления. Необходимым условием сохранения данных моделей является нахождение их в сухом помещении при отсутствии больших колебаний $t°$. В конечном итоге выбор того или иного материала для модели определяется амортизационным сроком модели и затратами на текущий ремонт.

В индивидуальных производствах и в случаях чрезмерной дороговизны модели для больших деталей, как напр. котлы, чаши, маховики, плиты и т. п., применяются шаблоны. Материал шаблона—дерево. Рабочая кромка шаблона для прочности иногда отделывается металлом. Для изготовления фасонных частей при формовке сложных деталей по шаблону приходится применять дополнительные модели (например обод маховика формуется по шаблону, а втулка и спицы его по модели). Пользуясь приводимыми ниже данными уд. весов, можно предварительно подсчитать примерный вес отливки, для чего необходимо вес модели помножить на уд. в. металла отливаемой детали и полученное произведение разделить на уд. в. материала, из к-рого сделана модель:

Чугун. отливки	7,0÷7,2	Олово	7,3
Стальн. »	7,8	Алюминий	2,6
Желтая медь (латунь)	8,2÷8,7	Воздушно-сухая:	
Бронза	7,4÷8,9	сосна	0,5÷0,76
Медные отливки	8,8	ольха	0,42÷0,68
Цинковые	6,9	орех	0,6÷0,8
Свинец	11,4	груша	0,61÷0,73

Соединения отдельных частей модели. Отдельные части модели склеиваются между собой. Но т. к. модель находится при формовке в соприкосновении с влажной и теплой землей, то одно соединение клеем недостаточно, и там, где это возможно, склеенные части моделей соединя-

ются шурупами. Для центрирования отдельных частей модели применяют шипы различных типов: дисковые, латунные и забивные (втулка из латуни, шип из железа) американского типа. Забивные шипы имеют преимущество перед дисковыми, к-рые держатся только на шурупах. При частом употреблении шишечного ящика латунные дисковые шипы расшатываются. Кроме того для крепления приставных частей модели применяются стальные шпильки. Шпильки должны свободно входить в предварительно просверленное отверстие приставной части модели. Кожаные галтели заменяют галтели из мастики. В продаже (на заграничном рынке) имеются галтели радиусом в 2, 3, 5, 6½, 8, 10, 13, 16, 20 и 25 *мм*.

Окраска моделей. Изготовленные модели окрашиваются, смотря по назначению, в различные цвета. В таблице приведены данные комиссии по литейному делу—Ausschuss für Giessereiwesen «Gina»—для окраски литейных изделий.

Цвета окраски моделей.

Применение	Чугунные отливки	Ковкий чугун стальной отливки	Отливки из нежелезных металлов
Поверхности, остающиеся необработанными	Красный	Синий	Бесцветный лак с желтой полосой
Поверхности, подлежащие частичн. обработке	Желтый		
Поверхности, подлежащие полной обработке	Красный цвет с желтыми полосами	Голубой цвет с желтыми полосами	Бесцветный лак с желтыми полосами
Места установки приставных частей к моделям или шишечным ящикам	Зеленый		
Шишки и гнезда для шишек	Черный		
Надписи на моделях, частях модели и шишечных ящиках			
Предположенные закругления	Окаймление черной краской		
Литники, прибыли или усиленные припуски для обработки	Черные надписи и черные полосы на границах литника		
Откосные планки	Бесцветный лак (шеллак) с черной сеткой		

Принципы конструирования модели. Как правило чертеж модели отличается от чертежа готовой детали. Это положение вызывается особенностями литейного дела. Основная задача конструктора модели, определяющая метод формовки и заливки, выбор опок и пр., заключается в следующем: 1) правильно установить плоскости разъемов модели, 2) определить количество и место необходимых отъемных частей, 3) наметить необходимое количество стержней и опорных мест (знаков) для закрепления стержней. Модельные знаки—опорные места для стержней. Как правило в местах предполагаемого выхода стержня, из детали помещают знаки диаметром, равным диаметру цилиндрич. части стержня, близлежащего к знаку. Длина знака принимается обычно равной ок. 1—2 диаметров знака. Форма модельного знака м. б. принята прямоугольного сечения для предупреждения вращения стержня. Конструируя модель следует предусмотреть и места знаков для вывода и укрепления стержней. При этом должно иметь в виду, что впоследствии отверстие, сделанное знаком, будет заделано (пробкой, шпилькой и т. п.). Такие знаки, имеющие подсобный для литейщиков характер, называют обычно фальшивым знаком.

Конусность модели. Модель, не имеющая конуса, не может быть извлечена из земляной формы без повреждения ее. Придание модели конусности следует считать непременным правилом. Средняя величина конусности для модели примерно 2%.

Усадка металла. Т. к. при затвердевании металл получает усадку, то размеры модели приходится увеличивать на величину ее (изготовление модели ведется по усадочному метру). Ниже приведены средние общепринятые величины линейной усадки для разных металлов (в %):

Чугун	1
Стальная отливка	2
Латунь	2
Свинец	1
Медь	0,75
Алюминий	1,75
Цинк	1,5

Величина, на к-рую увеличивается модель по всем направлениям для усадки, называется припуском на усадку. Вопрос усадки особенно серьезен в условиях сборки двух входящих одна в другую деталей при диаметре > 1 *м*, поверхности соприкосновения которых механически не обрабатываются. В этих случаях иногда приходится считаться с величиной усадки, отличной от табличных данных.

Припуск на обработку. При конструировании моделей нужно учитывать толщину слоя металла, срезываемого при холодной обработке отливки. Величина припуска зависит от металла отливки, условий формовки и размеров детали отливки. Средняя величина припуска на обработку колеблется между 2—7 *мм*. Иногда припуск на обработку устанавливается заведомо чрезмерно большим—в 10—25 *мм*. Это объясняется необходимостью обеспечить получение чистой поверхности (без газовых раковин). Сюда относятся случаи, где по техническим условиям работы детали чистота поверхности после ее обработки должна быть непременно обеспечена.

Прибыли. В целях уплотнения отливки (цилиндры, поршневые кольца и т. п.) в формовочном деле широко применяются прибыли, которые следует учитывать при конструировании модели.

Кокили. Для достижения равномерного остывания и уплотнения отливки (в большинстве случаев в местах перехода от большого сечения стенок отливки к меньшему сечению) применяют кокили. Места кокилей, форма их, размер и метод их прикрепления учитываются при конструировании моделей и ящиков.

Шаблоны служат для проверки правильности выполнения формы, стержней и расположения последних. Чертеж шаблонов вырабатывается вместе с прочими модельными чертежами.

Производство моделей. Работа модельщика в большей мере сходна с работой столяра. Все способы обработки дерева аналогичны. Некоторое отличие составляет методика работы; работа заключается в следующем: 1) согласно модельному чертежу производится заготовка материала для всех отдельных частей модели; 2) отдельные разъемные части центрируются и склеиваются; 3) токарная обработка; 4) фрезеровка и ручная обработка там, где они требуются; 5) отделка; 6) проверка всех размеров модели; 7) окраска.

Станочное оборудование модельного цеха: 1) ленточная пила, 2) комбинированная строгально-фуговочная машина, 3) токарный станок по дереву, 4) шлифовальный станок по дереву, 5) круглая пила, 6) машина для заточки ножей и инструмента, 7) машина для разводки зубьев пил, 8) точильный камень, 9) универсальный фрезерный станок.

Хранение моделей. Организация хранения моделей построена на следующем принципе: модели, находящиеся в работе, и модели, направляемые для работы, хранятся в специальном оборотном складе при литейном цехе. Все использованные модели хранятся в отдельном складе. Склад обычно устраивают в сухих огнестойких помещениях. Техника безопасности в М. д. ничем не отличается от техники безопасности в деревообделочном производстве.

Лит.: Гавриленко А. П., Механич. технология металлов, 2 изд., ч. 2, вып. 2, М.—Л., 1928; Евангулов М. Г., Литейное дело, 5 изд., М.—Л., 1928; Левер Р., Модельное дело, перевод с немецкого, ч. 1—2, М., 1927; Handbuch d. Eisen- und Stahlgiesserei, hrsg. v. C. Geiger, 2 Auflage, B. 1—2, Berlin, 1925—27.

Е. Кузмак и М. Коган.

МОДУЛЬ, термин, применяемый в сопротивлении материалов, теоретической физике, различных отделах математики, служит для обозначения особенно важных коэфициентов, чисел и совокупности определенных чисел.

В сопротивлении материалов встречается т. н. М. упругости, или М. линейного растяжения или сжатия (модуль Юнга). Пусть имеется брусок, на равные основания которого действуют равные, противоположные и равномерно распределенные по площадям оснований силы P, и пусть будет далее длина бруска L, а площадь каждого из оснований s. Многочисленные опыты над растяжением и сжатием брусков различных материалов показали, что между так называемым растягивающим (сжимающим) напряжением

$$p = \frac{P}{s} \qquad (1)$$

и относительным удлинением (сжатием)

$$e = \frac{\Delta L}{L}, \qquad (2)$$

где ΔL—удлинение (сжатие) бруска, существует следующая прямая пропорциональная зависимость:

$$\frac{p}{e} = E, \qquad (3)$$

поскольку напряжения p не превышают известных пределов. Коэф-т пропорциональности E и есть М. упругости (модуль Юнга). Из (1), (2) и (3) следует, что

$$E = \frac{P \cdot L}{s \cdot \Delta L}. \qquad (4)$$

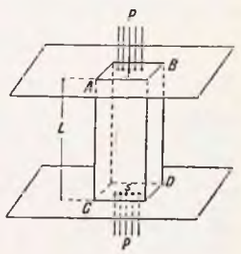
При $\Delta L = L$ получаем из (4)

$$E = \frac{P}{s} = p. \qquad (5)$$

Т. о. видно, что М. упругости численно равен такому растягивающему напряжению, при котором длина бруска удвоилась бы. Величина

$$a = \frac{1}{E} \qquad (6)$$

называется коэфициентом растяжения (сжатия). Модуль E, определенный вышеуказанным способом, относится к изотермическому растяжению; при адиабатическом же растяжении получается другой модуль $E' > E$ (*см. Сопротивление материалов*). Выделим мысленно в данной практич. неограниченной среде призму $ABCD$ (фиг. 1), и пусть основания последней подвергаются давлению $p = \frac{P}{s}$. Если бы эта призма не была окружена со всех сторон данной средой, то длина ее стала бы равна на основании закона, выраженного ф-лою (4),



Фиг. 1.

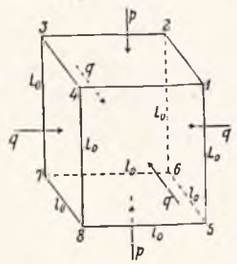
$$l = L - \Delta L = L - \frac{PL}{sE} = L\left(1 - \frac{p}{E}\right) = L(1 - ap). \qquad (7)$$

Но т. к. боковые стенки призмы будут подвергаться воздействию окружающей среды, мешающей призме свободно расширяться в стороны, то действительная длина l' призмы будет больше той, которая определена формулой (7), а именно:

$$l' = L\left(1 - \frac{p}{E'}\right) = L(1 - a'p). \qquad (8)$$

Т. к. $l' > l$, то из последнего равенства следует, что $E' > E$. Величина E' называется М. одностороннего сжатия слоя, а $a' = \frac{1}{E'}$ — коэф-том одностороннего сжатия.

Между модулями E и E' существует зависимость, к-рую можно установить след. образом. Допустим, что из рассматриваемого слоя вырезан прямоугольный параллелепипед *12...8* (фиг. 2) с квадратным основанием, сторона которого равняется l_0. Пусть далее на боковые поверхности призмы действует давление q, а на плоскости оснований—давление p, причем требуется, чтобы в результате всех этих давлений длина ребер l_0 оставалась неизменной, а изменялась только длина боковых ребер L_0. Вследствие давлений p на плоскости оснований длина L_0 превращается в $L_0(1-ap)$. Два боковых давления q, будучи приложены к граням *1265* и *3487*, уменьшают длины *85*, *76*, *41* и *32* и увеличивают длину L_0, при этом каждая единица длины последней становится равной длине $1+a\mu q$, где μ есть отношение относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению (коэф-т Пуассона). Вследствие этого длина L_0 превращается в $L_0(1-ap)(1+a\mu q)$. Учитывая далее влияние давлений q на грани *1485* и *3267*, получаем, что под одновременным воздействием всех давлений длина L_0 превратится в



Фиг. 2.

$$L'=L_0(1-ap)(1+a\mu q)^2, \qquad (9)$$

или с достаточной для практич. целей степенью точности

$$L'=L_0\left[1-ap\left(1-2\,\frac{q}{p}\,\mu\right)\right]. \qquad (10)$$

Сравнивая ф-лы (10) и (8), получаем:

$$a'=a\left(1-2\,\frac{q}{p}\,\mu\right). \qquad (11)$$

Величина отношения $\frac{q}{p}$ определяется таким образом. Ребро *85* находится под воздействием следующих противоположных влияний, вследствие к-рых оно сохраняет свою величину. Давления q на грани *1265* и *3487* изменяют длину l_0 в $l_0(1-aq)$; давления q на грани *1584* и *2376* изменяют ее дополнительно в длину $l_0(1-aq)(1+a\mu q)$ и наконец давления p изменяют последнюю длину в $l_0(1-aq)(1+a\mu q)(1+a\mu p)$, причем в результате получается та же длина l_0. Таким образом имеем:

$$l_0=l_0(1-aq)(1+a\mu q)(1+a\mu p), \qquad (12)$$

или

$$1=(1-aq)(1+a\mu q)(1+a\mu p),$$

откуда получаем с достаточной для практики степенью точности:

$$-q+\mu q+\mu p=0,$$

или

$$\frac{q}{p}=\frac{\mu}{1-\mu}. \qquad (13)$$

Подставляя значение (13) в (11), имеем:

$$a'=a\,\frac{1-\mu-2\mu^2}{1-\mu}=a\,\frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1-\mu}, \qquad (14)$$

или

$$E'=E\,\frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}. \qquad (15)$$

Следовательно между модулями E и E', с одной стороны, и между величинами a и a', с другой, существуют для одного и того же материала определенные соотношения. Для неопределенно большого слоя очевидно $\mu=0$, так что в этом случае имеем из (15) и (14) $E'=E$ и $a'=a$. При $\mu=\frac{1}{2}$ имеем: $a'=0$ и $E'=\infty$.

Допустим, что поверхность нек-рого тела объемом v подвергается всестороннему сжатию, равномерно действующему на всю поверхность тела с давлением p. Опытным путем найдено, что изменение Δv объема тела при малых деформациях прямо пропорционально величине объема v и давлению p, так что

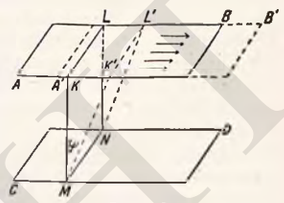
$$\Delta v=\gamma\cdot pv, \qquad (16)$$

где γ—нек-рый коэф. пропорциональности, называемый коэф-том всестороннего сжатия; величина же $K=\frac{1}{\gamma}$ называется М. всестороннего сжатия, или М. объемной упругости тела. Между модулями K и E существует следующая зависимость:

$$K=\frac{E}{3(1-2\mu)}. \qquad (17)$$

При $\mu=\frac{1}{3}$ имеем $K=E$.

Пусть имеются две параллельные плоскости AB и CD, проведенные внутри какого-либо твердого тела (фиг. 3), и пусть далее одна из плоскостей CD удерживается неподвижно, а другая плоскость AB подвергается действию параллельных сил, лежащих в этой же плоскости и равномерно распределенных по ней, вследствие чего плоскость AB сдвинется по отношению к плоскости CD, приняв положение $A'B'$. Проведем плоскость $KLMN$, перпендикулярную как к плоскости AB, так и к действующим в ней силам. После сдвига плоскости AB плоскость $KLMN$ примет положение $K'L'MN$, образовав с предыдущей двугранный угол ψ, называемый углом сдвига. Как показывает опыт, угол сдвига ψ прямо пропорционален действующей силе p, приходящейся на единицу площади AB, так что



Фиг. 3.

$$\psi=np, \qquad (18)$$

где n есть нек-рый фактор пропорциональности, называемый коэфициентом сдвига. Величина $G=\frac{1}{n}$ называется М. сдвига, так что

$$\psi=\frac{p}{G},\ \text{или}\ p=G\psi. \qquad (19)$$

Из (19) видно, что при $\psi=1$, $G=p$, т. е. М. сдвига равен такому напряжению, под действием которого угол сдвига был бы равен единице, т. е. одному радиану, если бы значительно ранее этого не были достигнуты предел упругости тела и затем разрушение последнего. Между модулями G и E существует следующее соотношение:

$$G=\frac{E}{2(1+\mu)}. \qquad (20)$$

Пусть имеется цилиндрич. стержень, одно основание к-рого закреплено, а другое подвергается действию пары сил, лежащей в этой же плоскости, и момент к-рой равен M (крутящий момент M). Под действием этой пары свободный конец стержня будет закручен на некоторый угол φ. Как установлено опытным путем, угол закручивания φ пропорционален моменту M вращающей пары, длине l стержня и обратно пропорционален четвертой степени радиуса r основания стержня (закон Кулона), так что

$$\varphi=C\,\frac{Ml}{r^4}, \qquad (21)$$

где C—нек-рая постоянная, зависящая от вещества стержня. Обозначая $\frac{Cl}{r^4}$ через k, имеем:

$$\varphi=kM, \qquad (22)$$

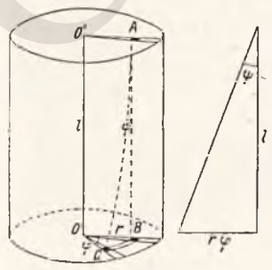
где k есть т. н. коэфициент кручения. Величина f, обратная k, называется М. кручения, так что:

$$f=\frac{1}{k}=\frac{r^4}{Cl} \qquad (23)$$

и

$$M=f\varphi. \qquad (24)$$

Между М. кручения f и М. сдвига G существует зависимость, к-рую можно установить следующим образом. Пусть имеем отрезок стержня с произвольным сечением и осью OO' (фиг. 4) и допустим, что нижнее основание повернулось в своей плоскости на угол φ по отношению к верхнему основанию, причем элемент ds нижней плоскости повернулся около центра O на такой же угол φ. Проведя через начальное положение B элемента ds нормаль к верхней плоскости, найдем в ней положение A соответствующего элемента площади. После поворота нижнего основания прямая AB превращается в винтовую линию AC, причем угол между ней и образующей $BAC=\psi$ характеризует угол сдвига. Развернув тр-к BAC на плоскость, получаем:



Фиг. 4.

$$\operatorname{tg}\psi=\frac{r\varphi}{l}, \qquad (25)$$

где r—расстояние от элемента плоскости до центра O, а l—длина оси OO'. Вследствие обычной малости угла ψ можно вместо (25) написать

$$\psi=\frac{r\varphi}{l}. \qquad (26)$$

Для того чтобы вызвать угол сдвига, равный ψ, необходимо, как мы видели выше, приложить к единице площади силу $G\psi$, или к элементу ds силу $G\psi\ ds$, причем момент последней силы относительно оси OO' очевидно равен $G\psi r\,ds$ или на основании (26) $\frac{Gr^2\varphi}{l}\,ds$. Откуда имеем, что момент M вращающей пары равен

$$M=\frac{G\varphi}{l}\int r^2\,ds, \qquad (27)$$

где интегрирование распространяется на всю площадь основания. Обозначив $\frac{M}{\varphi}$ через f, имеем из (27) окончательно:

$$f=\frac{G}{l}\int r^2\,ds. \qquad (28)$$

Для различных сечений значение интеграла в правой части (28) различно. Так, для круглого сечения радиуса R имеем, введя полярные координаты ω и r,

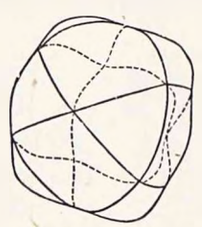
$$\int r^2\,ds=\int_{\omega=0}^{2\pi}\int_{r=0}^{R} r^2\cdot r\,d\omega\,dr=\frac{\pi R^4}{2}.$$

В этом случае имеем:

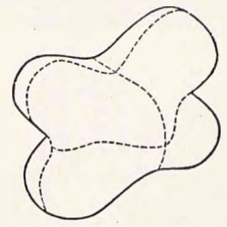
$$f=\frac{\pi GR^4}{2l}. \qquad (29)$$

Из сопоставления всех вышеприведенных определений для коэф-тов и М. явствует, что коэф. определяет всегда величину деформации, соответствующую напряжению, равному единице, а модуль определяет, наоборот, величину напряжения, которое способно вызвать деформацию, равную единице. Изотропные тела имеют два М., через которые все остальные М. могут быть выражены, напр. через K и G. Кристаллические, или анизотропные тела различных систем имеют, в зависимости от направления деформации по отношению к главным осям упругости (см. *Упругость*), непрерывно изменяющиеся по величине значения одного и того же М. Если отложить из какой-либо точки тела отрезки, пропорциональные модулю E для тех же направлений, то геометрич. место концов этих отрезков образует т. н. поверхность М. растяжения. По виду этих поверхностей кристаллы распадаются на 9 классов. На фиг. 5 и 6 представлены поверхности М. растяжения для плавикового шпата, принадлежащего к правильной системе, и для барита, принадлежащего к ромбич. системе.

В различных отделах математики термину «модуль» придается различный смысл. В математич. анализе М. называют чаще всего абсолютное или арифметич. значение какого-либо алгебраического числа или ф-ии. В векторном исчислении М. или абсолютной величиной вектора называется



Фиг. 5.



Фиг. 6.

числовое значение F данной векторной величины $\boldsymbol{F}$, так что вектор $\boldsymbol{F}$ равен модулю F, умноженному на соответствующий единичный вектор $\boldsymbol{F}^\circ$, т. е. $\boldsymbol{F}=F\cdot\boldsymbol{F}^\circ$ (см. *Векторное исчисление*). М. комплексного числа $a+bi$ называется выражение $\sqrt{a^2+b^2}=\varrho$. Если данное комплексное число представить графически, отложив по оси абсцисс прямоугольной системы координат («ось дейст-

вительных чисел») отрезок, равный a, а по оси ординат («ось мнимых чисел») отрезок, равный b, то комплексное число будет представлено некоторою точкою M, расстояние к-рой до начала O осей координат очевидно и равняется М. комплексного числа. Угол φ, образованный прямою OM с осью X, называется амплитудою комплексного числа. Так как

$$a = \varrho \cos \varphi; \quad b = \varrho \sin \varphi, \qquad (30)$$

то

$$a + bi = \varrho (\cos \varphi + i \sin \varphi). \qquad (31)$$

Из вышесказанного следует: 1) М. комплексного числа есть всегда число положительное, за исключением того случая, когда $a=0$ и $b=0$; 2) М. суммы нескольких слагаемых комплексных чисел не более суммы М. слагаемых; 3) М. разности двух комплексных чисел не больше суммы М. уменьшаемого и вычитаемого и не меньше их разности. В теории чисел М. называется всякая совокупность чисел, обладающая тем свойством, что сумма или разность двух произвольных чисел совокупности принадлежит к той же совокупности. Нетрудно усмотреть, что всякий М.: 1) содержит число нуль, 2) содержит как положительные, так и отрицательные числа и 3) состоит из совокупности чисел, кратных наименьшего положительного числа М. Так напр., совокупность четных чисел ... -6, -4, -2, 0, $+2$, $+4$, $+6$, ... есть М. Равно совокупность всех целых чисел есть также М. Представителем М. очевидно является наименьшее положительное число из совокупности, и его для краткости можно назвать «модулем». Напр. «модуль 5» обозначает совокупность чисел ... -10, -5, 0, $+5$, $+10$, ... Если разность $a-b$ двух чисел a и b принадлежит к модулю m (другими словами, $a-b$ делится на m), то говорят «a сравнимо с b по модулю m» и выражают это так:

$$a \equiv b \,(\mathrm{mod.}\ m).$$

Понятие М. имеет для теории чисел фундаментальное значение (см. *Теория чисел*).

В теории растворов М. называются числа, характерные для каждого металла и к-ты, к-рые следует прибавить к числу 1,015, представляющему плотность $^1/_1 N$ NH_4Cl, чтобы получить плотность данного $^1/_1 N$. Эти М. суть следующие:

Для металлов:

K	0,030	Ba	0,073	Cd	0,061
Na	0,025	Mn	0,037	Pb	0,103
Ca	0,027	Fe	0,037	Ag	0,105
Mg	0,020	Zn	0,041		
Sr	0,055	Cu	0,042		

Для кислот:

HBr	0,034	HNO_3	0,015
HJ	0,064	HCO_3	0,014
H_2SO_4	0,020		

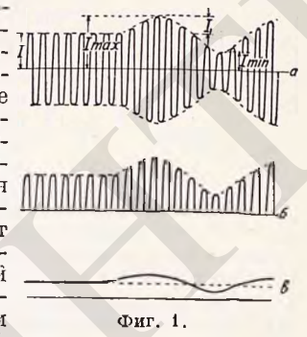
Так напр. плотность $^1/_1 N$ $Ca(NO_3)_2$ равна $1{,}015+0{,}027+0{,}015=1{,}057$.

В машиностроении М.—величина $m = D:z$, где D—диам. начальной окружности зубчатого колеса в *мм*, а z—число его зубцов.

Лит.: Бобылев Д., Гидростатика и теория упругости, СПБ, 1886; Хвольсон О., Курс физики, т. 1, Берлин, 1923 (с обширной библиогр.); Млодзеевский Б., Основы высшей алгебры, М.—П., 1923; Егоров Д., Элементы теории чисел, М.—П., 1923; Clebsch A., Theorie d. Elastizität festen Körper, Lpz., 1862; Grashof F., Theorie d. Elastizität u. Festigkeit, B., 1878; Lamé G., Leçon sur la théorie mathématique de l'elasticité des corps solides, Paris, 1890; Mathieu E., Théorie de l'élasticité des corps solides, Paris, 1890; Neumann F., Vorlesungen über die Theorie d. Elastizität d. festen Körper u. Lichtäthers, Lpz., 1885; Young Th., Course of Lectures on Natural Philosophy, L., 1807; Saint-Venant, Torsion des prismes, P., 1855; Voigt W., Lehrbuch d. Kristallphisik, Lpz., 1928; Humbert G., Cours d'Analyse professé à l'École polytechnique, v. 1—2, P., 1903—04. **М. Серебренников.**

МОДУЛЯЦИЯ, изменения тока высокой частоты при помощи *звуковой частоты* (см.), если этот ток применен для передачи каких-либо звуков, речи или музыки (радиотелефония). Ток высокой частоты, как всякие колебания, определяется двумя величинами: частотой и амплитудой, а следовательно и М. может быть двоякого рода: М. частотой и М. амплитудой (вопрос о фазе оставлен незатронутым, как не имеющий значения в настоящее время). М. частотой до сих пор применения почти не имеет, поэтому о ней будут даны сведения в конце статьи, в дальнейшем же под М. следует понимать М. амплитудой.

Коэфициент М. В силу сказанного выше М. есть изменение амплитуды электрич. колебаний высокой частоты. Эти колебания должны быть незатухающими, т. к. затухающие колебания, вследствие свойственных им амплитудных изменений, не могут дать чистой передачи звуков. После детектирования (см. *Детектор, Ламповый детектор*) незатухающие колебания дают в цепи нагрузки постоянный ток, изменение амплитуды незатухающих колебаний влечет за собой пропорциональное изменение силы постоянного тока (фиг. 1, где a—модулированные незатухающие колебания, $б$—ток в цепи детектора, $в$—ток в цепи нагрузки после сглаживания). Наибольшее возможное изменение амплитуды—от нуля до двойной величины — соответствует полному использованию колебаний для целей модуляции (фиг. 2). В этом случае $I_1 = I$, вообще же $I_1 < I$ и степень использования амплитуды колебаний определяется величиной коэфициента модуляции M:



Фиг. 1.

$$M = \frac{I_1}{I}. \qquad (1)$$

Т. к. максимальная амплитуда $I_{max} = I_1 + I$, а минимальная амплитуда $I_{min} = I - I_1$, то коэф. М. можно определить так:

$$M = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}. \qquad (2)$$

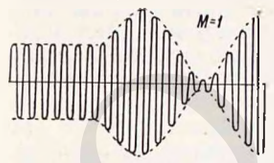
Последнее равенство является наиболее общим определением коэфициента М., так как оно применимо и в тех случаях, когда М. несимметрична, как показано например на фиг. 3. В случае симметричной модуляции ур-не модулированного тока высокой частоты имеет нижеследующий вид:

$$i = I (1 + M \cos \Omega t) \sin \omega t, \qquad (3)$$

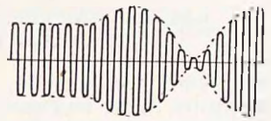
где Ω—угловая частота модулирующая, ω—

угловая частота высокая. Амплитуда колебаний меняется от $I(1-M)$ до $I(1+M)$. Очевидно, что в уравнении (3) в скобках может стоять $(1 - M \cos \Omega t)$, $(1 + M \sin \Omega t)$, $(1 - M \sin \Omega t)$ вместо $(1 + M \cos \Omega t)$ в зависимости от того, где находится начало координат.

Для осуществления М. можно воздействовать или непосредственно на цепи высокой частоты или на генератор, создающий колебания высокой частоты. В первом случае М. достигается двумя методами. Первый метод заключается в том, что модуляторное устройство в зависимости от действия микрофона отнимает б. или м. количество энергии. Этот способ М. носит название М. поглощением, или М. абсорбцией. Второй метод заключается в расстройке какого-нибудь контура при помощи модуляционного устройства и носит название М. расстройкой. Воздействие на ламповый генератор дает возможность получить М. также двояким путем. М. на аноде заключается в воздействии на анодную цепь лампового генератора, при М. на сетке оказывается воздействие на цепь сетки. М. поглощением (абсорбцией). Простейшая схема М. абсорбцией—включение микрофона M непосредственно в антенну—изображена на фиг. 4. При изменении сопротивления микрофона меняется амплитуда тока высокой частоты в антенне. Этот способ М. может быть применен при любой системе генератора высокой частоты, однако применяется сейчас лишь в любительских маломощных ламповых передатчиках. Недостатки этой схемы: 1) схема может работать только при малой мощности в антенне (через микрофон проходит ток высокой частоты, а обычный микрофон не дает возможности пропускать большую силу тока); 2) схема не дает возможности получить большой коэф. М. Действительно, если сопротивление антенны (без микрофона) равно R_A, а сопротивление микрофона меняется по закону



Фиг. 2.


Фиг. 3.

$$R_m = R_0 + R_1 \sin \Omega t,$$

то сила тока в антенне меняется следующим образом:

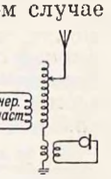
$$I_A = \frac{E}{R_A + R_0 + R_1 \sin \Omega t} \cong \frac{E}{R_A + R_0} \left(1 - \frac{R_1}{R_A + R_0} \sin \Omega t\right).$$

Следовательно коэфициент М.

$$M = \frac{R_1}{R_A + R_0}.$$

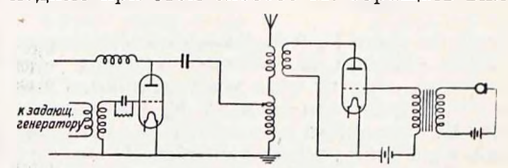
R_1 всегда меньше R_0, между тем R_0 приходится делать меньше R_A, т. к. иначе сопротивление антенны будет очень велико и излучаемая мощность будет мала. Т. о. коэф. М. получается меньше 50%. Для улучшения коэфициента М. более правильно связывать микрофон с антенной индуктивно (фиг. 5). В этом случае подбор сопротивления осуществляется легко. В виду того, что конструирование мощного микрофона, который мог бы пропускать большую силу тока, представляет значительные трудности (такие конструкции были в начале развития радиотелефонии), в качестве меняющегося сопротивления применяется вместо микрофона электронная лампа, на сетку которой действует микрофон. Анодная цепь лампы связана с антенной или с другим контуром высокой частоты. Примером применения электронной лампы, которая в этом случае носит название модуляторной, может служить схема, изображенная на фиг. 6. В случае необходимости можно применить дополнительное усиление низкой частоты между микрофоном и модуляторной лампой. Схемы М. абсорбцией нашли себе применение при передаче токами высокой частоты по проводам, где не требуется большой мощности генератора.

Фиг. 4.



Фиг. 5.

М. расстройкой применяется, так же как и М., поглощением, при воздействии непосредственно на цепи высокой частоты. Вследствие расстройки какого-либо контура сила тока в нем меняется и таким обр. получается М. Кроме того М. расстройкой очень часто получается при М. абсорбцией сама по себе, т. к. всякая нагрузочная цепь отчасти расстраивает контур. Исключительное значение М. расстройкой получает в машинных передатчиках (в передатчиках с машиной высокой частоты), где расстраивается цепь антенны или какого-либо промежуточного контура, настроенного на гармонику частоты тока машины. Обыкновенно такая расстройка достигается изменением самоиндукции контура, причем это изменение удобнее всего получается, если применена катушка самоиндукции с железным сердечником. Путем подмагничивания сердечника удается в широких пределах изменять самоиндукцию катушки. Изменение силы подмагничивающего тока происходит со звуковой частотой от микрофонного усилителя и создает М. Этот способ М. называется магнитной М. Необходимо при этом способе М. обращать внимание на то, чтобы не было обратного воздействия токов высокой частоты на подмагничивающую обмотку. Поэтому обмотку высокой частоты разделяют на две части, так чтобы эдс, наводимые этими частями, были сдвинуты по фазе на 180° (фиг. 7). Как при М. абсорбцией, так и при М. расстройкой трудно получить глубокую М. без искажений.



Фиг. 6.

При данном коэф-те М. M и данной максимальной мощности, развиваемой в антенне генератором W_A, можно определить мощ-

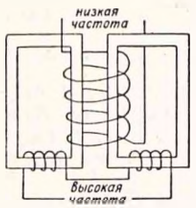
ность, получающуюся без М. (при молчании). Соотношение между силой тока в антенне без М. I_{AT} и силой тока в антенне при максимальной мощности I_A м. б. написано так:

$$I_A = I_{AT}(1 + M). \quad (4)$$

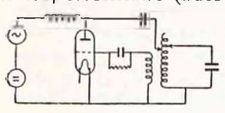
Соотношение между мощностями поэтому получается равным

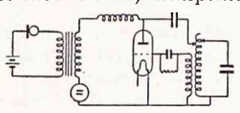
$$W_A = W_{AT}(1 + M)^2. \quad (5)$$

Величина W_{AT} является величиной, определяющей мощность радиотелефонной станции, и носит название телефонной мощности. W_A характеризует работу радиотелеграфной станции и называется телеграфной мощностью. Даже при небольших коэфициентах М. разница между телеграфной и телефонной мощностью очень велика. Так, 20-kW радиотелефонная станция при коэф-те М. с 50% должна иметь телеграфную мощность 45 kW. При нормальном телефонном режиме 25 kW, к-рые оказываются лишними, должны где-то теряться (в абсорбционном устройстве, в контуре), что показывает неудобство применения модуляции непосредственно в антенне при больших мощностях. Исключение представляет только магнитная М. при радиотелефонных передатчиках на машине высокой частоты, т. к. расстройка антенной цепи изменяет коэф-ты мощности нагрузочной цепи машины и потери не так велики. При ламповых же передатчиках большая потеря мощности делает применение указанных систем М. нерациональным. В ламповых передатчиках М. получается обычно воздействием на генераторный режим лампы. Этот режим при подобранном заранее контуре в анодной цепи характеризуется тремя величинами: постоянным напряжением на аноде E_a, постоянным (смещающим) напряжением на сетке E_g и переменным (высокочастотным) напряжением на сетке V_g (см. *Ламповый генератор*). Таким образом М. можно получить, если изменить одну из этих трех величин. Изменение напряжения на аноде E_a носит название М. на аноде, а изменение напряжений E_g или V_g носит название М. на сетке. Можно было бы получить еще М. воздействием на третью цепь, цепь накала, но тепловая инерция нити не дает возможности применить этот способ на практике.

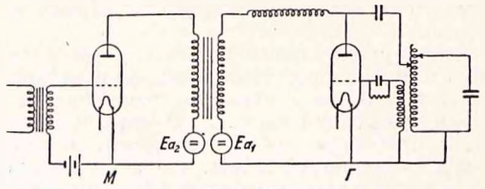


Фиг. 7.


Фиг. 8.


Фиг. 9.

М. на аноде заключается в изменении постоянного анодного напряжения E_a и м. б. получена простейшим образом по схеме, изображенной на фиг. 8. В качестве генератора переменного тока м. б. применен микрофонный трансформатор (фиг. 9). Изменение анодного напряжения влечет за собой пропорциональное изменение силы анодного тока, причем эта пропорциональность ясно выражена при самовозбуждении, когда напряжение на сетке меняется пропорционально силе тока в контуре, и лишь приблизительна в случае независимого возбуждения. Изменение силы анодного тока почти строго



Фиг. 10.

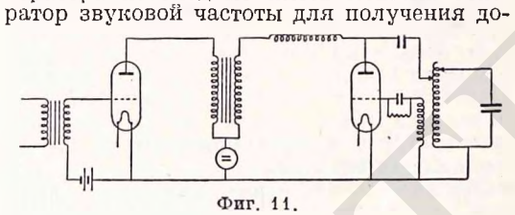
пропорционально изменению силы тока в антенне. Т. о. устанавливается пропорциональность между постоянным напряжением на аноде и силой тока в антенне. Для получения коэф-та М. M необходимо, чтобы амплитуда переменного напряжения звуковой частоты на аноде была равна

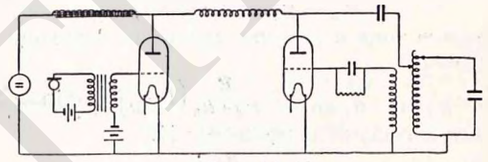
$$E'_a = ME_a. \quad (6)$$

Т. к. сила тока пропорциональна напряжению, то мощность, отдаваемая генератором переменного тока (напр. микрофонным трансформатором), равна

$$W_{пер.} = \frac{M^2}{2} W_0, \quad (7)$$

где W_0—энергия, отдаваемая источником тока. При большой мощности лампового генератора необходимо иметь мощный генератор звуковой частоты для получения достаточной глубины М. Т. к. мощности микрофона будет недостаточно, то необходимо применять предварительное усиление (фиг. 10). Последняя лампа усилителя, обозначенная на фиг. 10 буквой M, носит название модуляторной лампы и д. б. приблизительно равна по мощности генераторной лампе, обозначенной буквой $Г$. Вследствие этого источники тока E_{a1} и E_{a2} м. б. объединены, и схема М. получает вид, изображенный на фиг. 11. Замена трансформатора дросселем приводит к обычной схеме анодной М., изображенной на фиг. 12. Эта схема впервые предложена Хисингом и носит название схемы Хисинга с дросселем.


Фиг. 11.


Фиг. 12.

Объяснение процессов, происходящих при М., может быть дано двоякое. Первое толкование соответствует тому, что сказано ранее. Модуляторная лампа представляется в этом случае последней ступенью усилителя, работающего через автотрансформатор (дроссель) на нагрузочное сопротивление, к-рым является генераторная лампа. Схема эта вполне аналогична нормальному усилителю на дросселях. Другое толкование заключается в том, что модуляторная лампа представляет собой сопротивление, меняющееся под действием напряжения звуковой частоты, подаваемого на сетку. Общий анодный ток от генератора постоянного тока изменяется очень мало в виду большой самоиндукции модуляционного дросселя. Изменение сопротивления модуляторной лампы перераспределяет ток, причем, если на сетку модуляторной лампы подано отрицательное напряжение, ток через нее уменьшается, на дросселе появляется напряжение, совпадающее по направлению с напряжением источника постоянного тока, и сила тока через генераторную лампу увеличивается; при положительном напряжении на сетку модуляторной лампы сила тока через генераторную лампу уменьшается, и т. о. достигается М. Оба эти толкования представляют собой изображение происходящих явлений с двух сторон и являются равноправными.

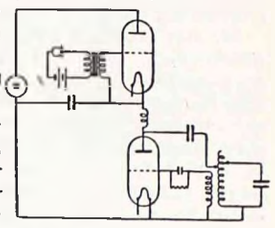
Расчет модуляционного дросселя основан на том, что его индуктивное сопротивление не д. б. меньше сопротивления постоянному току генераторной лампы. Эти сопротивления определяют активную и реактивную слагающую анодного тока модуляторной лампы, и в случае равенства этих сопротивлений сила анодного тока, идущего через модуляторную лампу, лишь в 1,41 раза больше полезного тока, идущего в генераторную лампу. Уменьшение индуктивного сопротивления дросселя влечет за собой увеличение реактивной слагающей силы тока через модуляторную лампу, вызывающей излишнее нагревание ее анода. Итак, определив сопротивление постоянному току генераторной лампы

$$R_0 = \frac{E_a}{I_0},$$

где I_0—постоянная составляющая анодного тока, находим нормальное значение коэф-та самоиндукции модуляционного дросселя:

$$L = \frac{R_0}{\Omega},$$

где Ω—наименьшая из передаваемых звуковых угловых частот. Большое увеличение L не дает никакого улучшения и лишь увеличивает омич. сопротивление и емкость дросселя, что может повести к нежелательным результатам (падение напряжения, резонансные свойства и т. д.). При конструировании дросселя приходится обращать особое внимание на то обстоятельство, что дроссель подвергается большому подмагничиванию постоянным током. Для того чтобы избежать вызываемого таким подмагничиванием уменьшения самоиндукции, сердечник дросселя делают разомкнутым. Наилучшим средством для борьбы с подмагничиванием служит схема, изображенная на фиг. 11. Обмотки модуляционного трансформатора наматываются так, чтобы подмагничивающие токи обеих обмоток друг друга компенсировали. Из остальных деталей схемы необходимо отметить дроссель высокой частоты, коэф. самоиндукции к-рого д. б. выбран так, чтобы ΩL для самой высокой из звуковых частот было мало по сравнению с сопротивлением генераторной лампы R_0 и в то же время чтобы ωL было велико по сравнению с эквивалентным сопротивлением контура Z. Точно так же емкость блокировочного конденсатора выбирается т. о., чтобы $\frac{1}{\omega C}$ было мало по сравнению с Z, но $\frac{1}{\Omega C}$ было велико по сравнению с R_0. Так как модуляторная лампа является мощным усилителем, то ее можно заставить работать двояким образом. Можно в качестве предварительного условия поставить частоту усиления, а следовательно требование работы модуляторной лампы на прямолинейной части характеристики (усиление 1-го рода). В этом случае необходимо модуляторные лампы рассчитывать на рассеяние на аноде, к-рое получится, когда лампы не будут отдавать мощности,—при молчании. Мощность модуляторных ламп получается в 3—4 раза больше мощности генераторных ламп, если задана 100%-ная М. Действительно модуляторные лампы согласно ур-ию (7) должны отдавать мощность, равную половине мощности подводимой к генераторным лампам, но при колебаниях первого рода кпд их не м. б. больше 50%. В силу этого мощности, подводимые к модуляторным и к генераторным лампам, приблизительно одинаковы. Однако в генераторных лампах лишь от 20 до 35% мощности рассеивается на анодах (считая кпд от 65 до 80%), в модуляторных же лампах при молчании рассеивается вся мощность, следовательно количество модуляторных ламп д. б. значительно больше, чем генераторных. Отказываясь от идеальной чистоты передачи, можно уменьшить количество модуляторных ламп. Для этого необходимо понизить рабочую точку и работать лучше всего около нижнего сгиба характеристики (усиление 2-го рода). Тогда при молчании ток, проходящий через модуляторные лампы, ничтожен и поэтому мала мощность, рассеиваемая на аноде. При М модуляторные лампы работают примерно с тем же кпд, что и генераторные лампы, и число ламп в модуляторе и в генераторе обычно выбирается одинаковое. Модуляторные лампы можно брать того же типа, что и генераторные, однако лучший результат получается с лампами, которые имеют левые характеристики (малый коэфициент усиления).


Фиг. 13.

Кроме схемы анодной М. с дросселем, которая называется иначе параллельной схемой анодной М., существует также схема последовательная, в к-рой источник постоянного тока—генераторная и модуляторная лампы включены последовательно (фиг. 13). Изменение сопротивления модуляторной лампы влечет за собой перераспределение напряжений между генераторной и модуляторной лампой. Если на сетку модуляторной лампы подается отрицательное напряжение,

то сопротивление лампы увеличивается, на ней падает бо́льшая часть напряжения, и ток через обе лампы уменьшается; при положительном напряжении на сетке модуляторной лампы бо́льшая часть напряжения падает на генераторной лампе, и ток увеличивается. Можно схему рассматривать иначе: модуляторная лампа работает как усилитель на сопротивлениях, причем нагрузочным сопротивлением является генераторная лампа. Схема последовательная имеет два существенных недостатка: прежде всего для ее питания необходим источник постоянного тока с напряжением, равным приблизительно двойному анодному напряжению генераторной лампы. При высоких анодных напряжениях современных ламп применение такого источника постоянного тока является неудобным. Затем, цепь накала одной из ламп обязательно находится под высоким напряжением. Изоляция цепи накала практически представляет большое неудобство. По этим двум причинам последовательная схема М. на аноде почти не применяется, в то время как параллельная схема нашла себе широкое применение. Эта схема особенно удобна при небольших передатчиках, работающих с самовозбуждением. Несколько хуже работает эта схема в мощных передатчиках с независимым возбуждением, однако она нашла себе применение в ряде станций в СССР, Англии, Франции и США. Телефонной мощностью при этой схеме необходимо считать полную мощность генератора, т. к. при М. максимальная мощность зависит от того, что генератор работает в определенные моменты при сильно повышенном анодном напряжении. Т. о. мощность радиотелефонной станции при М. на аноде определяется ее генераторными лампами. При коротких волнах эту схему М. следует применять осторожно, т. к. повышенное анодное напряжение, даже мгновенное, часто приводит при коротких волнах к разрушению лампы. В общем же параллельная схема анодной М. по праву считается одной из лучших схем М.

М. на сетке применяется в двух разновидностях. Если подвергается изменению постоянное напряжение на сетке (смещающее напряжение) E_g, то имеет место М. первого класса; если же меняется амплитуда напряжения высокой частоты V_g, то способ М. относится ко второму классу. Как видно будет дальше, можно изменять одновременно и E_g и V_g, М. получается тогда смешанная. Отличие М. на сетке от М. на аноде заключается в том, что модулирующее устройство не добавляет энергии в цепь питания анода, а лишь воздействует на его цепь сетки. Поэтому, если генератор может отдавать в антенну телеграфную мощность W_A, то телефонная мощность W_{AT} согласно уравнению (5) в $(1+M)^2$ раз меньше. Сила анодного тока в телефонном режиме, т. е. без М., в $1+M$ раз меньше силы анодного тока при телеграфном режиме, причем это относится как к постоянной слагающей, так и к слагающей основной частоты анодного тока:

$$\left.\begin{aligned} I_{T_1} &= \frac{I_1}{1+M} \\ I_{T_0} &= \frac{I_0}{1+M} \end{aligned}\right\}. \qquad (8)$$

Т. к. эквивалентное сопротивление анодного контура Z остается постоянным, то переменное напряжение на аноде меняется пропорционально слагающей основной частоты анодного тока, а следовательно

$$V_a = V_{aT}(1+M).$$

Постоянное анодное напряжение E_a не меняется, и следовательно должен меняться коэф-т использования напряжения ξ, равный отношению амплитуды переменного напряжения на аноде к постоянному анодному напряжению E_a (см. *Ламповые генераторы*):

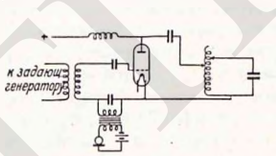
$$\frac{V_a}{E_a} = \xi = \xi_T(1+M).$$

Коэф. полного действия генератора пропорционален ξ и потому

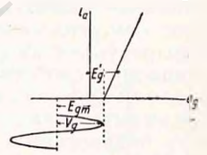
$$\eta = \eta_T(1+M). \qquad (9)$$

Т. о., если генератор в телеграфном режиме может работать при кпд, равном 70%, то в телефонном режиме кпд будет значительно меньше. При расчете на 100%-ную М. ($M=1$) кпд в телефонном режиме равен всего 35%. Этим передатчики с М. на сетке резко отличаются от передатчиков с М. на аноде. В последних генераторные лампы работают при максимальном кпд, зато модуляторные лампы при молчании не используются совершенно; при М. на сетке используются все лампы, но с малым кпд. Для работы без искажений при 100% М. число генераторных ламп в передатчиках с М. на сетке примерно в 4 раза больше, чем этого требует номинальная мощность станции. Так, для радиостанции в 20 kW надо применить 4 лампы по 20 kW. Это объясняется низким кпд при телефонном режиме и благодаря этому большим рассеянием мощности на анодах ламп. Т. к. при М. на аноде, как указывалось выше, потребовалась бы одна 20-kW лампа в качестве генераторной и 3 таких лампы в качестве модуляторных, т. е. тоже 4 лампы, то, как видно из этого примера, схемы М. на аноде и на сетке по мощности и числу ламп эквивалентны. Схемы М. на сетке имеют то преимущество, что лампы не подвергаются режиму с преувеличенным анодным напряжением, однако имеют тот недостаток, что требуют параллельного включения большого числа генераторных ламп.

М. смещающим напряжением. Для того чтобы изменять смещающее напряжение, необходимо в цепь сетки включить генератор переменного тока низкой частоты. Если частота будет достаточно малой, чтобы в течение нескольких периодов высокой частоты изменение напряжения было мало, то для генераторной лампы действие этого источника переменного тока эквивалентно изменению смещения. В качестве генератора переменного тока низкой частоты м. б. применен микрофонный трансформатор (фиг. 14).



Фиг. 14.



Фиг. 15.

Конденсатор параллельно вторичной обмотке трансформатора служит для пропускания тока высокой частоты и должен представлять собой большое сопротивление для токов низкой частоты. Если мощность генератора велика, то для полной М. мощности микрофона может нехватить. В этом случае применяют усиление низкой частоты, и место микрофонного трансформатора занимает выходной трансформатор усилителя. Эта схема являющаяся самой простой из схем М. на сетке смещающим напряжением, дает хорошие результаты и применяется нередко на практике. Трудность заключается лишь в правильном выборе и конструкции выходного трансформатора усилителя. Расчет такой схемы м. б. произведен следующим образом. Наибольшая величина постоянного напряжения на сетке E_{gm} определяется телеграфным режимом генератора. Нижний предел постоянного напряжения на сетке будет очевидно тогда, когда сила анодного тока станет равной нулю. Как видно из фиг. 15, это будет тогда, когда напряжение

$$E_{gm} = -V_g + E_g',$$

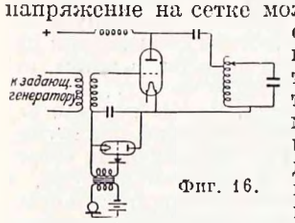
где V_g—амплитуда переменного напряжения на сетке высокой частоты, а E_g'—то напряжение, при котором прямолинейная характеристика лампы пересекает ось абсцисс. На фиг. 15 изображена идеальная прямолинейная характеристика лампы (нижняя часть действительной характеристики изображена пунктиром). Колебания напряжения от E_{gM} до E_{gm} соответствуют 100% М., так как амплитуда анодного и антенного тока колеблется от нуля до максимальной величины, получающейся при телеграфном режиме. Если расчетный коэф. М. меньше 100% ($M<1$), то наименьшее постоянное напряжение на сетке

$$E_{gm}' = \frac{1}{1+M}\left[2ME_{gm} + E_{gM}(1-M)\right].$$

Телефонный режим получается при смещающем напряжении

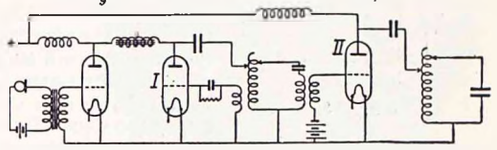
$$E_{gT} = \frac{E_{gM} + E_{gm}'}{2} = \frac{E_{gM} + ME_{gm}}{1+M}.$$

Указанная выше схема М. смещением не является единственной. Так как смещающее напряжение на сетке может быть получено с помощью гридлика (утечки сетки), то, изменяя сопротивление гридлика, можно изменять и напряжение и модулировать колебания, даваемые лампой. Основанная на этих соображениях схема М. была впервые предложена Шефером, а затем и целым рядом других ученых и известна под названием М. гридликом (фиг. 16). В качестве гридлика применяется электронная лампа, сопротивление к-рой меняется под влиянием напряжения звуковой частоты, подаваемой на сетку. М. по схеме Шефера имеет весьма широкое распространение и наряду со схемой Хисинга считается одной из лучших схем модулирования. Кроме указанных выше существует еще целый ряд схем, почти не имеющих однако применения.



Фиг. 16.

М. амплитудой переменной слагающей напряжения на сетке. Наиболее яркой представительницей этих схем является схема, изображенная на фиг. 17. Возбудитель I в этой схеме модулирован, причем применена М. на аноде (понятно, можно было применить и М. на сетке, напр. смещающим напряжением). Модулированные колебания подаются на сетку мощного каскада II, который их усиливает. Для лампового генератора II М. происходит на сетке, причем смещающее напряжение E_g остается постоянным, меняется



Фиг. 17.

амплитуда переменной слагающей напряжения на сетке V_g. Схема эта носит название М. в предыдущем каскаде. Кроме этой схемы существует ряд других, которые основаны на изменении амплитуды переменного напряжения V_g, путем воздействия на цепи высокой частоты. Большого применения эти схемы не получили. Для того чтобы получить усиление без искажений М., необходимо работать или на прямолинейной части характеристики, что невыгодно с точки зрения энергетической в виду малого кпд, или стать на нижний сгиб характеристики. Действительно, согласно ур-ию Валлаури (см. *Ламповые генераторы*)

$$V_g = -DV_a + \frac{I}{S}$$

и кроме того

$$-V_a = I_1 Z,$$

где I_1—амплитуда силы тока основной частоты в анодной цепи, I — амплитуда, к-рая была бы, если бы лампа одинаково проводила ток в обе стороны, Z—эквивалентное сопротивление контура. Т. о.

$$V_g = I_1 D Z + \frac{I}{S}.$$

Неискаженная М. получается при пропорциональности V_g и I_1. Так как S, D, Z— постоянные величины, то неискаженная М. может получиться лишь в том случае, если I_1 пропорционально I, но

$$I_1 = I\frac{\theta - \sin\theta\cos\theta}{\pi},$$

где θ—угол отсечки анодного тока. Требование пропорциональности I и I_1 м. б. удовлетворено только при условии постоянства угла θ:

$$\theta = \text{Const}.$$

Так как смещающее напряжение остается постоянным, то не меняется и ток покоя

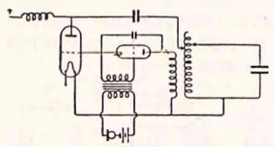
$$I_{n.} = I\cos\theta = S(E_g - E_g').$$

Итак, ток покоя $I_{n.}$ постоянен, I меняется; поэтому очевидно, что θ не м. б. постоянной величиной, если $\cos\theta \neq 0$. Т. о.

$$\theta = \frac{\pi}{2},$$

а значит при М. амплитудой переменного напряжения на сетке необходимо работать

на нижнем сгибе характеристики. Обычно такой режим и подбирается. Понятно, что небольшие колебания в ту или другую сторону допустимы, причем обычно дается несколько большее смещение и угол θ около 80° для того, чтобы получить несколько больший кпд при незначительном искажении. Модуляция на сетке применялась также при генераторах с самовозбуждением (фиг. 18). В этом случае получается одновременное изменение E_g и V_g, т. к. первое зависит от второго. М. получается небольшая, при настройке на хороший кпд получаются срывы. М. на сетке при генераторах с самовозбуждением хотя и может применяться, но дает худшие результаты, чем при работе с независимым генератором.


Фиг. 18.

Несущая и боковые частоты. При работе с настроенными контурами всякие несинусоидальные колебания удобнее разлагать на ряд синусоидальных колебаний, т. к. в этом случае легко применяются обычные ф-лы переменного тока. Модулированные незатухающие колебания для рассмотрения процессов, происходящих в цепях передатчика и приемника, и при распространении энергии в какой-либо среде приходится также разбивать на ряд гармоних. колебаний. В этом смысле ур-ие (3) для модулированных колебаний м. б. выражено так:

$$i = I(1 + M\cos\Omega t)\sin\omega t = I\sin\omega t + \\ + \frac{IM}{2}\sin(\omega+\Omega)t + \frac{IM}{2}\sin(\omega-\Omega)t. \quad (10)$$

При отсутствии М. существует только первый член, к-рый носит название несущей частоты, или несущей волны. При М. прибавляются два других члена, к-рые носят название *боковых частот* (см.). Если М. производится не одной частотой, а полосой частот, то появляются полосы боковых частот:

$$i = I\left(1 + \sum M_i\cos\Omega_i t\right)\sin\omega t = I\sin\omega t + \\ + \sum\frac{IM_i}{2}\sin(\omega+\Omega_i)t + \sum\frac{IM_i}{2}\sin(\omega-\Omega_i)t.$$

Т. о. полоса частот, занимаемая радиотелефонной станцией, в два раза больше самой высокой из звуковых частот, ко орые надо передать. Для концертной радиотелефонии желательно передавать частоты до 10 000 пер/ск. Полоса частот концертного радиотелефонного передатчика должна была бы быть равной 20 кц. В действительности благодаря взаимным помехам радиовещательных станций приходится полосы частот, отдаваемые в распоряжение каждой станции, сильно сокращать. Главная часть энергии, отдаваемой передатчиком, идет на создание несущей частоты; на долю боковых частот приходится лишь незначительная часть. Действительно, соответствующие величины мощности несущей и боковых частот равны:

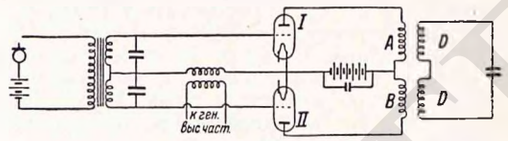
$$W_{н.ч.} = \frac{I^2R}{2};\ W_{б.ч.} = \frac{I^2R}{8}M^2 + \frac{I^2R}{8}M^2 = \frac{I^2R}{4}M^2.$$

Часть, к-рую берет на себя несущая частота, равна

$$\frac{W_{н.ч.}}{W} = \frac{2}{2+M^2}.$$

Т. о. даже при 100%-ной М. несущая частота отнимает $^2/_3$ всей мощности, а на каждую из боковых частот приходится лишь по $^1/_6$. При M=0,5 на долю несущей частоты приходится 89% всей мощности. Между тем несомненно лишь боковые частоты являются полезными, так как они переносят отражение звуков, переданных микрофоном. Ток несущей частоты в приемнике служит лишь для получения биений с токами боковых частот, чтобы в результате получились передаваемые звуковые частоты.

Передача без несущей частоты. Указанные выше соотношения мощностей несущей частоты и боковых частот привели к мысли обойтись без излучения несущей частоты, создавая ее при помощи гетеродина в приемнике. Уничтожение несущей частоты м. б. произведено несколькими способами. Наиболее употребительным является метод балансной М., предложенный впервые Карсоном (фиг. 19). Генератор высокой частоты подает напряжение на лампы I и II в фазе, звуковая же частота подается на лампу II сдвинутой по сравнению с I на 180°. Поэтому несущие частоты в анодных цепях ламп A и B находятся в фазе, а боковые частоты сдвинуты на 180°. Во вторичной обмотке трансформатора анодной



Фиг. 19.

цепи $Д$ эдс несущей частоты уничтожатся, а боковых частот сложатся, и получается т. о. передача 2 боковыми частотами. Т. к. по существу дела необходимой является лишь одна из боковых частот, то часто вторую боковую частоту отфильтровывают и производят передачу одной боковой частотой. Для отфильтрования одной из боковых полос применяют иногда двойную балансную М., раздвигая боковые частоты сначала при помощи промежуточной частоты, а затем, отфильтровав одну боковую частоту, модулируют высокую частоту. Схемы передач без несущей частоты имеют большое преимущество, т. к. при мощных передатчиках сберегают значительное количество энергии, а затем создают меньшие помехи другим станциям. Недостатком их является сложность, а кроме того невозможность приема на приемник без регенерации или без гетеродина. Благодаря последней причине передатчики без несущей частоты не применяются для целей радиовещания.

М. частотой имеет место тогда, когда ур-ие силы тока м. б. выражено след. обр.:

$$i = I\sin(\omega t + \Delta\omega\sin\Omega t).$$

В этом ур-нии фаза для простоты опущена. Как указано впервые Карсоном, М. частотой, так же как и М. амплитудой, дает несущую частоту и полосы боковых частот

причем последние не будут уже, чем при М. амплитудой. Т. о. то преимущество, которое можно было ожидать от М. частотой—сужение пучка частот, оказалось несуществующим. Прием при М. частотой происходит благодаря резонансным свойствам приемника и на практике встречает большие затруднения. Поэтому М. частотой, несмотря на проявленный и проявляемый к ней большой интерес, не получила до настоящего времени применения в радиотехнике.

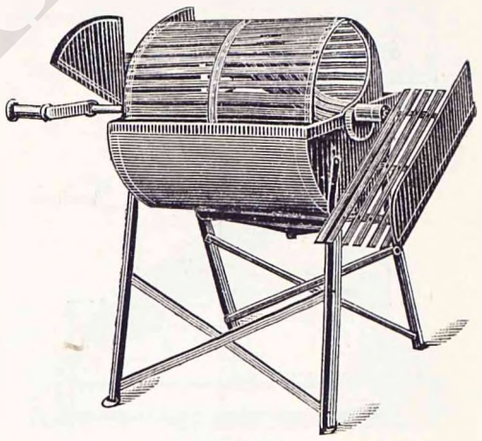
Лит.: Бонч-Бруевич М. А., «Радиотехник», Н.-Новгород, 1920, *11*; Испытание радиотелефона системы А. Т. Углова, там же, 1921, *14*; Бонч-Бруевич М. А., «ТиТоП», 1921, *11*, 1923, *3*, *(20)*; Григорьева А. А., там же, 1924, *3* (*25*), 1927, *4* (*43*), *6* (*45*); Минц А. Л., там же, 1924 (*3*), *25*, 1925, (*3*), *30*, 1926, *3* (*36*); Кляцкин И. Г. и Минц А. Л., там же, 1927, *3* (*42*), 1929, *1* (*52*), *4* (*55*); Шмаков П. В., там же, 1927, *1* (*40*); Смирнов Н. Д., там же, 1928, *4* (*49*); Meissner A., «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1919, B. 14, H. 5; Rukop H., «Telefunken-Ztg», B., 1923—24, B. 7, *31—35*; Culver C. A., «Proc. of the Inst. of Rad. Eng.», N. Y., 1923, v. 11, p. 479; Forest L., «Rad. Revue», P., 1919, *1*, p. 153; Heising R. A., «Proc. of the Inst. of Radio Eng.», N. Y., 1921, v. 9, p. 305; Kuhn L., «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1923, B. 18, p. 406; Carson J. K., «Proc. of the Inst. of Rad. Eng.», N. Y., 1919, v. 7, p. 187; Colpitts E. H. a. Blackwell O. B., «Trans. Amer. Inst. of Electr. Eng.», New York, 1921, v. 40, p. 205; Hartley R. V. L., «Proc. of the Inst. of Rad. Eng.», N. Y., 1923, v. 11, p. 34; Joos G. u. Zennek J., «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1923, B. 22, p. 93; Mauz E. u. Zennek J., ibid., 1922, B. 19, p. 256; Muth H., «Telefunken-Ztg», B., 1924, B. 6, *34*, p. 27; Arnold H. D. and Espenschied L., «JAIEE», 1923, p. 815; Pungs L., «Elektrische Nachrichten Technik», Berlin, 1925, *2*, p. 93; Feigs A., ibid., 1925, *2*, p. 96; Schaffer W., «Telefunken-Ztg», B., 1922, *26/27*, p. 7, *28*, p. 44; Lubzynski G., «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1926, B. 27, H. 2, p. 33; Heising R. A., «Proc. of the Inst. of Rad. Eng.», New York, 1920, Febr.—Apr.; Purrington, «Scient. Pap. Bur. of Stand.», Wsh., *423*; Carson J. R., «Proc. of the Inst. of Rad. Eng.», N. Y., 1922, v. 10, *1*, p. 57; David M., «L'onde électrique», P., 1923, Oct., p. 579; Walker H. S., «Exper. Wireless a. Wireless Engineer», L., 1924, Aug., p. 643; Striegel R., «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1927, B. 29, Jan., p. 10; Macdonald W. A., «Radio Review», N. Y., 1921, v. 11, *8*, p. 409; Heising R. A., «Proc. of the Inst. of Rad. Eng.», N. Y., 1925, June, p. 291; Oswald A. und Schelleng J., ibid., p. 313; Pocock L. C., «Electrician», L., 1921, v. 86, p. 246; Alexanderson E. F. W., «Proc. of the Inst. of Rad. Eng.», 1920, Aug., p. 263; Carson J. R., ibid., 1921, June, p. 243; Weinberger J., ibid., 1924, Dec., p. 748; Little D. G. a. Davis R. L., ibid., 1926, Aug., p. 479; Van der Pol Balth, ibid., 1930, July, p. 1194; Eckersley T. L., «Experimental Wireless and Wireless Engineer», London, 1930, Sept., v. 7, *84*. **И. Кляцкин.**

МОЕЧНЫЕ МАШИНЫ, в сельском хозяйстве, машины, предназначенные для очистки корнеплодов и клубнеплодов от приставшей к ним земли и грязи, т. к. загрязненный корм вызывает желудочные заболевания. Наиболее распространенной М. м. является цилиндрическая мойка (фиг. 1), к-рая состоит из решетчатого цилиндра, погруженного в корыто, наполненное водой; клубнеплоды или корнеплоды насыпают в ковш, через к-рый они и попадают внутрь цилиндра. При вращении цилиндра в одну сторону клубни перекатываясь обмываются в воде; при вращении в другую сторону они захватываются особыми черпаками, находящимися внутри цилиндра, и выбрасываются наружу в желоб. Корыто для воды подвешено и периодически опрокидывается для опоражнивания. Мойка с цилиндром длиной в 1 300 *мм* и диаметром в 560 *мм* имеет производительность от 400 до 1 300 *кг/ч*. **Б. Криль.**

М. м. в текстильном производстве—см. *Шерсть*.

М. м. для мойки кухонной посуды—см. *Кухня-фабрика*.

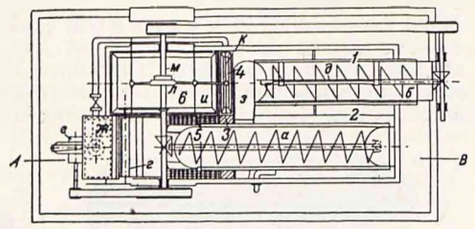
М. м. для зерна. Обычным способом очистки зерна, путем шелушения его на обоечных (наждачных) машинах (см.


Фиг. 1.

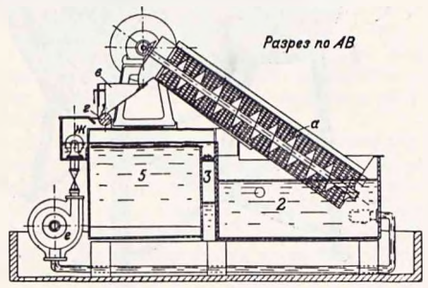
Обойка), не удается вычистить пыли и грязи, глубоко залегающей в бороздке зерна. В этом отношении бессильны и щеточные машины для зерна. Особенно трудно очищается зерно, зараженное *головней* (см.). Такое зерно лучше всего очищать при помощи М. м. При обычной сухой очистке головня раздавливается и пачкает здоровые зерна, проникая в недоступную для очистки бороздку зерна. Головня (з о н а), мало отличаясь по уд. в. от здорового зерна, трудно отделяется в ветрами и на сепараторах. Лучше всего зерно, зараженное головней, очищается мокрым путем при помощи мойки. Перед мойкой зерно пропускают через бичевую машину (обойку с сетчатым барабаном), для разбивки головни. Хотя при этом пачкается здоровое зерно, но мойка легко отмывает грязь и черноту, при этом есть уверенность, что зона не пройдет через М. м. нераздавленной и не испачкает зерно в отжимной колонке после мойки. Мойку зерна впервые применили и усовершенствовали в Англии. Толчок этому дало то обстоятельство, что из-за выгоды во фрахте англичане привозили зерно в трюмах угольщиков на возвратном их пути в Англию. Зерно приходило частично запачканным угольной пылью, что и вызвало необходимость в его промывке.

В 1900-х гг. в СССР получила распространение М. м. Симона, к-рая состоит (фиг. 2, А и Б) из приемного винта *а* и выводящего *б*, установленных в чугунном бассейне с 6 отделениями, попарно соединенными между собою. Зерно поступает в нижнюю часть винта *а*, погруженную в отделение *1* с отходящей грязной водой. Смоченное зерно поднимается винтом в ковш с питательным валиком *г* и выпускается в отделение *5*. Чистая вода подается по трубе *д*, в винт *б*, который

отводит промытое зерно из М. м. Сквозь сетчатое корыто винта вода поступает в отделение *2*, откуда насосом *е* подается с дав-

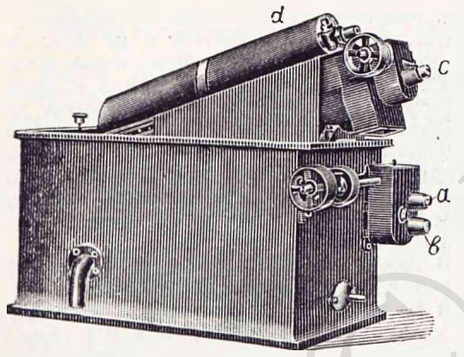


Фиг. 2 А.



Фиг. 2 Б.

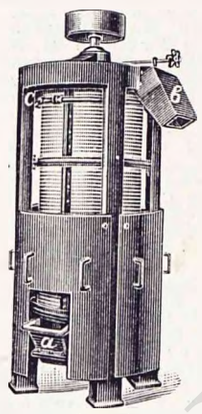
лением в отделение *4*, отдавая часть воды по пути в камере *ж*. Вода из камеры *ж* подхватывает зерно из-под валика *г* и увлекает его над ситом по отделению *5* над камерой *3* в раструб *з* и в отводящий винт *б*. В камерах *6* и *4* погружены поршни *м* и *к*, приводимые в качание эксцентриком *л* вала *о*. Движение поршней волнует воду в соседних камерах *5* и *3*, к-рая в с п о л а с к и в а е т зерно во время прохождения его над сетками этих камер. В камере *5* зерно передвигается непосредственно по сетке, в камере же *3* сетка расположена значительно ниже, однако в это углубление зерно попасть не может, т. к. вода, подаваемая в соседнюю камеру *4*, под давлением насоса *е* выбрасывает зерно в лоток *з*; на сетку же падают и собираются камни и тяжелые металлические примеси, если они имеются в



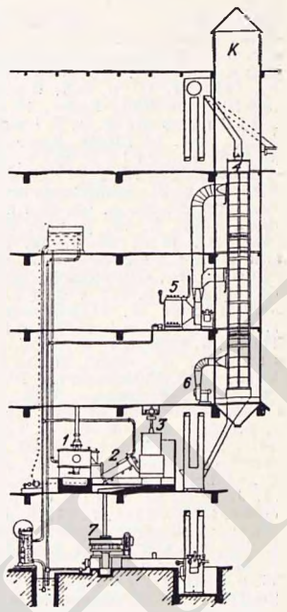
Фиг. 3.

зерне. Таким образом М. м. выполняет назначение к а м н е о т б о р н и к а, что очень важно для районов, где в зерне имеется примесь камешков (гальки).

Так как собственно надобности в энергичном полоскании зерна не имеется, то М. м. значительно упростили. Упрощенная М. м. (система Симона) состоит из чугунного бака с двумя горизонтальными винтами внутри его, одного *а* для мойки зерна и другого *b* для отвода камней, и 3-го наклонного винта *с* с вспрыскивающим приспособлением *d* для вывода промытого зерна из машины (фиг. 3). Зерно находится в воде в среднем 30—40 ск. Время пребывания зерна в воде в зависимости от его твердости и влажности регулируется уровнем воды в бассейне и проч. Из М. м. зерно поступает в центрифугальную отжимную колонку (фиг. 4), представляющую собою вертикальный барабан со спирально расположенными бичами, бросающими зерно на цилиндрич. сетку из оцинкованных пробивных листов. Зерно поступает в нижнюю часть колонки *а* и выводится из верхней ее части *b*. Действием центробежной силы зерно, при движении внутри цилиндрич. сетки по спирали вверх, выделяет воду. Нижняя часть колонки оде-



Фиг. 4.

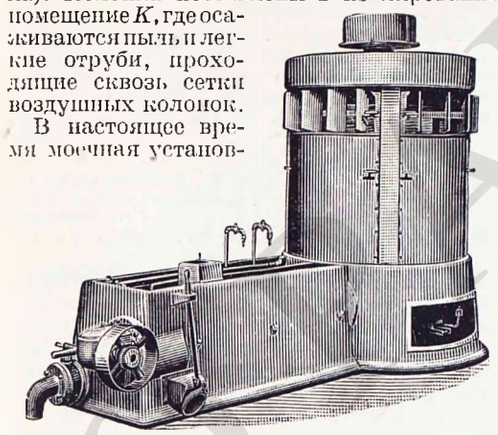


Фиг. 5.

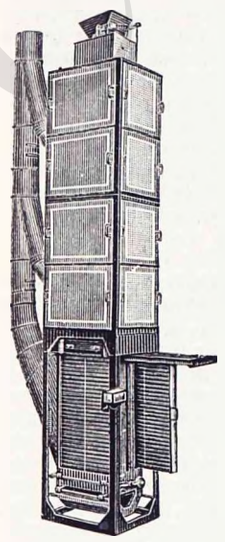
та сплошным (отъемным) кожухом для улавливания выбрызгиваемой грязной воды. В верхней части сетки вода уже не выбрызгивает. Здесь имеется приспособление *с* для промывки ее водой под давлением. М. м. и колонка монтируются в общей бетонной ванне, откуда грязная вода выводится через трубу наружу. Действие отжимной колонки, помимо ее прямого назначения—выделения воды с покровов зерна, одновременно сопровождается сдиранием верхних оболочек зерна, удаляемых из ванны вместе с грязной водой. Во избежание потерь этих оболочек ставится машина, в верхней части к-рой сито отцеживает грязную воду, мокрые отходы отжимаются двумя конич. винтами и поступают в винт с обогреваемым паром кожухом, откуда выходят сухие оболочки зерна и отходы мойки. Фиг. 5 изображает моечную группу, где *1*—мойка, *2*—вспрыскивающий винт, *3*—центрифуг. колонка, *4*—воздушная колонка, *5*—вентилятор с паровым калорифером, *6*—вентилятор

(холодн.), *7*—аппарат для утилизации отходов мойки (мелкие зерна, оболочки зерна). Колонки поставлены в изолированное помещение *К*, где осаждаются пыль и легкие отруби, проходящие сквозь сетки воздушных колонок.

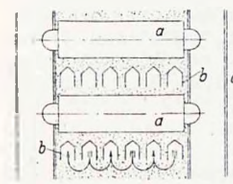
В настоящее время моечная установка сводится к двум машинам—мойке и центрифуге (сист. Бюллер) и даже к одному цельному агрегату этих машин (сист. Miag, фиг. 6). Расход воды на 1 *т* промытого зерна при применении возврата отработанной (с отстоем) воды 700—900 *л* и 2 000—2 250 *л* при работе свежей водой. Расход пара в сушильных колонках 50 *кг* на 1 *т*. Вместо сушильных колонок с нагнетателем теплого и холодного воздуха ставится кондиционер. Фиг. 7 представляет собою кондиционер (модели VCA завода Бюллер). Верхняя секция содержит три ряда радиаторов водяного отопления, к-рые омываются движущимся вниз зерном. От действия этой секции зерно нагревается в насыщенной паром атмосфере, что способствует химич. процессам, аналогичным происходящим при отлежке зерна. В следующих секциях зерно подвергается одновременно нагреванию от таких же радиаторов и просушиванию воздухом, проходящим сквозь жестяных крыше-



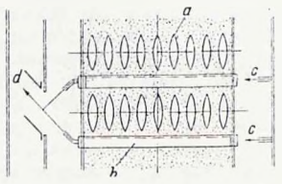
Фиг. 6.



Фиг. 7.

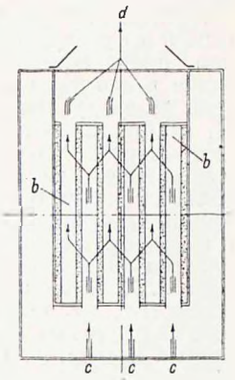


Фиг. 8.

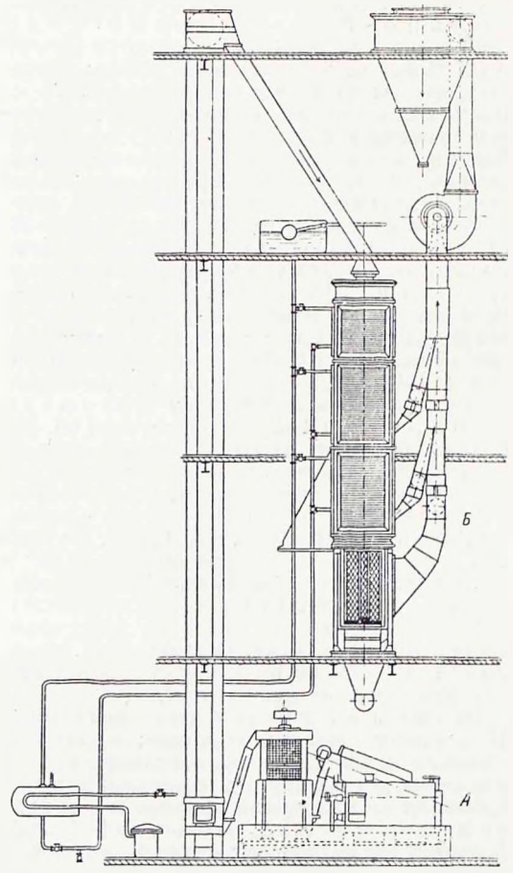


Фиг. 9.

образных каналов. Фиг. 8 дает вертикальный разрез кондиционера вдоль радиаторов *а* и поперек воздушных каналов *b*. Фиг. 9—поперечный разрез радиаторов *а* и вдоль каналов *b*. Фиг. 10 дает горизонтальный разрез по каналам *b*, закрытым с одной стороны в шахматном порядке. Стрелки показывают движение воздуха *с*, входящего из пространства между кожухом и кондиционером в каналы *b*, проходящего из одних каналов в соседние через толщу зерна, что видно на фиг. 8 и 10 и выходящего стрелками *d* по всасывающим трубам к экгаустеру и циклону. Установку М. м. и кондиционера см. фиг. 11, где *А*—мойка и *Б*—кондиционер. Воздух уносит влагу из зерна и сушит его. В нижней секции радиаторы отсутствуют, и воздух в одно время сушит и охлаждает зерно, выходящее из кондиционера подготовленным для дальнейшей уже сухой очистки на обой-



Фиг. 10.



Фиг. 11.

ках и щеточных машинах. После кондиционера зерно отлеживается не более 6—12 час. (или вовсе не нуждается в отлежке).

Лит.: см. Мукомольные мельницы. **Л. Розенштейн.**

5) М. м. в ватном производстве. Мойку ваты производят на промывной овальной мойке. См. *Ватное производство*, фиг. 5.

МОЖЖЕВЕЛЬНИК, название группы деревьев и кустарников с ароматическим запахом, произрастающих в количестве до 30 видов в северном полушарии. Главнейшие виды М. следующие. Обыкновенный М. (Juniperus communis)—небольшой кустарник, реже дерево до 12 *м* высотою, произрастающее во всей Европе и Сибири; обладает пахучей твердой и трудно раскалываемой древесиной с желтоватой оболонью и желто-бурым ядром; об. вес 0,62; употребляется на мелкие поделки, хорошо полируется. Кедровый вереск, красный кедр (Juniperus oxycedrus)—кустарник или деревцо до 3 *м* высотою; произрастает в Крыму, на черноморском побережьи Кавказа, а также в средиземноморской области З. Европы. Древесина плотная, об. вес 0,65—0,75 (в воздушносухом состоянии), душистая и смолистая с светлорозовым ядром, употребляется для карандашей, различных мелких столярных поделок, на виноградные тычины и пр. Гималайский М., древовидный можжевельно-гималайский кедр (Juniperus excelsa)—растет дико в Крыму и на Кавказе, в М. Азии и Персии; достигает высоты до 8—9 *м* при диам. около 1 *м*. Плотная, прочная, ароматическая, красного розового цвета древесина его употребляется для карандашей, на мелкие поделки и виноградные тычины. Древесина М., будучи пропитана смолою, противостоит гниению и червоточине. Виргинский М. (J. virginiana) — обычно невысокое дерево, но иногда достигает высоты до 24 *м*; произрастает в США (на территории от Гудзонова залива до Мексиканского залива и от Н. Брауншвейга до Флориды и Скалистых гор). Разводится также искусственно в Европе (с 1664 г.). Древесина его красно-бурого цвета, известна под названием красного кипариса (Red Cedar), легкая, об. вес ее 0,33, прочная, легко строгается, идет на карандаши. Эта весьма ценная порода для полиграфич. производства м. б. разводима и у нас; встречается у нас в парках и садах, а также в культурах на юге СССР. Из других ценных М., произрастающих в СССР в Ср. Азии, Сибири и на Гималайских горах, следует упомянуть арчу (J. pseudosabina), древесина к-рой тоже пригодна для карандашного производства. Остальные М. представляют собой не имеющие особого значения низкорослые кустарники.

Из смолы М. добывается *сандарак* (см.). Ягоды применяются в медицине; после сбраживания ягоды дают можжевеловую водку; в нек-рых местах из ягод варят особое пиво, добывают из них также эфирное можжевеловое масло (с выходом до 1—1,5%). В состав масла входит: α-пинен, камфен—терпинеол, терпеновый спирт неизвестного строения, кадинен и другие сесквитерпены. Нормальное можжевеловое масло должно иметь следующие константы: уд. вес 0,867—0,882, вращение α_D от −1° до −13°, коэфициент преломления n_D 1,472—1,484, кислотное число до 3, эфирное число 1,0—12, эфирное число после ацетилирования 19—31. Производство его в СССР развито по преимуществу в сев. и сев.-вост. районах и отчасти обслуживает экспорт. Иногда из ягод изготовляют краску, а кору М. употребляют как дубильный материал (см. *Спр. ТЭ.* т. III).

Лит.: Кери Э., Деревья и кустарники, их лесоводственные особенности, использование и технич. применения, М.—Л., 1925; Пеньковский В., Деревья и кустарники как разводимые, так и дикорастущие в Европейской России, на Кавказе и в Сибири, Херсон, 1901; Вольф Э., Хвойные деревья и кустарники Европейской и Азиатской частей СССР, Л., 1925.

Н. Кобранов.

МОЗАИЧНЫЙ НАБОР, см. *Набор* типографский.

МОЙКА-ПРОМЫВКА, одна из важнейших мокрых операций при облагораживании текстильных волокон, обработка непряденого волокна, или пряжи, или ткани водой в моющей ванне, сопровождающаяся механическими воздействиями—разбалтыванием, отжимом и т. д. (в некоторых случаях применяют слабые растворы моющих веществ—соды, контакта Т и т. д.). М.-п. имеет целью очистку волокон от примесей и загрязнений случайного характера (например грязи), естественного характера (например шерстяного пота), намеренно нанесенных на волокно (шлихты), и окончательное освобождение волокна от незакрепленного красителя, использованных химич. материалов, загустки и мыла после крашения, печати и мыловки. Хорошая промывка товара нужна не только для улучшения внешнего вида волокнистых материалов, но и для придания им большей прочности, так как при помощи ее удаляются химич. вещества, разрушающие волокна (кислота—хлопок, щелочь—шерсть, шелк). При промывке б. ч. пользуются холодной водой и только в редких случаях теплой. Чистота воды имеет важное значение при М.-п.: вода, загрязненная механическими примесями, при мойке фильтруется через товар и не промывает, а грязнит его; поэтому для мойки следует применять воду или фильтрованную или же пропущенную через отстойники; также весьма нецелесообразно при М.-п. пользоваться жесткой водой, и во всяком случае исключается применение железистой воды. М.-п. производят в специальных моечных машинах разнообразных конструкций, а также в аппаратах для крашения и проходных аппаратах. Для непряденого волокна применяют моечные машины овальной формы с крыльчатыми или вильчатыми мешалками, а также левпафаны (см. *Промывные машины*). Пряжу промывают в неподвижном состоянии—в бассейнах с циркуляцией, а при движении—в различных полоскально-моечных машинах; для хлопковой ткани наиболее употребительна машина клапо, в к-рой происходит попеременное отжатие товара и смачивание. Другие машины для той же цели производят встряхивание, чем усиливается промывка, и наконец т. н. «полоскалки» промывают кусковой товар без натяжения. Ящики проходных аппаратов, предназначенные для промывки, снабжены особыми трубами с мелкими отверстиями, из к-рых вода опрыскивает ткань, что способствует обильному промыванию ее насквозь.

Лит.: Шапошников В. Г., Общая технология волокнистых и красящих веществ, М.—Киев, 1926; Haller R., Chemische Technologie d. Baumwolle, Technologie d. Textilfasern, hrsg. v. R. Herzog, B. 4, T. 3, B., 1928; Glafey H., Hilfsmittel zur Veredlung d. Baumwolltextilien, ibid.

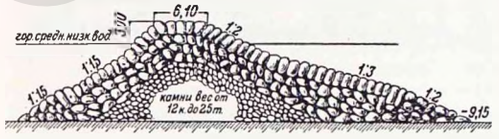
В. Абозин.

МОЙКА ШЕРСТИ, см. *Шерсть*.

МОЛ, инженерное сооружение, возводимое в море и представляющее собой массивную, прочную стенку, примыкающую одним

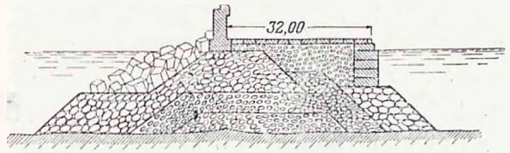
Фиг. 1.

концом к берегу, в отличие от *волнолома* (см.), связи с берегом не имеющего. Назначение мола — образование водной портовой площади, защита ее от волнения и использование в отдельных случаях мола как причала для судов. Конец мола, выступающий в море, называется головой, примыкающий к берегу—корнем М. Размеры и конструкция М. определяются силой и направлением ветров и волнения, глубиной заложения М., свойствами дна и материалов, из к-рых М. сооружен, а для замерзающих морей также и напором льда. По форме М. бывают с пологими или вертикальными откосами, а по роду материалов—каменные,



Фиг. 2.

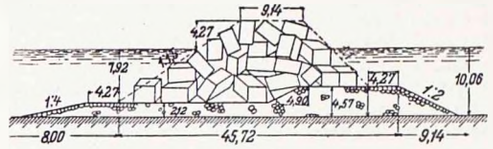
бетонные, железобетонные, деревянные, смешанной конструкции и фашинные. Основным материалом, применяемым для постройки М., является камень в естественном виде или же в виде искусственных массивов, как наиболее удовлетворяющий предъявляемым к материалам, идущим для М., требованиям: плотности, достаточным размерам и химич. неизменяемости под действием морской воды, а также дешевизне и широкому распространению. Как всякое сооружение мол должен рассчитываться на прочность в отдельных частях его, на сдвиг и опрокидывание. Вследствие недостаточной определенности воздействия волн на М., при расчетах берут коэфициенты запаса прочности не ме-



Фиг. 3.

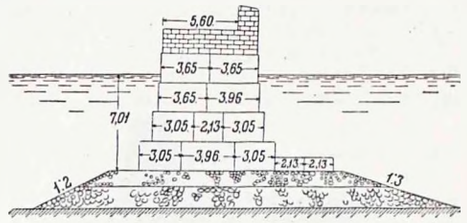
нее 2—2,5. Наиболее подвержены действию волн голова и корень М., а также и подошва, почему эти части требуют особенно тщательного устройства, в виду громадного давления волн на сооружение (30—40 *т/м*²) и явления подмыва дна.

Различные условия сооружения М. приводят к следующим типам их. 1) Обычное применение естественного камня в виде наброски придает М. очертания, приведенные на фиг. 1 (Панамский М.) и фиг. 2 (американский М.). Поперечное сечение таких молов характеризуется различными откосами со стороны моря (от 1 : 1,5 до 1 : 16) и со стороны гавани (от 1 : 1 до 1 : 2), тщательной сортировкой камней по размеру и значительной шириной поверху и в основании. Материалом служит рваный или булыжный камень весом от 80 *кг* до 1,5—2,0 *т*. На случай особенно сильного волнения верхнюю часть мола обкладывают искусственными массивами объемом до 30—35 *м*³ для предохранения сооружения от размыва. Типичным примером такой конструкции является Марсельский М. (фиг. 3). Дальнейшим развитием этого типа является укладка массивов на откосе не в виде наброски, а путем



Фиг. 4.

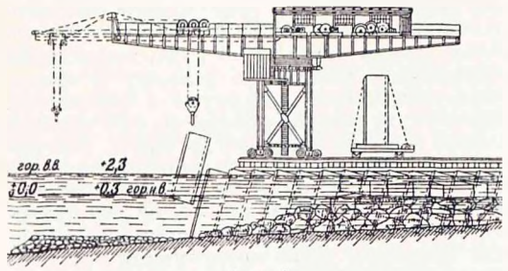
правильной укладки их в один, два ряда и с более крутым откосом. 2) При отсутствии на месте крупных каменных залежей и ради скорейшего выполнения работ применяются искусственные массивы в виде наброски, примером чего служит мол в Поти (фиг. 4). М. из наброски естественных или искусственных камней и массивов имеют помимо меньшей стоимости и простоты выполнения преимущество перед другими типами, заключающееся в том, что осадка сооружения в целом или в отдельных частях не влечет за собою вредных последствий. 3) При наличии хорошего грунта в основа-



Фиг. 5.

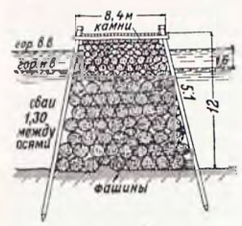
ции М. часто делаются в виде стенки с вертикальными или очень крутыми откосами, сложенной из правильной массивной кладки. Массивы достигают размеров 30—40 *м*³ и укладываются при помощи специальных кранов насухо с перевязкой швов, горизонтальными рядами. На фиг. 5 показано поперечное сечение Новороссийского мола. Для лучшего обеспечения сооружения от повреждений при различной осадке основания, к чему этот тип М. весьма чувствителен, кладку массивов иногда производят наклонными рядами под углом 60—80°. Такая кладка (фиг. 6) производилась при постройке М. в Ляраше (Larrasch). Подобное расположение слоев представляет преиму-

щества по сравнению с кладкой горизонтальными слоями: отдельные ряды могут свободно сползать один по другому, что при неравномерной осадке основания не нарушает монолитности сооружений; кроме того отдельные массивы оказываются прижатыми



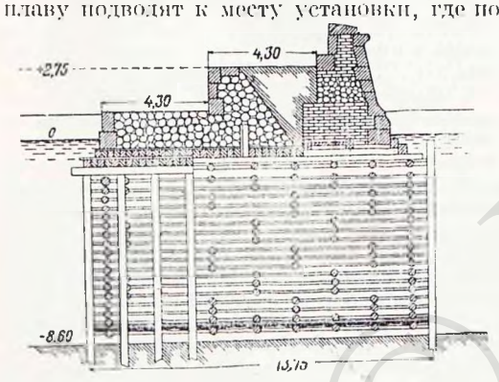
Фиг. 6.

друг к другу не только по плоскостям между слоями, но также и в швах между массивами одного и того же слоя. 4) В целях уменьшения количества материалов сооружаются т. наз. с в а й н ы е М., в которых наружные грани обделываются сплошными свайными рядами, а середина сооружения, составленная из отдельных свай, заполняется камнем, песком или фашинными тюфяками (фиг. 7).



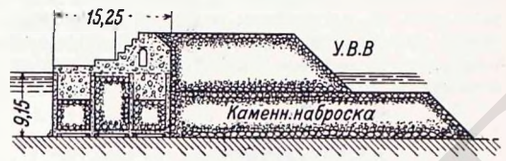
Фиг. 7.

Тип этот применим при небольших (до 7 м) глубинах и лишь в морях, где нет морского червя, разрушающего дерево. Деревянные сваи, образующие стенки этих М., м. б. замещены железобетонными, и тогда сооружение приобретает большую надежность, но стоимость в этом случае значительно возрастает. 5) В тех случаях, когда забивка свай затруднительна, оболочкой каменного заполнения мола служат деревянные срубы, образующие так наз. р я ж е в ы е молы. Такие срубы, размером до 7,5×10×20 м, из бревен или пластин рубят на берегу, спускают на воду и на плаву подводят к месту установки, где по-



Фиг. 8.

средством заполнения камнем погружают на дно, на подготовленную каменную подсыпку толщиной от 1,0 до 1,75 м или непосредственно на грунт основания. Внутри ряжи разбиты продольными и поперечными сквозными стенками на отдельные отсеки, внизу же на уровне третьего венца врубается пол, удерживающий каменную засыпку (фиг. 8). В этом примере в части ряжа, обращенной к гавани, забиты сваи для предохранения ряжа от сдвига. 6) Предыдущий тип ряжевых М. в своем развитии привел к получившему в настоящее время повсеместное применение типу М. из гигантских массивов. В этом случае ряжи заменяются железобетонными ящиками размером до 10—12 м в ширину и высоту и до 30 м в длину, заполняемыми после установки на место тощим бетоном или песком. Сами ящики внутри делятся наподобие ряжей на отсеки и подводятся к месту на плаву. После затвердения бетона внутри ящиков получаются монолитные массивы весом до 8 000—9 000 т, что дает сооружению большую надежность при простоте выполнения. Метод создания оградительных сооружений из массивов-гигантов (фиг. 9), очень удобный в смысле производства работ, получил в последние годы применение в разных странах (в Голландии, Франции, Африке и в Южной Америке), а также в СССР, где из них возведены М. и волнолом в Туапсе. Помимо вышеуказанных типов М. встре-



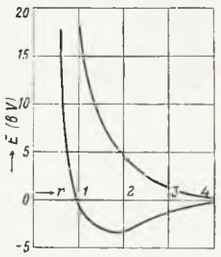
Фиг. 9.

чаются и другие, являющиеся смешанными конструкциями и имеющие местное значение. Расчет мола как инженерного сооружения является весьма сложным вследствие неопределенности воздействия на них внешних усилий, и история их существования дает примеры многочисленных разрушений и повреждений. Стоимость же мола весьма различна в зависимости от глубины заложения, конструкции и условий производства работ.

Лит.: К о р ч и н с к и й Л., Молы, 1915; Л я х н и ц к и й В. Е., Курс морских и речных портов, М.—Л., 1926; Н ю б е р г А. Г., Курс портовых сооружений, ч. 1—2, СПБ, 1893; К а н д и б а Б. Н., Об устройстве внешних оградительных сооружений из искусственных массивов, СПБ, 1901; S c h u l t z e F., Seehafenbau, B. 1—2. B., 1911—13; M o e l l e r M., Grundrisse d. Wasserbaues, B. 1—2, Lpz., 1906; B é n e z i t M., Cours de ports et travaux maritimes, t. 1—3. P., 1921—23; Q u i n e t t e d e R o c h e m o n t, Cours de travaux maritimes. t. 1—2, P., 1901; C u n n i n g h a m B., The Dock a. Harbour Engineer's Reference Book. 2 edition, London, 1923; The Welland Ship Canal, XV, «Engineering», London, 1930. v. 80, p. 637. **В. Медведев.**

МОЛЕКУЛА, минимальная частица вещества, способная к самостоятельному существованию при данных условиях темп-ры и давления и обладающая основными химическими свойствами, присущими данному веществу в большом количестве. Свойства тела обусловлены свойствами и расположением его молекул. Физически М. представляет собою агрегат атомов большей или меньшей степени сложности, от простейших о д н о а т о м н ы х М., какими являются М. *благородных газов* (см.) и М. большинства металлов (в состоянии пара), д в у х-, т р е х-а т о м н ы х (М. большинства простых газов) и до более сложных М., содержащих десятки и сотни атомов (М. орган. веществ). Обычно различают М. г о м е о п о л я р н ы е, или а т о м н ы е, и г е т е р о п о л я р н ы е, или и о н н ы е. Первые построены из электрически нейтральных атомов, вторые—из *ионов* (см.), т. е. заряженных атомов или групп атомов (радикалов). Вещества, состоящие из атомных М., отличаются отсутствием электролитич. проводимости, малой диэлектрической постоянной, заметной летучестью и т. д. Характерным признаком ионных М. являются, наоборот, электролитич. диссоциация соответствующих веществ в жидком состоянии или в растворе, большая диэлектрич. постоянная, склонность к образованию молекулярных комплексов—*ассоциация* (см.). Элементами кристаллических решеток этих веществ являются ионы. Гомеополярными веществами являются большинство газов, напр. H_2, O_2, N_2, и бо́льшая часть органич. соединений. Гетерополярны большинство к-т и их солей, в особенности галоидные соли щелочных элементов, а также вода, аммиак и т. д. Однако разделение веществ на гомео- и гетерополярные не всегда м. б. строго проведено. Целый ряд веществ помещается между этими классами, по одним признакам примыкая к гомеополярным веществам и по другим—к гетерополярным.

Внутреннее строение М. в основном напоминает строение атомов. Главной особенностью М. является наличие двух или нескольких ядер (если не рассматривать одноатомные М.). Благодаря этой особенности М. приобретает ряд новых свойств, отличных от свойств, присущих атому. На основании модельных представлений, развитых в теории строения атома (см. *Атомная теория*), можно трактовать всякую М. как некоторую пространственную конфигурацию положительно заряженных ядер, окруженных отрицательными зарядами—электронами. В атомных М. электроны располагаются симметрично относительно всех ядер. Асимметричное распределение электронов в ионной молекуле приводит к тому, что различные части ее получают противоположные заряды и М. оказывается п о л я р н о й. При образовании М. из атомов происходит перераспределение атомных электронов соответственно новому образованию—молекуле. В этом перераспределении принимают участие только внешние, или валентные, электроны атомов, которые образуют внешнюю электронную оболочку М., определяющую бо́льшую часть ее свойств и прежде всего оптич., химич. и электрич. свойства. Структура внешней электронной оболочки М. в основном аналогична структуре оболочек атомов. Этим и объясняется тот факт, что многие М. во многих отношениях аналогичны соответствующим атомам. Так, молекула CO аналогична Mg (ср. соединения CO_2 и MgO, и т. д.), молекула CN аналогична атому Cl (соединения C_2N_2 и Cl_2, HCN и HCl); способность органич. радикалов замещать соответствующие атомы также свидетельствует об аналогичной структуре их электронных оболочек. Количественный расчет той электрической системы, которую мы называем М., представляет однако пока непреодолимые математич. затруднения. Лишь в случае простейших М. оказалось возможным решение задачи, и то в первом приближении. На помещенной диаграмме приводится результат этого решения для случая М. водорода. Здесь на оси абсцисс отложено расстояние r между ядрами водорода, а на оси ординат—потенциальная энергия E молекулы (в V). Нижняя кривая, обладающая м и н и м у м о м энергии, отвечает устойчивому образованию, т. е. нормальной М. H_2, верхняя же кривая соответствует у п р у г о м у столкновению атомов ($E > 0$). Заметим, что подобные расчеты основаны на методах, развитых в в о л н о в о й м е х а н и к е, и только благодаря последней стали возможными. Впрочем это не относится к ионным М., представляющим в отношении их математич. расчета значительные преимущества, поскольку главная часть их энергии обусловлена кулоновским притяжением образующих их ионов. В случае простейших М.—



двухатомных—здесь оказалось возможным вычислить целый ряд молекулярных к о н с т а н т (см. ниже); в случае же более сложных М. удалось установить их размеры и форму. Так, в М. воды H_2O ионы H', H' и O'' располагаются в вершинах равнобедренного тр-ка, а в ионе CO_3'' углеродный ион C'''' помещается на перпендикуляре, восставленном из центра правильного тр-ка, в вершинах к-рого сидят ионы O'', и т. д.

В непосредственной связи со степенью асимметрии электронной оболочки М. стоит склонность М. к образованию б. или м. сложных молекулярных комплексов (ассоциация и комплексообразование). Степень асимметрии М. количественно характеризуется д и п о л ь н ы м м о м е н т о м (см. *Диполь* м о л е к у л я р н ы й). Полярные М., отличающиеся большим дипольн. моментом, взаимодействуют как магнитики. Поэтому именно этот класс М. должен обладать наибольшей склонностью к ассоциации (и вообще к комплексообразованию). Действительно известно, что такие вещества, как вода, спирты, кислоты и т. д., принадлежат к классу сильно ассоциирующихся веществ. Эта ассоциация проявляется в отклонении от газовых законов, от правила Трутона, в сильной адсорбируемости—поверхностной активности (см. *Капиллярные явления*, *Адсорбция*). Громадное значение для ассоциации и комплексообразования имеет п о л я р и з а ц и я (или деформация) электронных оболочек молекул, имеющая место при их сближении. Возникающий в результате поляризации и н д у ц и р о в а н н ы й электрический момент и способствует ассоциации. Поляризация особенно сильна в случае ионов, к-рые при нормальном давлении газа или в растворах являются сложными комплексами, возникшими в результате притяжения ионом им же поляризованных окружающих его М. Энергия, связанная с поля-

ризационными силами и с силами взаимодействия диполей, составляет обычно несколько тысяч cal на моль. Эта энергия имеет следовательно тот же порядок величины, что и теплота испарения. Это показывает, что силы, связывающие молекулы данного вещества в твердом и жидком состоянии, имеют одинаковое происхождение с силами, которые обусловливают ассоциацию. Сказанное однако имеет место лишь в случае веществ, кристаллизующихся в молекулярные решетки. В случае же веществ, образующих ионные кристаллические решетки, силы взаимодействия между конденсированными М. настолько велики, что М. теряют свою индивидуальность. В связи с этим теплота испарения и сублимации таких веществ значительно превышает теплоту ассоциации и выражается десятками тысяч cal на моль. Таковы напр. галоидные соли щелочных элементов.

Наряду с асимметрией весьма существенное значение для образования молекулярных соединений имеет степень замкнутости электронной оболочки М. Эта замкнутость осуществляется тем, что образующие внешнюю оболочку М., электроны группируются попарно, образуя замкнутые астатические системы (ряд фактов заставляет приписать электрону магнитный момент), не принимающие участия в валентной связи. Именно отсутствием замкнутости электронной оболочки М. объясняется тот факт, что все М. с нечетным числом электронов (т. наз. «нечетные» М.) являются химически ненасыщенными и особенно склонны к ассоциации. Таковыми являются М.: NO_2, ассоциирующиеся в $(NO_2)_2$; CN, существующие в обычных условиях в виде М. $(CN)_2$, $HgCl—Hg_2Cl_2$, $Na—Na_2$ и т. д. В связи с незамкнутостью электронной оболочки М. O_2, S_2, P_2 и т. д. стоит и факт существования М. O_3, O_4, S_6, S_8, P_4 и т. д. Впрочем М., ассоциированные вследствие незамкнутости электронных оболочек (N_2O_4, C_2N_2, P_4 и т. д.), должны быть скорее рассматриваемы как обыкновенные химич. соединения (характеризующиеся определенными стехиометрич. соотношениями); однако часто очень трудно провести грань между молекулярным и обычным соединением. Особенно разительный пример такой неопределенности имеем в М. O_4, теплота диссоциации к-рой на 2 O_2 составляет всего 130 cal на моль.

Одним из главных свойств М., отличающих ее от атома, является наличие (наряду с поступательным движением М. как целого) вращательного движения М. и колебательного движения ее частей. Колебательное и вращательное движение М. проявляется прежде всего в *теплоемкости* (см.) последней. Теплоемкость многоатомных газов всегда больше теплоемкости одноатомных, так как при нагревании первых нек-рая дополнительная часть энергии идет на возбуждение колебания и вращения. Согласно теории квантов на каждую степень свободы этих родов движения приходится количество энергии W (отнесенное к молю), равное

$$W = \frac{\frac{1}{2} N_0 h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \qquad (1)$$

где ν — частота колебаний (оборотов) вращающейся М., T—абс. температура, R—газовая постоянная, N_0—число Авогадро и h—постоянная Планка, равная $6{,}55 \cdot 10^{-27}$ эрг/ск. При малых значениях ν (1) переходит в $\frac{1}{2} RT$. Так как частоты вращения М. как правило малы, то величина $\frac{1}{2} RT$ с достаточной точностью может выражать соответствующую часть вращательной энергии М. Доля теплоемкости, отвечающая (1) или более простому выражению $\frac{1}{2} RT$, получается диференцированием по T. Что касается числа степеней свободы, то оно для вращательного движения равно числу i осей, вокруг к-рых М. может вращаться, и для колебательного — числу j частот собственных колебаний М. Т. о. для молярной теплоемкости (при постоянном объеме) получается следующее выражение:

$$C_v = \frac{3}{2} R + \frac{i}{2} R + \sum_j \frac{d}{dT} \frac{N_0 h\nu_j}{e^{\frac{N_0 h\nu_j}{RT}} - 1}. \qquad (2)$$

Во (2) ν_j обозначает одну из частот собственных колебаний М. Заметим, что для двухатомной М. $i = 2$ и $j = 1$.

Другой областью, где проявляются внутренние движения М., является область молекулярной спектроскопии. Благодаря наличию колебаний и вращения М. спектры последних (линейчато-полосатые) представляются значительно более сложными, чем сравнительно простые (линейчатые) спектры атомов. Анализ линейчато-полосатых молекулярных спектров позволяет с большой точностью определить такие важные величины, как частоты собственных колебаний ν, момент инерции I и теплоту диссоциации молекулы D. Две первых величины входят в химическую константу М. Кроме этих величин константами, характеризующими каждую данную М., можно считать ее диаметр (размеры), расстояние r между атомами в М., углы, определяющие форму М. и электрич. момент p М. Диаметр М. определяется из коэф-тов внутреннего трения или диффузии (газы), при помощи рентгеновского анализа (твердые тела) или из тонких мономолекулярных пленок на поверхности жидкостей, и имеет значения, колеблющиеся для разных веществ в пределах от 2 до 10 Å. Диаметр большинства М. неорганических веществ выражается числом, близким к 3 Å. Расстояние между атомами или отдельными группами атомов М. с большой степенью точности вычисляется из моментов инерции, определяемых оптич. путем, или из рентгенографических исследований. Так, для расстояния между атомами H в М. H_2O получается число 1,09 Å, а для расстояния между атомами O и H—0,87 Å. В М. CO_2 для расстояния между атомами O получается число 1,95 Å, а для расстояния между атомами C и O—0,96 Å, почти ровно вдвое меньше. На основании этих чисел заключают, что М. H_2O имеет форму тр-ка со сторонами 1,09 и 0,87 Å (две одинаковые стороны, ср. выше), а в М. CO_2 все три атома располагаются почти точно на одной прямой. Повидимому в связи с этим обстоятельством находится ничтожно малый электрич. момент М. CO_2. Аналогичные исследования внутримолекулярных расстояний в случае сложных органич. М. показывают, что атомы C здесь нередко располагаются на зигзагообразной линии, сохраняющей постоянные углы. Одним из методов определения электрического момента М. является метод, основанный на изучении зависимости диэлектрической постоянной от $t°$. Электрич. моменты μ большинства полярных молекул имеют значения, близкие к $1 \cdot 10^{-18}$ абсолютных электростатич. единиц, достигая однако в случае особенно асимметричных молекул величины от $4 \cdot 10^{-18}$ до $6 \cdot 10^{-18}$ [$C_6H_5NO_2$, $C_6H_4(NO_2)_2$, $CH_3C_6H_2(NO_2)_3$] и падая до нуля в случае симметричных М. Влияние асимметрии М. на ее дипольный момент ясно обнаруживается при последовательном замещении хлором атомов водорода в метане (CH_4) что видно из следующего:

Молекула	CH_4	CH_3Cl	CH_2Cl_2	$CHCl_3$	CCl_4
$\mu \cdot 10^{-18}$	0	1,97	1,59	0,95	0

Лит.: Кондратьев В. Н., Семенов Н. Н. и Харитон Ю. Б., Электронная химия, М.—Л., 1927; Кондратьев В. Н., Физич. и химич. свойства молекул, М.—Л., 1928; Лондон Ф., Теория квантов и химич. связь, «УФН», 1929, 9, вып. 2, стр. 167; Lewis G., Valence a. the Structure of Atoms a. Molecules, N. Y., 1925; Mecke R., Bandenspektra u. ihre Bedeutung f. die Chemie, B., 1929; Debye P., Polar Molecules, N. Y., 1929. **В. Кондратьев.**

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ РЕАКЦИИ, см. *Реакции химические.*

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ВЕС, относительная масса (вес) молекулы данного вещества (см. *Молекула*) по отношению к массе атома кислорода, принятой за 16,000. При этом М. в. водорода—относительная масса наиболее легкой молекулы—H_2=2,016. Понятие М. в. можно обобщить, распространив его на любую частицу, способную существовать отдельно; совокупность таких частиц характеризует физико-химическое состояние вещества. Так, многие вещества в жидком состоянии содержат двойные, тройные и т. д. (ассоциированные) молекулы (см. *Жидкости*). Такие же ассоциированные молекулы содержатся иногда и в парах. Отдельные частицы—мицеллы—в коллоидных растворах являются агрегатами, состоящими из большого числа молекул. Простейшими молекулами данного вещества являются при этом наименьшие из возможных составляющих его частиц, отвечающие его наиболее простой структурной ф-ле; наличие этих простейших молекул обнаруживается одним из методов определения М. в. (см. ниже), иногда при специально выбранных физич. условиях (напр. при высокой $t°$). Простейшие молекулы простых веществ одноатомны; таковы напр. молекулы металлов в парообразном состоянии и благородных газов. Молекулы других простых веществ, газообразных при обычных условиях, б. ч. двухатомны (H_2, O_2, N_2, Cl_2), но при высоких $t°$ диссоциируют на одноатомные. Реальные тела (жидкости, пары) следует рассматривать как систему из нескольких видов молекул, находящихся между собою в подвижном равновесии (см. *Равновесие физико-химическое*).

Методы определения М. в. можно разделить на суммарные, к-рые дают М. в. тела, т. е. средний вес отдельных образующих тело частиц (часто различных), и элементарные, дающие М. в. каждого вида частиц, содержащихся в теле. Только элементарные методы дают колич. представление о характере различн. частиц, образующих тело. В физико-химич. практике наиболее распространены суммарные методы определения М. в.; они вполне достаточны для тех случаев, когда тело практически содержит молекулы только одного вида; нек-рые из этих методов отличаются высокой точностью, позволяющей определять из полученных данных и точные атомные веса (физич. методы определения ат. в.). К суммарным методам относятся: 1) методы определения М. в. в газообразном (парообразном) состоянии, основанные на законе Авогадро (см. *Газ*); 2) осмотич. методы, дающие М. в. растворенных веществ и основанные на термодинамич. законах учения о разбавленных растворах; 3) кинетич. методы определения М. в.; к ним относятся измерения скорости истечения газов (т. н. эффузии), определение коэф-та диффузии (см. *Диффузия*) и метод ультрацентрифугирования, имеющий особенно большое значение для тяжелых молекул и коллоидных частиц; 4) определение среднего М. в. жидкости по изменению поверхностного натяжения с $t°$ (см. *Поверхностное натяжение*, *Капиллярные явления*, *Жидкости*).

1. Зная плотность пара вещества по отношению к водороду (D_H) или к воздуху (D_B) при данных условиях ($t°$, p) и считая пар идеальным газом, находим его М. в. (M) по формуле:

$$M = 2{,}016 D_H \quad (\text{или } M \cong 2 D_H). \qquad (1)$$

Т. к. плотность воздуха по отношению к водороду = 14,4, то

$$M = 28{,}95 D_B \quad (\text{или } M \cong 29 D_B); \qquad (2)$$

зная число Авогадро $N = 6{,}06 \cdot 10^{23}$ (число молекул в 1 *г*-мол.), находим абсолютную массу молекулы в *г*:

$$m = \frac{M}{N} = \frac{M}{6{,}06 \cdot 10^{23}}.$$

Из основной постоянной закона Авогадро—нормального молярного объема идеального газа $v_m = 22{,}416$ *л*/*г*-мол. (см. *Газ*) можно найти М. в., измерив объем v, занимаемый данной произвольной массой газа (пара) P при нормальных условиях:

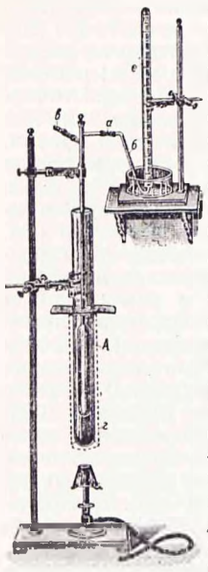
$$M = \frac{v_m}{v} \cdot P = \frac{22{,}4}{v} \cdot P; \qquad (3)$$

$\frac{P}{v} = g$ —вес 1 *л* газа при нормальных условиях. Т. к. условия «идеальности» газа или пара удовлетворяются далеко не строго, то ф-лы (1), (2), (3) дают, вообще говоря, только грубо приближенный М. в.; однако в большинстве случаев это оказывается достаточным, т. к. точный М. в. вычисляется затем по химич. формуле; предварительное же физическое определение необходимо чтобы решить, соответствует ли молекуле простейшая или кратная (двойная, тройная и т. д.) ф-ла. В случаях весьма точных измерений М. в. газов, напр. когда ими пользуются для определения основных ат. в. (O, N, H и др.—

работы Гюи, Ледюка, Морлея и др.),—во все ф-лы вводятся поправки на уклонение газа от идеально-газовых законов; например вместо ф-лы (3) получаем:

$$M = \frac{22{,}416}{1+\lambda} \cdot g \qquad (4)$$

(т. к. 22,416 $л$ данного реального газа содержат при нормальных условиях не 1, а $1+\lambda$ $г$-мол.; поправка λ определяется из уклонений от идеально-газовых законов). Т. о. определение М. в. паров сводится к решению газометрической задачи и осуществляется одним из следующих способов (при $t = \text{Const}$): а) P определяется взвешиванием данного объема пара v под данным давлением p (метод Дюма, точное определение веса 1 $л$ газа при нормальных условиях). б) Даны p, P, определяется v—наиболее общепринятый метод определения плотности паров В. Мейера; v измеряется по объему вытесненного воздуха, см. фиг. Главную часть прибора составляет стеклянный сосуд A, имеющий вверху отверстие для введения ампулы с испытуемым веществом, газоотводную трубку $аб$ и приспособление $в$ для опускания ампулы на дно сосуда (стеклянная палочка, укрепленная подвижно); нижняя часть сосуда окружена обогревательной оболочкой $г$. Навеска испытуемого вещества в ампуле помещается на палочку; сосуд A нагревают до постоянной $t°$, после чего выдвиганием палочки заставляют ампулу упасть на дно сосуда, где она разбивается. Вещество, испаряясь, вытесняет равный объем воздуха через трубку $б$ в сосуд $е$, где его и измеряют. в) Даны v, P, определяется p (метод Гей-Люссака—Гофмана); для этой цели очень удобен прибор Блекмана, в к-ром в стеклянную трубку с навеской данного вещества занавается градуированный капилляр, закрытый с одного конца находящимся в нем ртутным столбиком. При помещении трубки в термостат вещество переходит в пар при данной $t°$, и давление, производимое им, легко вычисляется прямо по перемещению ртутного столбика в капилляре, т. е. по сжатию объема воздуха, заключенного в капилляре.



2. Осмотические методы основаны на том, что, как показывает термодинамич. теория растворов, понижение $t°_{зам.}$ и повышение $t°_{кип.}$ в слабых растворах пропорциональны концентрации, т. е. числу отдельных частиц (молекул, ионов) в единице объема; при расчете на 1 молекулу (т. е. 1 $г$-мол.) они не зависят от природы растворенного вещества и характерны для данного растворителя (см. *Криоскопия*). Для коллоидных растворов напр. осмотич. давление и величины депрессии очень малы, что указывает на весьма высокий М. в. их частиц (доходящий до 10 000—100 000).

3. М. в. газов и паров, как и плотность их, можно определить по скорости V истечения газа из малого отверстия в тонкой пластинке, так как скорость эта обратно пропорциональна $\sqrt{D}$ или $\sqrt{M}$ (Бунзен):

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{V_2^2}{V_1^2}.$$

На этом принципе основан аппарат Шиллинга для определения плотности светильного газа. Таким же образом меняется с М. в. и скорость диффузии газов, на чем основан метод разделения изотопов в газообразном состоянии [напр. хлора—Гаркинс (Harkins)]. Интересным новым кинетич. методом определения М. в. коллоидно растворенных веществ является метод ультрацентрифугирования, введенный Сведбергом и его учениками (1924). Центрифугируемая со значительной скоростью плосконараллельная кювета кинематографируется при прохождении через определенное положение на окружности вращения. Полученный фильм, дающий ряд последовательных состояний седиментирующего под действием центробежной силы коллоидного раствора через одинаковые промежутки времени, микрофотометрируется, что дает концентрацию коллоидных частиц на любой высоте сосудика. Определяя отношение этих концентраций C_1, C_2 для любых двух высот h_1, h_2, получаемое после долгого центрифугирования в результате достижения седиментационного равновесия, т. е. равновесия между центробежной силой и диффузионными силами, находим М. в. по формуле:

$$M = \frac{D_1}{D_1 - D_2} \cdot \frac{RT}{\omega^2} \cdot \frac{\ln \frac{C_1}{C_2}}{\left(\frac{h_1+h_2}{2}\right)\left(h_2-h_1\right)},$$

где ω — угловая скорость вращения, а D_1 и D_2 — соответственно плотности коллоидных частиц и растворителя. Аналогично можно определять М. в. также и по диффузионным измерениям.

Основным «микромстодом» — элементарным методом определения М. в., позволяющим измерять массы отдельных заряженных частиц (атомов и их групп), является метод Дж. Дж. Томсона, усовершенствованный Астоном в форме массового спектрографа, дающего возможность с большой точностью определять $\frac{e}{m}$ (отношение заряда к массе), а следовательно и массу m положительно заряженных частиц, образующих каналовые (анодные) лучи; см. *Изотопы*. Этим методом были определены ат. в. отдельных изотопов. Для водорода т. о. были измерены массы молекул $H_2 = 2{,}012 \div 2{,}018$ и $H_3 = 3{,}025 \div 3{,}027$ (считая $C'' = 6$).

Лит.: Менделеев Д. И., Основы химии, 9 изд., т. 1—2, М.—Л., 1927—28; Смит А., Введение в неоргапич. химию, пер. с 3 нем. изд., под ред. с доб. А. В. Раковского, вып. 1—2, М.—Л., 1929; Вознесенский С. А. и Ребиндер П. А., Руководство к лабор. работам по физич. химии, М.—Л., 1928; Ребиндер П. А., Об ультрацентрифуге Сведберга, «УФН», 1926, т. 6, вып. 4—5, стр. 397; Бирон Е. В., Учение о газах и жидкостях, М.—П., 1923; Астон В. Ф., Изотопы, пер. с англ., М.—П., 1923; Handb. d. Arbeitsmethoden in d. anorgan. Chemie, hrsg. v. A. Stähler, B. 3, Hälfte 1, B.—Lpz., 1913; Houben J.—Weyl T., Die Methoden d. organ. Chemie, 3 Aufl., B. 1, Lpz., 1925; Arndt K., Handb. d. phys.-chem. Technik, 2 Aufl., Stg., 1923; Svedberg T., «Kolloid-Ztschr.», Dresden, 1930, B. 51; Alexander J., Colloid Chemistry, v. 1—Theory a. Methods, N. Y., 1926; Morley, «Ztschr. für phys. Chem.», Lpz., 1896, B. 20, p. 1, 68, 242, 417; Guye Ph. A., «Journ. de Chimie phys.», Paris, 1907, t. 5, p. 203, 1908, t. 6, p. 769, 1910, t. 8, p. 222; Berthelot D., «CR», 1907, t. 144, p. 76, 194, 269, 145, 317; Beckmann, «Ztschr. für phys. Chemie», Leipzig, 1888, B. 2, p. 638, 715, 1901, B. 51, p. 337, B. 53, p. 130; Blackmann Ph., ibid., 1908, B. 63, p. 48, 381, 635, 1909, B. 65, p. 549; Thomson J. J., Rays of Positive Electricity a. Their Application to Chemical Analysis, 2 ed., L., 1921; Aston, «Nature», L.—N. Y., v. 104, p. 334—393.

П. Ребиндер.

МОЛЕСКИН, чортова кожа, хл.-бум. ткань, напоминающая по внешнему виду демикотон. По своему строению М. принадлежит к видоизмененному сатиновому переплетению (фиг.) и относится к группе уточно-настилочных (сукновидных) тканей. Из всех одежных товаров М. является самым распространенным хл.-бум. изделием. М. имеет важное экономич. значение как недорогая, прочная и теплая ткань из группы хл.-бум. изделий, благодаря чему фабрикация его из года в год усиливается. М. выпускается на рынок или начесанным или только отделанным (окрашенным). Начесывание (т. н. ворсование) М. производят или с одной лицевой поверхности или же с обеих сторон ткани. Чтобы начес был ровный по всей поверхности, его подстригают на специальных машинах. По окончании означенных операций и дальнейших—крашения и аппретирования—М. получает подобие сукна, вследствие чего ему присваивается название М.-сукно. В отделке М. красится в различные цвета, преимущественно в черный, кубовый и коричневый. М. также отбеливается и идет на кителя. В ряде основных признаков доброкачественности существенную роль играет прочность крашения ткани, к-рая не должна линять от воды и выгорать на свету. М. вырабатывается по тонкой основе равным утком и в зависимости от сорта выпускается различной степени плотности и тонины. М. ровный вырабатывается шириною в 71 *см*. Основа берется № 24, уток № 20; плотность по основе 64, а по утку 110—140 нитей на 1 дм. М. тонкий вырабатывается шириною в 71 *см* при №№ пряжи—основы 24 и утка 30, с плотностью 64 нити по основе и 160 нитей по утку в 1 дм. М. угарный выпускается шириною 71—142 *см*. Основа берется № 24, а уток № 6—№ 8, при плотности по основе 58, а по утку 62—88 нитей на 1 дм. М.-сукно вырабатывается шириною в 71 *см*, при основе № 24 и утке № 12 с плотностью по основе в 58, а утку 104 нити на 1 дм. Работается молескин в 5, 6 и 7 ремизок при проборке 1 нити в галю и 2 нитей в зуб берда.

С. Молчанов.

М. в полиграфии, плотная ткань для оклейки переплетов, требующих особой прочности в употреблении,—напр. переплетов конторских и разносных книг. См. *Переплетное производство* и *Ткани технические*.

МОЛИБДЕН, Mo, химич. элемент VI группы периодич. системы, ат. вес 96,0, ат. номер 42; аналог Cr и W, образующий вместе с ними подгруппу (триаду).

Физические свойства. М.—серебристо-белый металл; уд. вес 10,02—10,32; твердость чистого М. по Мосу—5,5. Сопротивление его на разрыв зависит от микроструктуры и от характера обработки и меняется в пределах 70—220 *кг/мм²*; с повышением $t°$ обработки креность М. уменьшается и для $t°$ около 1 000° достигает минимального значения. Относительное удлинение меняется в зависимости от $t°$ обработки: для проволоки, протянутой при $t°$ между 0 и 100°, оно достигает максимума (10—18%), при более горячей обработке снижается и для $t°$ около 1 000° приближается к нулю; отжиг проволоки увеличивает относительное удлинение; физич. структура (размеры зерна) также оказывает на него влияние. Поперечное сжатие несколько увеличивается с возрастанием $t°$ обработки и с укрупнением зерна. Твердость по Бринелю для неотожженного М. равна 160—185. Коэф. сжимаемости равняется $(0{,}34 \div 0{,}47) \cdot 10^{-6}$ *см²/кг*; удельн. теплоемкость в пределах 20—930° равна $0{,}065 \div 0{,}076$ cal/*г*. Средний коэф. лин. расширения М. для $t°$ 25—100° равен $4{,}9 \cdot 10^{-6}$; для 25—500°—$5{,}5 \cdot 10^{-6}$. Удлинение в пределах $t°$ 0÷400° может быть найдено по формуле: $\Delta l = 0{,}510\, t + 0{,}0124\, t^2$. Вполне чистый молибден по наиболее точным определениям имеет $t°_{пл.}$ от 2 620° ± 10° до 2 840° ± 40°; на практике обычно принимают значение $t°_{пл.}$ 2 570°; $t°_{кип.}$ М. равна 3 650 — 3 700°. Теплота горения ($Mo \rightarrow MoO_3$) на $г$-атом М. равна 166 ÷ 181,5 Cal. Электрическое сопротивление М. для неотожженной проволоки (при 25°) равно $5{,}6 \cdot 10^{-6}$ Ω-*см*, для отожженной—$4{,}8 \cdot 10^{-6}$ Ω-см; его $t°$-ный коэф. α (при 20—100°) = $4{,}73 \cdot 10^{-3}$. Сопротивление в пределах 0 ÷ 2 200° выражается формулой: $\varrho = (44 + 0{,}177\, t + 0{,}000053\, t^2) \cdot 10^{-7}$ Ω-*см*; соответственные величины ϱ приведены ниже в таблице.

Удельное сопротивление М. при различных $t°$ и Ω-см.

$t°$	$\varrho \cdot 10^{-6}$	$t°$	$\varrho \cdot 10^{-6}$
−192	1,041	800	21,93
0	4,10	1 000	27,37
100	6,204	1 200	33,23
200	8,07	1 400	39,5
300	9,99	1 600	46,2
400	11,95	1 800	53,35
600	16,91	2 000	60,9

Сопротивление 1 *м.* *м* проволоки из М. при 20° равно 0,0478 Ω-*мм²*. Удельн. электропроводность при 0°=22,7 · 10⁴ мо. Термоэдс для спая Mo-P при $\Delta t°$ 0—100° достигает 1,26 mV; для спая Mo-W при $\Delta t° = 540°$—12,5 mV. Молибден парамагнитен; его уд. магнитная воспримчивость χ при $18° = +0{,}04 \cdot 10^{-6}$.

Химические свойства. На воздухе Mo окисляется медленно уже при обыкновенной $t°$; с повышением $t°$ процесс ускоряется, и при 600° Mo сгорает быстро в трехокись MoO_3. Конц. к-ты, а также плавиковая к-та и растворы щелочей на Mo не действуют; при 200—250° конц. H_2SO_4

быстро растворяет Mo, выделяя SO_2 и переводя Mo в низший окисел. Царская водка растворяет Mo при обыкновенной $t°$. С галоидами Mo реагирует—с F уже при обыкновенной $t°$, с Cl—при $t°$ красного каления, с Br—при $t°$ белого каления.

Переработка руд. В технике для получения металлического М. пользуются главн. обр молибденитом, MoS_2 (см. *Молибденовые руды*). Все методы обработки имеют конечной целью получить из руд трехокись молибдена, MoO_3. Для этой цели м. б. применены следующие операции: 1) обжиг руды, 2) электролиз, 3) хлорирование и 4) разложение щелочами мокрым или сухим путем. На практике применяется почти исключительно о б ж и г. Для этой операции берется концентрат, измельченный и просеянный через сито с 200 отверстиями на 1 пог. дм. К концентрату добавляют кварцевый песок, так как руда по мере окисления уплотняется в комки, что препятствует ее полному окислению; по той же причине не следует производить очень мелкий размол концентрата. Смесь рудного помола с песком нагревают до 600° при обильном доступе воздуха. Окисление сопровождается саморазогреванием; чрезмерный перегрев ведет к частичному улетучиванию MoO_3 и к спеканию руды (в особенности—содержащей Cu и Fe). Конец обжига определяют растворением пробы в щелочи: по количеству оставшихся блесток MoS_2 судят о полноте окисления. Конструкция печей, применяемых при обжиге MoS_2, должна удовлетворять след. требованиям. Печь должна иметь такую систему обогрева, чтобы возможно было легко регулировать $t°$ и даже быстро прекращать топку. Воздух должен поступать в окислительное пространство так, чтобы по пути он не смешивался с топочными газами и чтобы приток его можно было регулировать или совсем прекратить. Регулировка нагревания и подачи воздуха должны быть устроены отдельно друг от друга, т. к. при наступившем окислении дальнейшего нагрева не требуется. Печь строится муфельного типа (квадратного или полуцилиндрического сечения) с плоским подом для засыпки руды. В печах большой производительности устраивают механич. приспособление для удаления обожженной руды. Отходящие газы должны проходить через промывное устройство или через конденсационную камеру для улавливания испарившегося MoO_3. При процессе обжига выделяются SO_2 и SO_3, а также мышьяк в виде As_2O_3. Летучесть MoO_3 при высоких $t°$ послужила основанием к получению MoO_3 из руды методом возгонки. Для этого руду измельчают в крупку, проходящую через сито с 8 отверстиями на пог. дм. и нагревают при $t°$ выше 790° в атмосфере, содержащей избыток кислорода; образовавшаяся MoO_3 улетучивается, конденсируется в виде пыли и улавливается в мешки из плотной ткани. Для предупреждения спекания руды к ней примешивают кварцевый песок или жженую известь. Получаемая MoO_3 содержит примесь As и Bi.

Электролитическая обработка MoS_2. Превращение MoS_2 в MoO_3 путем окисления на аноде предлагалось неоднократно, но пока не получило промышленного применения; оно может проводиться либо в кислом либо в щелочном растворе. При кислом процессе измельченную руду замешивают с разбавленной серной к-той в тесто и на пластинчатом аноде, расположенном горизонтально, подвергают действию тока в электролите из разбавленной серной к-ты: катод из кислотоупорного металла располагают сверху; электролиз ведется при напряжении 5—7 V, плотности тока 0,2 А/дм.² и $t°$ электролита 90°; при этом MoS_2 окисляется в нерастворимую MoO_3, а Fe и Al переходят в раствор; вместе с MoO_3 осаждается и SiO_2; поэтому для очистки MoO_3 ее растворяют в аммиаке. При щелочном процессе руду замешивают в тесто со щелочью и укладывают на плоский анод, изготовленный из никеля или из сплава никеля с 12% М.; электролитом служит 25%-ный раствор NaOH; в этом случае образующаяся MoO_3 растворяется в электролите, что же касается Fe и SiO_2, то они остаются в анодном шламе.

Разложение MoS_2 хлорированием. При этом способе MoS_2 прокаливается в токе воздуха, смешанного с газообразным HCl; в результате получается хлоргидрат $MoO(OH)_2Cl_2$, к-рый сублимируется. Реакция эта м. б. проведена в закрытой подовой печи; указанным методом можно обрабатывать бедные молибденовые руды при условии, что пустая порода руды не образует летучих окислов или хлоридов при $t°$ реакции. Имеются также патенты на способ хлорирования руд током чистого хлора при $t°$ ок. 800°; в первой фазе процесса Mo превращается в хлорид или в хлорокись, к-рые затем расщепляются водяным паром на MoO_3 и HCl.

Обработка MoS_2 щелочами м. б. применена как к сырой руде, так и к предварительно обожженной. В первом случае размолотый концентрат смешивают с углекислыми или едкими щелочами, нагревают в печи с перемешиванием выше $t°_{пл.}$ смеси и продувают через плав смесь воздуха и водяного пара. В результате получается плав, содержащий молибдат щелочного металла; его измельчают и выщелачивают водой. Этот метод технически мало пригоден. Более удобным является следующий путь: MoS_2 хорошо обжигают и, смешав с кальцинированной содой, нагревают в печи при $t°$ темнокрасного каления; образуется полужидкий плав, содержащий щелочной молибдат или димолибдат; его сливают в железные ящики, охлаждают, размалывают и обрабатывают горячей щелочью в железных сосудах. По Fernet, необожженную руду смешивают с содой, небольшими порциями вносят в печь и плавят; когда печь наполнится, плав окисляют прибавкой нитрита натрия в смеси с известью, вводимой для связывания SiO_2. Плав тонкой струей выливают в слабый раствор щелочи. Другие авторы предлагают сплавлять обожженный MoS_2 с содой и NaCl (или NaF, $CaCl_2$, CaF_2), прибавляя к смеси окисляющие средства в виде $NaNO_3$ или $NaClO_3$. Кроме указанных методов сплавления со щелочами существует метод щелочной обработки руды мокрым путем; он применяется тогда, когда молибденовый блеск содержит мало железа, и особенно при использовании бедных руд. Для этого обожженную руду обрабатывают при нагревании крепким раствором кальцинированной соды или замешивают ее в пасту с раствором едкой щелочи и нагревают: образуются щелочные молибдаты, растворимые в воде. В настоящее время получаемые из руды щелочные молибдаты нередко переводят в молибдат кальция (осаждая его из раствора кальциевыми солями или известью при нагревании), т. к. эта соль непосредственно применяется при выплавке молибденовой стали. Полученный молибдат кальция (см. *Молибдена соединения*) для применения в металлургии освобождают от воды и углекислоты прокаливанием. Германские з-ды запатентовали следующий метод: руду с основными присадками обжигают в печи при окислении воздухом, затем нагревают с добавкой соды и кремнезема до спекания и после того сплавляют с сернистой щелочью; обрабатывая плав водой, получают в растворе молибдат натрия. Можно также непосредственно прокаливать в печи смесь руды с сернистой щелочью. Обработку руд, содержащих медь, по Мансфельду, следует производить с прибавкой железа, т. е. связывать Mo в виде молибдата Fe. Кроме молибденового блеска в переработку на М. иногда поступает вульфенит ($PbMoO_4$); попутно из него получают свинец и цен. благородные металлы; обработка этой руды ведется обычно щелочным способом (выщелачивание раствором Na_2S при нагревании).

Получение металлического М. Чистый М. получают обычно из трехокиси MoO_3, приготовляемой прокаливанием молибденовых солей. MoO_3 восстанавливают водородом; процесс аналогичен применяемому

при изготовлении *вольфрамовой проволоки* (см.); при этом получается наиболее чистый металл (99,95% Mo); этот способ применяется наиболее часто в США. Существует также метод получения чистого М. восстановлением MoO_3 металлич. кальцием; для этого смешивают тонкие опилки кальция (в двойном количестве против теоретического) с MoO_3, помещают в железную трубку, с одного конца заваренную, с другого закрытую крышкой с краном, и для начала реакции подогревают; по окончании восстановления спекшуюся массу извлекают из трубки, измельчают, избыток кальция удаляют водой, а оставшийся М. промывают уксусной к-той; окончательно его очищают промывкой ацетоном и нагреванием в вакууме. М. получают также алюминотермической переработкой MoO_3, которая дает продукт, свободный от углерода, но с примесью небольшого количества SiO_2 и от 1 до 2% железа.

Применение. Металлич. М. получил применение главным образом в производстве специальных видов стали (на что расходуется более 90% всего добываемого М.). Война 1914—18 гг. особенно выдвинула требование на специальные металлы, необходимые для изготовления брони, бронебойных снарядов, оружия, автомобильных и аэропланных частей, постоянных магнитов и частей котлов высокого давления. Инструментальная сталь, приготовленная с добавлением М., менее хрупка, чем вольфрамовая сталь, и лучше выдерживает холодную обработку. Обычно М. добавляют к стали в виде железной или марганцевой лигатуры (с 50—75% Mo) или в виде молибдата кальция. Мостовые фермы из молибденовой стали с годами становятся тверже, так что с трудом берутся сверлом. Молибден, сплавленный с вольфрамом, дает сплав, который может служить заменителем платины. Новый кислотоупорный сплав состоит из 35% Fe, 65% Cr и 5% Mo. Сплав М. с хромом и кобальтом, т. н. с т е л л и т, применяется для изготовления инструментов высокой твердости. Тройной сплав состава: 30÷35% Cr + 60÷65% Ni + 2÷5% Mo с небольшой прибавкой Ag нерастворим даже в царской водке и может служить для изготовления химич. аппаратуры (о сплавах М. подробнее см. *Спр. ТЭ*, т. II). В электротехнике М. применяется в аппаратах, имеющих накаленный катод,—гл. обр. в электронных лампах; раньше он служил также материалом для нитей калильных ламп. При изготовлении пирометров для высоких $t°$ применяется сплав из 75% W + 25% Mo, имеющий $t°_{пл.}$ выше 3 000°; этот сплав в термопаре с W пригоден для измерения темп-р до 2 700° (см. *Магнитные материалы*). Производство изделий из чистого М. выполняется по методам, применяемым при производстве *вольфрамовой проволоки* (см.) и отличается только $t°$-ным режимом. Кроме того в электротехнике, зубоврачебном и ювелирном деле в последнее время стали заменять дорого стоющую платину металлическим М. Наконец М. входит в состав некоторых катализаторов, применяемых в техническом синтезе аммиака из элементов.

Лит.: К р и т с к и й В. В., Вольфрам и молибден в электроламповой промышленности, «МС», 1927, 2; B o r d o J. A., Molybdän, «Metallwirtschaft», Berlin, 1928, B. 7, 3; E a r l d l e y-W i l m o t V. L., Molybdenum Metallurgy, Uses and the Occurence, Mining a. Concentration of Its Ores, Canada, Ottawa, 1925; P o k o r n y E., Molybdän, Monographien über chem.-techn. Fabrikationsmethoden, hrsg. v. Wohlgemuth, Halle a/S, 1927, B. 40; K i s s o c k A., Molybdenum, Mineral Industry during 1926, New York, 1927; Molybdenum an American Metal for Alloy-Steel, «Engineering a. Mining Journal, New York, 1928, v. 125, 9; P h i l l i p s o n B. F., Molybdenum, ibid. 1928, v. 125. **Т. Алексеенко-Сербин.**

МОЛИБДЕНА СОЕДИНЕНИЯ отличаются чрезвычайным разнообразием; в основе этого лежит способность Mo в широких пределах менять свою валентность (от 2 до 6), образовывать тяжелые молекулы с большим числом атомов Mo и наконец резко выраженная склонность Mo к комплексообразованию. Известны соединения двух- (?), трех-, четырех-, пяти- и шестивалентного Mo; из них наиболее важными являются производные Mo^{VI} — кислотный окисел MoO_3, молибденовые кислоты и соли этих кислот. Молекулярная структура М. с. определена с достоверностью лишь для некоторых наиболее простых по составу представителей.

Окислы Mo и их гидраты. Окислы Mo образуют следующий ряд: MoO(?), Mo_2O_3, MoO_2, Mo_2O_5(?), MoO_3. Они довольно легко переходят друг в друга при реакциях окисления и восстановления; кроме того они способны к сочетанию между собою, с образованием более сложных окислов. Д в у о к и с ь м о л и б д е н а, MoO_2 — бурый порошок или красно-фиолетовые металлически-блестящие кристаллы моноклинной системы, нерастворимые в воде. Уд. в. 4,5—6,4. Вещество неплавко и нелетуче при высоких $t°$; щелочи и к-ты (за исключением HNO_3) не действуют на него даже при нагревании. При накаливании на воздухе или кипячении с азотной кислотой MoO_2 окисляется в MoO_3. Для получения MoO_2 исходят из трехокиси MoO_3 (см. ниже), которую восстанавливают в токе чистого водорода при $t°$ не выше 500°, либо же из молибдата аммония — многочасовым сплавлением его с поташом и борной к-той, после чего растворимые вещества удаляют выварной плава в воде. MoO_2 применяется для получения металлического молибдена (электролитич. или алюминотермич. путем, либо восстановлением цинком или кальцием); вследствие нелетучести MoO_2 эти высокотемпературные процессы протекают (в противоположность MoO_3) без потерь Mo. Предлагалось также применять MoO_2 для изготовления калильных нитей электроламп и как катализатор в органич. синтезах.

Т р е х о к и с ь м о л и б д е н а, молибденовый ангидрид, MoO_3, часто называемый также молибденовой кислотой,—наиболее устойчивое и технически важное из М. с. Безводный MoO_3—белый или желтоватый порошок, жирный наощупь; уд. вес 4,4; $t°_{пл.}$ 795°; из расплавленного состояния кристаллизуется в ромбич. иглах, уд. вес 4,7; при сильном накаливании возгоняется. Растворимость MoO_3 в воде незначительна: при 15°—0,2 ч., при 80°—0,5 ч. в 100 ч. H_2O; растворы имеют кислую реакцию, вследствие перехода MoO_3 в соответствующие гидраты со свойствами к-т. MoO_3 растворяется в едких ще-

лочах с образованием молибдатов; в к-тах безводная (прокаленная) MoO_3 нерастворима, гидратные формы растворимы. При восстановлении MoO_3 цинком или магнием в кислом растворе образуется полуторная окись молибдена, Mo_2O_3, черного цвета; восстановление водородом при нагревании дает MoO_2 и далее металлич. Mo; при действии хлора на MoO_3 получаются хлорокиси. MoO_3 образует многочисленные гидраты, из которых лишь немногие изучены. Дигидрат состава H_4MoO_5 (или $MoO_3 \cdot 2\,H_2O$) образуется в виде желтого кристаллич. осадка при долгом стоянии растворов молибдата аммония. В вакууме или при нагревании с водой до 70° он теряет 1 молекулу H_2O и переходит в моногидрат—нормальную молибденовую кислоту, H_2MoO_4 (или $MoO_3 \cdot H_2O$), кристаллизующуюся в мелких бесцветных иглах, мало растворимых в холодной воде и заметно растворяющихся в горячей. Кроме этого MoO_3 дает целый ряд полимолибденовых кислот общего вида $x\,MoO_3 \cdot y\,H_2O$. Из растворов молибдатов при подкислении и осторожном выпаривании получается коллоидальная молибденовая к-та—аморфная гигроскопич. масса, легко растворимая в воде. Продажная молибденовая к-та (техническая) также является гидратной формой и кроме того почти всегда содержит аммиак; ее состав чаще всего отвечает формуле $NH_3 \cdot 3\,MoO_3 \cdot 0{,}5\,H_2O$; под названием чистой молибденовой кислоты выпускается обычно ангидрид MoO_3. Молибденовая кислота легко образует комплексные соединения с другими кислотами, например фосфорной (см. ниже), мышьяковой, борной, органич. оксикислотами и т. д. При действии перекиси водорода на молибденовую к-ту образуется надмолибденовая кислота, $H_2Mo_2O_8$, дающая раствор темнооранжевого цвета, из к-рого выпариванием в вакууме м. б. получен твердый кристаллогидрат, $H_2Mo_2O_8 \cdot 4\,H_2O$, разлагающийся при нагревании выше 100°.

Получение MoO_3 является промежуточной операцией при переработке молибденовых руд (гл. обр. молибденита MoS_2) на металлич. Mo или на молибдаты (см. *Молибден*). Переработка высокопроцентных концентратов MoS_2 относительно проста и сводится к следующим операциям: руду подвергают окислительному обжигу ($MoS_2 \rightarrow MoO_3$), затем растворяют при нагревании в избытке аммиака, прибавляют $(NH_4)_2S$ для осаждения примеси тяжелых металлов, фильтруют, упаривают и кристаллизуют т. н. парамолибдат аммония, $3\,(NH_4)_2MoO_4 \cdot 4\,MoO_3 \cdot 4\,H_2O$; последний очищают повторной кристаллизацией и разлагают азотной к-той или нагреванием до 600—700°. При более бедных рудах, сильно загрязненных посторонними металлами, методика производства усложняется. В этих случаях выгоднее применять кислую обработку руды—выпаривание с конц. серной к-той или, еще лучше, сплавление с бисульфатом натрия ($NaHSO_4$); для связывания SiO_2 добавляются Ca-содержащие флюсы. Плав измельчают, выщелачивают избытком воды и выпаривают досуха с добавкой HNO_3. Для более полной очистки сырую MoO_3 снова переводят в MoS_2 (действием Na_2S), обжигают, прокаливают в смеси с NH_4Cl и HCl (удаляется мышьяк в виде $AsCl_3$) и промывают водой. Молибденовую к-ту, свободную от NH_3, готовят через молибдат калия, который затем разлагают азотной к-той. Химически чистый препарат MoO_3 получается прокаливанием многократно перекристаллизованного молибдата аммония. Почти вся добываемая MoO_3 расходуется в производстве металлического молибдена и солей молибденовой к-ты. Сама молибденовая к-та (гидратная форма) была предложена как катализатор при синтезе альдегида из ацетилена.

Синяя окись молибдена, молибденовое индиго—продукт непостоянного состава, образующийся при обработке растворов или суспензий молибденовой к-ты восстановителями или при нагревании MoO_3 в автоклаве с водой и металлич. Mo. Темно-синий, почти черный порошок, в воде легко дающий коллоидные растворы; средний состав его отвечает ф-ле $Mo_2O_5 \cdot 3\,MoO_3 \cdot 6\,H_2O$. Готовится обычно нагреванием молибдата кальция с конц. HCl до растворения соли и прибавлением тростникового сахара или глюкозы к кипящему раствору. Чистая коллоидная форма получается из молибдата аммония обработкой H_2S и диализом; она осаждается электролитами, но легко растворяется снова в чистой воде. Щелочами и конц. серной к-той синяя окись разрушается; при нагревании выше 100° она распадается на MoO_2 и MoO_3 и вновь образуется из них при охлаждении. Синяя окись Mo применяется как керамич. краска и как пигмент для резины; ранее применялась в качестве красителя для тканей (молибденовый синий, минеральное индиго). Кроме того как синяя окись, так отчасти и другие окислы молибдена (MoO_3 и MoO_2) могут служить окислительными, дегидрирующими и дегидратирующими катализаторами; техническое использование их возможно при синтезе синильной кислоты, при получении аминов из спиртов и т. д.

Фосфорномолибденовая кислота $H_3PO_4 \cdot 12\,MoO_3 \cdot 12\,H_2O$, желтые кристаллы правильной или ромбич. системы, $t°_{пл.}$ 140°; растворима в воде и в эфире; трехосновная к-та. Для ее получения растворяют молибдат аммония в разбавленной HNO_3 и осаждают раствором аммонийфосфата; выпавший осадок фосфорномолибденовокислого аммония обрабатывают раствором соды, выпаривают досуха, прокаливают и кристаллизуют из воды. Вследствие способности давать осадки с алкалоидами, эта к-та (азотнокислый раствор) служит в анализе реактивом для открытия алкалоидов, а в фармацевтич. промышленности—для их выделения и очистки.

Соли молибденовых кислот (молибдаты) могут отвечать как нормальной к-те H_2MoO_4, так и всем остальным гидратным формам. Продажный молибденовокислый аммоний является солью полимолибденовой кислоты и имеет обычно состав парамолибдата $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4\,H_2O$ (или $3\,(NH_4)_2MoO_4 \cdot 4\,MoO_3 \cdot 4\,H_2O$). Крупные, устойчивые на воздухе призматич. кристаллы, бесцветные или голубоватые, часто с

характерной полосатостью, легко растворимые в воде и в азотной к-те. При окислении H_2O_2 дает оранжевую соль надмолибденовой кислоты, разлагающуюся при 105°; при восстановлении по Паало (водородом в присутствии коллоидного Pd) переходит сначала в неустойчивый гидрат $Mo(OH)_4$, а затем в $Mo(OH)_3$. Растворяясь в избытке аммиака, превращается в нормальный молибдат $(NH_4)_2MoO_4$, который м. б. высажен из раствора спиртом: моноклинные призмы, уд. в. 2.27, на воздухе и в растворах теряющие NH_3 и переходящие в полимолибдат. В технике молибдат аммония получают из трехокиси MoO_3, к-рую взмучивают в воде и в суспензию пропускают аммиак; полученный раствор фильтруют, выпаривают и перекристаллизовывают продукт. В СССР молибдат аммония вырабатывается с 1926 г. на опытной станции Горно-химич. треста из готового ферромолибдена: последний окисляют прокаливанием в печи при $t°$ 600—800° и выщелачивают разбавленным водным аммиаком; за 1926/27 г. этим методом было получено ок. 1 700 *кг* соли. Молибдат аммония—важнейший из продажных препаратов Mo; он применяется гл. обр. как реактив на фосфорную кислоту (особенно при анализе черных и цветных металлов). Молибдаты натрия: Na_2MoO_4 ($t°_{пл.}$ 687°) и $Na_6Mo_7O_{24} \cdot 22\,H_2O$ и молибдаты калия: K_2MoO_4 ($t°_{пл.}$ 926°), $K_2Mo_3O_{10}$ и $K_6Mo_7O_{24} \cdot 4\,H_2O$—бесцветные кристаллич. вещества, растворимые в воде. Парамолибдаты Na и аммония применяются в керамич. глазурях (для окрашивания в синий цвет, основанного на превращении в синюю окись Mo); совместно с таннином их иногда употребляют в протравном крашении тканей; соль Na использовалась как антисептическое средство. Молибдаты Na, K, Rb, Cu, Ag и Ba предложены в качестве катализаторов при синтезе $CH_3 \cdot OH$ и других органических соединений из водяного газа. Предложения использовать молибдаты в производстве красок для полиграфии и чернил повидимому не получили промышленного применения. Молибдаты кальция: нормальный молибдат, $CaMoO_4$, встречается в природе (минерал повеллит); $CaMoO_4 \cdot 3\,MoO_3 \cdot 9\,H_2O$ (аморфный) и $CaMoO_4 \cdot 2\,MoO_3 \cdot 6\,H_2O$ (кристаллический) получаются кипячением MoO_3 с известковым молоком или прокаливанием смеси MoO_3 с известью. Технич. молибдат Ca за последнее время получил широкое применение в металлургии, где он вводится вместо металлич. Mo при получении молибденовой стали и ферромолибдена (CaO при плавке переходит в шлак, а MoO_3 восстанавливается); частично он перерабатывается также на чистый молибден (алюминотермическим или электролитическим путем). Для тех же целей применяется также и молибдат магния. Молибдат свинца, $PbMoO_4$—природный вульфенит (см. *Молибденовые руды*).

Галоидные соединения Mo могут содержать 2, 3, 4, 5 и 6 атомов галоида на 1 атом Mo. Двухлористый молибден, $MoCl_2$ (или Mo_3Cl_6), желтого цвета, растворим в спирте и в конц. HCl, при накаливании возгоняется. Трехлористый молибден, $MoCl_3$—темнокрасный, разлагается при нагревании. Четыреххлористый молибден, $MoCl_4$—коричневого цвета, $t°_{пл.}$ 194°, $t°_{кип.}$ 268°. Пятихлористый молибден, $MoCl_5$, зеленовато-черные кристаллы с металлич. блеском, $t°_{пл.}$ 194°, $t°_{кип.}$ 268° (пары темнокрасного цвета). Растворяется в спирте, эфире, в конц. HCl, HNO_3 и H_2SO_4; водою быстро разлагается; во влажном воздухе переходит в хлорокись Mo. Получается путем хлорирования Mo, его двуокиси MoO_2 или сульфида MoS_2 газообразным хлором при нагревании. $MoCl_5$ применяется как катализатор при хлорировании органич. соединений; он предлагался также как исходный материал для получения чистого Mo при производстве металлич. нитей для электролам. Все хлориды Mo легко разлагаются водой, образуя при этом ряд хлорокисей: MoO_2Cl_2 (светложелтая), $MoOCl_4$ (зеленая), $Mo_2O_3Cl_6$ (фиолетовая). При действии газообразного HCl на MoO_3 образуются аналогичные хлоргидраты—$MoO_2(OH)Cl$ и $MoO(OH)_2Cl_2$. Из соединений MoVI известен шестифтористый молибден, MoF_6—бесцветные летучие кристаллы с $t°_{пл.}$ 17° и $t°_{кип.}$ 35°.

Сульфиды Mo образуют ряд: MoS_2, MoS_3 и MoS_4 (?). Двусернистый молибден, MoS_2—темносерого цвета, уд. в. 4.6—4.8; растворяется только в царской водке. В виде природного молибденита (см. *Молибденовые руды*) он является важнейшим сырьем для получения Mo и М. с.; применяется также в радиотехнике для изготовления детекторов. Трехсернистый молибден, MoS_3, получается в виде бурого осадка при продолжительном пропускании H_2S в подкисленные растворы молибдатов (реакция используется в анализе М. с.). При накаливании на воздухе MoS_3 переходит в MoO_3, без доступа воздуха—в MoS_2; растворяется в сернистых щелочах, образуя красные тиосоли состава $MeMoS_4$ (Me—щелочной металл).

Карбиды Mo (о существующих типах их см. *Карбиды*) образуются при накаливании MoO_2 или MoO_3 в присутствии углерода. Карбид состава Mo_2C (светлосерые кристаллы) обладает исключительно высокой твердостью, открывающей ему возможности технич. применения, напр. в инструментах для обработки металлов. Твердость молибденовой стали обусловливается содержанием в ней двойного карбида Mo и Fe; вероятный состав его—$Mo_2C \cdot Fe_3C$.

Силициды Mo—$MoSi_2$, MoSi и др.—содержатся в кислотоупорных молибденовокремниевых сплавах; образуются из Mo и Si при $t°$ выше 1 000°. Вполне устойчивы (особенно $MoSi_2$) по отношению к минеральным к-там, в том числе к плавиковой к-те и царской водке; разъедаются только смесью $HNO_3 + HF$. Применяются они при выплавке специальных сталей, как источник Mo.

Аналитическое определение Mo в М. с. А. Для качественного открытия Mo в молибдатах служат следующие реакции: 1) При выпаривании с каплей H_2SO_4 на Pt-пластинке—синее окрашивание. 2) При действии H_2O_2—оранжевое или красновато-бурое окрашивание раствора. 3) При восстановлении в кислом растворе цинком или $SnCl_2$ (еще лучше—сульфатом гидразина) получается темносинее окрашивание (образование иона Mo'''). 4) Действие цинка в кислом растворе в присутствии KCNS—красное окрашивание. 5) С подкисленным раствором ксантогената калия в спирте—интенсивное красно-фиолетовое окрашивание, к-рое через 1—2 ч. переходит в синее (присутствие окислителей мешает реакции); эта проба особенно пригодна при анализе сплавов. 6) Микрореакция с насыщенным раствором уксуснокислого пирокатехина в присутствии анилина или пиперазина: оранжевый кристаллич. осадок.

Б. Количественное определение. 1) Весовое: из раствора молибдата осаждают трисульфид MoS_3 (действием H_2S в кислой среде или обработкой Na_2S с последующим подкислением), переводят его прокаливанием (не выше 425°) в MoO_3 и взвешивают. 2) Объемное: восстанавливают молибдат цинком в сернокислом растворе при нагре-

вании, после чего титруют раствором $KMnO_4$ или иодом ($Mo^{III} \rightarrow Mo^{VI}$). 3) Колориметрическое—по интенсивности окраски, получающейся при окислении молибдата при помощи H_2O_2 в присутствии щелочи (вследствие образования солей надмолибденовой кислоты); можно также определять Mo колориметрически по вышеуказанному методу (см. выше—п. A, 5) с ксантогенатом. При анализах стали и сплавов пробу предварительно растворяют в HCl или царской водке, выпаривают и извлекают аммиаком или NaOH.

Лит.: Менделеев Д. И., Основы химии, 9 изд., гл. 21 и дополн. к ней, М.—Л., 1928; Годовой обзор минеральных ресурсов СССР за 1926/27 г., стр. 619, Л., 1928; Мерсон Г., «Журнал прикладной химии», М.—Л., 1929, т. 2, стр. 113 (переработка руд); Ханецкий А. И., «Труды комиссии сырья», П., 1916, вып. 1 (производство молибдата аммония); Гарпак А. С., «ЖХП», 1929, т. 7, стр. 534 (то же); Ephraim F., Anorganische Chemie, 4 Aufl., Dresden—Lpz., 1929 (химия М. с.); Pokorny E., Molybdän, Monographien über chemisch-technische Fabrikationsmethoden, hrsg. v. L. Wohlgemuth, Halle a/S., 1927, B. 40; Gillet H. W. a. Mack E. L., Molybdenum, Cerium a. related Alloy Steels, New York, 1925; Mennicke H., Die quantitative Untersuchungsmethoden d. Molybdäns, Vanadiums u. Wolframs, Berlin, 1913; «Metallbörse», Berlin, 1929, Jg. 19, *34*, p. 932 (переработка руд); Dyson M., «Chemical Age», L., 1928, v. 18, *458*, *462* (то же); «Engineering a. Mining Journ. Press», New York, 1917, v. 104, p. 297 (сводка аналитич. реакций на Mo). См. также *Молибден* и *Молибденовые руды*.

В. Янковский.

МОЛИБДЕНА СПЛАВЫ, см. *Молибденовая сталь*.

МОЛИБДЕНОВАЯ СТАЛЬ, специальная сталь с большей или меньшей добавкой молибдена, получившая нек-рое распространение в последние 15—20 лет, особенно в США. Она приготовляется преимущественно в электрич. печах или в тигельных горнах (но не в мартеновской печи, где Mo окисляется) присадкой к углеродистой стали ферромолибдена. Количество вводимого в сталь Mo колеблется от 0,2—0,3% до 5—6%. При малых содержаниях C и Mo (C—0,2÷0,4%; Mo—0,2÷1,2%) М. с. применяется как машино-поделочная и конструкционная; при более высоких содержаниях их (C—0,6÷1,2%; Mo—3÷5%)—как инструментальная и для постоянных магнитов. В М. с. первого типа присутствие Mo сказывается изменением характера перлита, к-рый становится тонкораздробленным, сорбитообразным; такое же тонкое строение наблюдается и в мартенсите после закалки М. с., а также в троостите и сорбите после отпуска. Указанное тонкое строение структурных элементов сообщает М. с. высокие механич. качества: предел упругости = 45÷85 *кг/мм²*; временное сопротивление на разрыв = 75÷100 *кг/мм²*; удлинение = 12—20%; сужение поперечного сечения = 45—60%. Ударное сопротивление М. с., ее сопротивление износу и твердость тоже оказываются значительно повышенными по сравнению с углеродистой сталью. Поэтому М. с. этого типа часто применяется в автомобиле- и авиастроении для пружин, зубчатых передач, поршневых штоков и других машинных частей. В М. с. второго типа уже при содержании C, равном 0,6÷0,7%, наблюдаются «двойные карбиды», истинная природа к-рых не вполне выяснена. Они переходят в твердый раствор только после нагрева выше определенного $t°$-ного интервала, называемого интервалом «понижающих» $t°$. После такого нагрева эвтектоидное превращение происходит уже при пониженной $t°$ (500—600°) и совершается не полностью, в результате чего получается мартенситовая или трооститовая структура и сталь приобретает характер самозакаливающейся. При ускоренном охлаждении такой стали от «понижающих» $t°$ в результате получается аустенитовая структура.

М. с. как инструментальная не имеет никаких преимуществ перед другими специальными сталями—хромовой, вольфрамовой и хромовольфрамовой быстрорежущей; поэтому применение ее в этой области очень ограничено. Для постоянных магнитов М. с. широко применялась до самого последнего времени вследствие высоких значений для нее остаточного магнетизма и коэрцитивного напряжения; но в этой области М. с. теперь вытесняется кобальтовой сталью и сплавами, для к-рых указанные свойства еще выше. М. с. часто содержит заметные количества других специальных добавок—Ni, Cr, W, V; в этом случае отделить влияние на сталь Mo от влияния других специальных примесей становится невозможным.

Лит.: Бабошин А., Металлография и термич. обработка железа, стали и чугуна, ч. 3—4, Л.—М., 1917—26; Mars G., Die Spezialstähle, 2 Aufl., B., 1922; Rapatz F., Die Edelstähle, Berlin, 1925; «Journ. of the Iron a. Steel Inst.», London, 1921, v. 2, p. 141, 1923, v. 1, p. 217; «Revue Universelle des Mines», Bruxelles, 1922, p. 159; «American Society of Steel Treating», New York, 1922, v. 2, p. 769, 1924, v. 5, p. 571, 1925, v. 8, p. 681; «Ztschr. für Metallkunde», Berlin, 1923, B. 15, p. 251; «Archiv für Eisenhüttenwesen», Düsseldorf, 1928, p. 785.

М. Оннов.

МОЛИБДЕНОВЫЕ РУДЫ, минералы, содержащие молибден в количествах, допускающих рентабельность его извлечения. В табл. 1 приведены молибденсодержащие минералы. Молибденит, или молибденовый

Табл. 1.—Молибденсодержащие минералы.

Наименование	Химич. состав
Молибденит	MoS_2
Вульфенит	$PbMoO_4$
Молибдит	$Fe_2O_3 \cdot 3MoO_3 \cdot 7H_2O$
Повеллит	$CaMoO_4$
Ильземанит	$MoO \cdot 4MoO_3$
Белоноэит	$MgMoO_4$
Патерант	$CoMoO_4$
Ахрематит	$3(3Pb_3As_2O_8 \cdot PbCl_2) 4(PbMoO_5)$
Эозит	$Pb_3V_2MoO_{16}$

блеск, является главной рудой на молибден, который в самородном виде в природе не встречается. Хим. состав молибденита—MoS_2; содержание Mo—59,96%. В природе он встречается в виде тонких мягких листочков или в виде шестиугольных пластинок, а иногда зернистой массой. Система гексагональная. Цвет свинцово-серый, блеск металлический. Тв. 1—1,5; уд. вес 4,7—4,8. Черта синевато-серая. Молибденит представляет собой типичный минерал пневматолиза, образуется при высокой $t°$ и высоком давлении. Генетически молибденит связан с кислыми изверженными породами—гранитами, пегматитами и сиенитами. Лишь незначительная часть месторождений молибденита встречается в метаморфических, осадочных и основных изверженных породах. Спутниками молибденита в месторождениях являются касситерит (оловянный камень), вольфрамит, медный и серный колчеданы и другие сульфиды. Обычно концентрация М. р. в

породе незначительная (0,5—5% MoS_2). Из остальных М. р. после молибденита следует упомянуть вульфенит (желтая свинцовая руда), имеющий промышленное значение. Кроме молибденита, затем вульфенита, остальные минералы встречаются очень редко и в незначительных скоплениях.

Наиболее значительные месторождения М. р. находятся в США (всего более 300 месторождений): в штатах Колорадо, Аризона, Новая Мексика, Калифорния, Монтана, Вашингтон. Кроме того в Канаде известно более 100 месторождений (Квебек, Онтарио и т. д.). Довольно крупные скопления М. р. находятся и в Австралии (Новый Южный Уэлс, Тасмания, Южная Австралия, Западная Австралия, Квинсленд). Из европ. месторождений наиболее крупными обладает Норвегия. Менее значительные залежи М. р. встречаются в Ю. Америке, Индии, Корее, Японии, Англии, Германии, Швеции и т. д. Из месторождений нашего Союза особенно выделялись три, представляющие промышленный интерес: Гутайское в Забайкалии (среднее течение реки Чикоя, наиболее важное месторождение), Джигит-Пластунское в б. Приморской области и Шуезерское в Архангельском районе (б. Кемский уезд). В других довольно многочисленных месторождениях молибденита и вульфенита скопления их незначительны.

Наибольшего расцвета добыча М. р. достигла в период войны 1914—18 гг. В период 1921—22 гг. добыча почти совсем замерла; начиная же с 1923 г. замечается ее восстановление; главн. образ. она сосредоточена в США и в Норвегии. Небольшая добыча м. б. отмечена в Австралии, Канаде и Австрии. Эксплоатация М. р. производится взрывными работами в открытых и подземных разработках. Полученная руда подвергается механич. обогащению. За последнее время введен флотационный метод обогащения, дающий наиболее совершенные результаты. В настоящее время применяются три способа флотационного обогащения молибденита: флотация в аппарате Минералс-Сепарейшен, процесс в аппаратах Вуда и Эльмор-вакуум-процесс (масляное обогащение). Молибденовые концентраты поступают для производства ферромолибдена. Молибден при обработке нагревается в угольной трубке при значительном расходе тока. Обработка может производиться также алюмо-термическим способом, дающим продукт, свободный от углерода, но с примесью небольшого количества силиката и 1—2% железа. Наиболее чистый металл получается при восстановлении окиси молибдена водородом (99,95% Mo). Этот способ применяется наиболее часто в Америке.

Главными потребителями молибденовых концентратов и их продуктов являются США, Англия, Германия, Франция—вообще страны с крупной металлургич. промышленностью. Мировое производство концентратов указано в табл. 2.

Рыночные цены на молибденовые концентраты все время колебались и достигли наивысшего предела во время войны 1914—18 гг. (2 долл. за фн.). После войны цены упали до 40—55 центов за фн.

Табл. 2.—Мировое производство концентратов (в *m*).

Страны	1913 г.	1923 г.	1924 г.	1925 г.	1926 г.	1927 г.
СССР	—	—	—	—	4	4
Германия	91	—	—	—	—	—
Норвегия	9	39	79	120	145	—
Швеция	—	—	—	20	6	—
Испания	40	—	—	—	—	—
Италия	—	1	1	—	1	—
Австрия	—	51	15	13	27	—
Югославия	13	—	1	—	—	—
Канада	—	—	9	14	11	—
США	—	10	135	1077	—	—
Мексика	—	2	4	1	—	—
Перу	—	2	—	—	0,2	—
Чили	2	—	—	—	—	—
Китай	—	15	—	—	—	—
Корея	4	—	—	54	41	—
Австралия	147	70	43	44	43	—

Лит.: Критский В. В., Вольфрам и молибден в электроламповой промышленности, «МС», 1927, *2*; Макарова Н. К., Молибден, Годовой обзор минеральных ресурсов СССР за 1925/26 г., Л., 1927, Прокопенко Н. М., Молибден, «НИ», 1929; т. 4 (имеется лит.); Смольянинов Н. А., Пластунское месторождение молибденового блеска на Дальнем Востоке, «МС», 1927, *9*; Тетяев М. М., Вольфрамовые и оловянные месторождения Онон-Борзинского района в Забайкальской области, Приложение—Гутайский молибденовый рудник на Чикое, «Материалы общей и прикладной геологии», П., 1918, вып. 32; Федоровский Н. М., Минералы в промышленности и сельском хозяйстве, 2 изд., Л., 1927; Earldley-Wilmot V. L., Molybdenum Metallurgy, Uses a. the Occurence, Mining a. Concentration of Its Ores, Canada, Ottawa, 1925; Pokorny E., Molybdän, Monographien über chemisch-technische Fabrikationsmethoden, hrsg. v. L. Wohlgemuth, Halle a/S., 1927, B. 40.

Н. Федоровский.

МОЛОКО, пищевой продукт, получаемый из молочных желез млекопитающих, содержащий в себе все необходимые элементы для питания новорожденных животных; главнейшие составные части его: белковые вещества, жир, молочный сахар и минеральные соли (зола). Белки представлены: *казеином* (см.), легко свертывающимся от действия органич. и неорганич. к-т, но не свертывающимся от высокого нагревания, и *альбумином* (см.)—растворимым белком, свертывающимся при сильном нагревании, но не выпадающим от действия к-т. Казеин створаживается от действия сычужного фермента—экстракта из сычуга; альбумин этому действию не подвергается, поэтому при сыроделии он остается в сыворотке. Кроме того в М. заключается небольшое количество глобулина (см. *Белковые вещества*). Жир в М. заключается в виде микроскопически малых шариков величиною от 1 до 10 μ (редко больше), в среднем 2÷3 μ. Шарики эти, по мнению нек-рых ученых, окружены белковой оболочкой, другие ее отрицают и полагают, что за оболочки принимается белковое окружение, концентрированное вокруг шариков в силу поверхностного натяжения. В таком крайне мелко распыленном (эмульсированном) виде молочный жир весьма легко усвояется и всасывается кишечником новорожденных животных. Содержание в М. жира в отличие от других составных частей, содержание к-рых мало изменяется, сильно колеблется под влиянием различных обстоятельств: породы животных, лактационного периода, содержания воды в корме и т. д.; в зависимости от корма изменяются консистенция и вкусовые качества жира. Молоч-

ный сахар обусловливает присущий М. сладковатый вкус. Он играет видную роль в питании молодого организма животных — как легкоусвояемый углевод и как возбудитель молочной кислоты, под действием к-рой происходит свертывание казеина и получение творога, сырной массы, технического казеина и пр. Молочный сахар, подвергаясь действию соответственных микроорганизмов (дрожжей), дает спиртовое брожение с образованием углекислого газа (кумыс, отчасти кефир). Минеральные соли (зольные составные части) М. при выпаривании и сжигании его получаются в виде белой золы, состоящей из тех минеральных солей, к-рые нужны для правильного питания и образования костяка молодых животных; главнейшие из них—соли фосфора, кальция, калия и др. Недостаток ничтожных долей этих солей приводит к расстройству пищеварения у молодых организмов и понижает качество молочных продуктов, в особенности сыра. Исследования автора показали, что прибавка сотых долей % фосфорнокальциевой соли изменяет качества швейцарского сыра, приближая его по вкусу и аромату к альпийскому сыру. Недостаток фосфора и извести в молоке матерей часто служит причиной расстройства пищеварения у детей. Состав М. весьма колеблется в зависимости от различных факторов—пищи, породы скота, лактационного периода, влажности или сухости почвы и пр. Нормальный средний химический состав и уд. в. молока различных животных приведены в таблице.

Нормальный состав в % и удельный вес М.

Молоко	Вода	Жир	Казеин	Альбумин и глобулин	Молочн. сахар	Зола	Сухие вещества	Уд. вес
Женское	87,41	3,78	1,03	1,26	6,21	0,31	12,59	1,027
Коровье Европ. части СССР	86,50	4,20	3,00	0,60	4,70	0,70	13,20	1,032
» сибирское	85,17	4,57	3,97	0,78	4,77	0,74	14,83	1,031
» других стран	87,65	3,40	3,00	0,40	4,80	0,75	12,35	1,032
Овечье СССР	82.13	7,65	5,10	0,56	3,56	0,90	17,87	1,035
» других стран	81,82	6,86	4,97	0.55	4,91	0,89	19,18	—
Козье	85,71	4,78	3,20	1,09	4,46	0,76	14,29	—
Буйволицы	81,41	7,47	5,85	0,25	4,15	0,87	18,59	—
Ослицы	89,64	1,64	0,67	1,55	5,99	0,51	10.36	—
Кобылье	90,06	1,09	1,89		6,65	0,31	9,94	—
Верблюдицы	86,57	3,07	4,00		5,59	0,77	13,43	—
Свиньи	84,04	4,55	7,23		3,13	1,05	15,96	—
Ламы	86,55	3,15	3,00	0,90	5,60	0,80	13,45	—
Собаки	75,44	9,57	6,10	5.05	3,09	0,93	24.56	—
Кошки	81,67	3,33	3,12	5,96	4,91	0.53	18,37	—
Слонихи	67,85	19,57	3,09		8,84	0,65	32,15	—
Бегемотихи	90,13	4,51	0,55		4,51		9,57	—
Морской свинки	41.11	45,80	11,19		1,33	0,57	58,89	—

Микроорганизмы в М. В молочной железе М. совершенно стерильно, т. е. свободно от микроорганизмов, но с какими бы предосторожностями оно ни было выдоено, оно всегда содержит некоторое количество грибков и бактерий. Нек-рые из этих микроорганизмов полезны и даже необходимы для приготовления молочных продуктов, другие безразличны, третьи безусловно вредны, так как они или вызывают закисание (свертывание) М. или же являются носителями различных заразных болезней человека и животных (туберкулез, сибирская язва, ящур и др.). Среди полезных микроорганизмов особое место принадлежит молочнокислой бактерии, без к-рой не существовали бы такие молочные продукты, как простокваша, варенец, сметана, творог, экспортное масло, сыры и целебные напитки (кефир, кумыс, айран и пр.). Далее при известных условиях являются полезными и необходимыми некоторые грибки (дрожжи), напр. для приготовления кумыса, кефира, сыра и пр. Полезность или вредность микроорганизмов—понятие условное: в одних случаях их присутствие необходимо, в других нежелательно.

Молочные продукты. Предохранение М. от порчи достигается двумя противоположными путями: либо охлаждением, либо нагреванием до высокой $t°$; первое имеет целью задержать развитие микроорганизмов, второе—уничтожить их. Охлаждение, не убивая микроорганизмов в М., задерживает лишь рост их и процессы разложения составных частей молока, а следовательно и порчу его. Но для этой цели охлаждение д. б. произведено возможно быстро, тотчас же после доения и до определенной низкой $t°$; при этом самое доение д. б. обставлено возможно гигиенично. Пастеризация имеет целью убить населяющие М. микроорганизмы и тем сделать его более прочным. Кипячением бактерии были бы убиты, но тем самым М. был бы сообщен привкус «топленого», что большинством потребителей отвергается; поэтому нагревание доводят лишь до 63—90°, когда живые формы микробов погибают, остаются лишь их споры (зародыши), прорастание к-рых задерживается последующим немедленным охлаждением. Чем выше $t°$ нагревания М., тем процесс длится короче; так, обычная пастеризация (85—90°) длится около 2 мин., при нагревании же до 63—65° требуется 30 мин. Последний способ длительной пастеризации входит в употребление в последнее время. Стерилизованное М. получается нагреванием М. выше $t°_{кип.}$, сохраняется оно в герметически закупоренных бутылках или запаянных жестяниках. Такое М. может сохраняться неопределенно долгое время, и если закупорка действительно герметична, то со временем заметно лишь отстаивание. Сильно сгущенный от долгого хранения отстой трудно затем разбить в такую тонкую массу, какая требуется для кормления детей. Поэтому молоко, предназначенное для стерилизации, предварительно гомогенизируют. Для того чтобы помешать жировым шарикам всплывать на поверхность М. и образовывать сливки, Голен построил специальную машину—гомогенизатор, назначение к-рого—разбить жировые шарики на столь малые частицы, чтобы они не могли отстаиваться. Гомогенизированное М., представляющее более тонкую эмульсию, по характеру свертываемости под действием желудочного сока ближе подходит к женскому и легче усваивается детским кишечником, чем обыкновенное коровье. Гомогенизированное М., одновременно стерилизованное, продается в герметически закупоренных бутылочках. Газированное М., представляет собой М. насыщенное углекислотой (предложено С. И. Боткиным); газированное М. имело довольно успешное применение как диэтич. средство. Приготовляется оно совершенно так же, как газированные воды,—простым пропусканием через молоко углекислого газа.

Тощее М. бывает двух видов: снятое, получаемое отстариванием, и сепарированное, получаемое посредством сепаратора. Тощее М. отличается от цельного лишь меньшим содержанием жира, прочие же составные части остаются не в уменьшенном, а скорее в относительно увеличенном количестве. Существует определенное предубеждение против такого М., между тем питательные достоинства его очень высоки и введение его в повседневное употребление как ценного, вкусного, легко усвояемого напитка весьма желательно; снятое молоко, охлажденное до 10° и ниже, приобретает густоту, приближающую его к цельному, и такое М. в жаркое время года является вкусным, освежающим напитком. Общее количество сухих веществ в тощем молоке составляет 9,5—10%, из к-рых жира содержится: в сепарированном едва 0,1—0,2%, а в отстоенном 0,5—0,7%. Снятое М. с успехом м. б. заквашено на простоквашу и употребляться в сбитом виде как кефир.

Пахта, или пахтанье,—жидкость, остающаяся после сбивания масла. У нас пахта как продукт для непосредственного потребления находится в совершенном пренебрежении, за границей же является не только пищевым продуктом, но и целебным средством, наряду напр. с кефиром. Пахта по своему составу стоит выше снятого молока; если же она получена из-под экспортного масла, то содержит и значительное количество молочной к-ты. Пахту, в особенности кислую, следует ввести в широкое потребление.

Сгущенное (конденсированное) М. является продуктом сгущения (выпариванием) М. до 33—40% его первоначального объема и, как стерильное, будучи герметически закупорено в жестянки, может сохраняться очень долгое время и выдерживать дальнюю перевозку; во время путешествий, в морском плавании, при экспедициях сгущенное М. является незаменимым. Техника приготовления его разработана была во 2-й половине прошлого столетия, и в настоящее время производство его приняло обширные размеры. Стандартный состав его: 28% сухих веществ и не менее 8% жира; растворимость полная, отсутствие крупинок сахара. Производству сгущенного М. предстоит большое будущность: повседневное потребление этого легко сохраняемого, точно дозируемого, транспортабельного, вкусного продукта несомненно должно возрасти, спрос для экспорта и внутри страны теперь уже может обеспечить производство десятка фабрик. Для дальних перевозок и долгого хранения сгущенное М. упаковывают в жестянки, для быстрого же повседневного потребления в городах в США перевозят его в бидонах и продают в разбес.

Сухое М.—продукт дальнейшего продолжения предыдущего производства для придания М. еще большей компактности, транспортабельности, легкого дозирования при производствах печений, конфет и пр. Техника приготовления сухого М. гораздо труднее, чем сгущенного; добиться растворимости сухого М. удалось с трудом. В настоящее время, когда техника уже усовершенствована, производство сухого М. во многих странах увеличивается за счет уменьшения производства сгущенного. Производства сгущенного и сухого тощего М. в последнее время сильно развиваются как подсобные в маслоделии. По существующим на рынке ценам и по высокой питательной ценности (сухое тощее М. содержит около 30% белков и 40% сахара) оба эти продукта всегда в спросе и являются предметом выгодного производства в сочетании с маслоделием.

Детское (материнизированное, гуманизированное) М., нутриция, молоко Гертнера, Бакгауза и др. названия присвоены М., к-рое по своему составу приближается к женскому. Из приведенной выше таблицы видно, что женское М. отличается от коровьего высоким содержанием растворимых белков и сахара и пониженным содержанием казеина. Общепринятый прием подготовки коровьего М. для кормления младенцев—разбавление 1 ч. его 2 ч. воды с прибавлением сахара якобы для приближения его к составу и свойствам женского М. Это—величайшее недоразумение и вредное заблуждение. Такая смесь ни по составу ни по биологич. свойствам не имеет ничего общего с женским М. и почти не усванвается организмом ребенка. Исследования автора показали, что при разбавке коровьего молока более чем 40% воды действие желудочного сока на него почти аннулируется, задерживаясь на 2½—3 часа. Другое заблуждение (но безвредное) касается козьего М., о к-ром пишут, что оно по составу ближе к женскому М., чем М. других животных; между тем это не соответствует действительности, как это видно из упомянутой таблицы. Козье М. по составу больше отличается от женского, чем коровье, но оно ближе к женскому по действию на него желудочного сока: козье, так же как женское М., свертывается мелкими хлопьями, в то время как коровье образует плотный сгусток, труднее перевариваемый детским желудком. На рынке за границей существуют молочные смеси под различными названиями, по составу и по биологическим свойствам близкие к женскому; все они стерильны.

Простокваша раньше была предметом домашнего, потребительского производства и отличалась ничтожной товарностью. Но со времени открытия И. И. Мечниковым болгарской бациллы молочнокислого брожения и установления ее (да и других молочнокислых бактерий) крупной роли в оздоровлении кишечника приготовление простокваши приняло совершенно другой характер: в настоящее время это производство проникло во все концы земного шара, и бактериальная простокваша является предметом крупной торговли. Она приготовляется также в виде таблеток, к-рые или просто глотают для оздоровления кишечника или употребляют в виде закваски для приготовления простокваши. Простокваша приготовляется весьма просто, но при этом требуются безусловно чистое М., доброкачественная закваска и соблюдение определенной $t°$; закваску можно приобрести в бактериологических лабораториях или для этой цели употреблять готовую простоквашу. Закваски берут 5%, растирают (при постепенной прибавке М.) в ровную, однообразную массу, вливают в М., нагретое до 36—40°, размешивают, прикрывают сосуд чистой салфеткой и теплым покрывалом и оставляют на 8—10 ч., в течение к-рых молочнокислое брожение, развиваясь, образует столько кислоты, что казеин набухает и образует плотную массу простокваши; этот момент следует захватить и простоквашу вынести на холод на 10—12 ч., иначе она перекипит, выделит сыворотку и будет недоброкачественна. Простокваша, приготовленная из топленого М. (с пенками), называется варенцом—продукт мало известный у других народов, но распространенный у русских. Айран—продукт, очень распространенный у юж. жителей. Некоторые под айраном понимают продукт, приготовляемый особой закваской, на самом же деле (Кавказ, Средняя Азия и южные пограничные государства) под этим названием на юге разумеют простоквашу (мацун, катык, кислое молоко), взбитую и разбавленную холодной водой. Иногда же приготовляют айран как особый продукт и употребляют неразбавленным.

Кефир—молочный напиток, приготовляемый преимущественно из коровьего М., в котором при помощи особого бродильного начала или «грибков» вызывается одновременно и молочнокислое и спиртовое брожение. Бактериологическое исследование обнаружило симбиоз бактерий, расщепляющих молочный сахар с образованием молочной к-ты, и дрожжевых грибков, вызывающих образование спирта и углекислого газа. И те и другие живут и размножаются на плотной белковой массе, образующей крупные комья (от булавочной головки до лесного ореха)—то, что обычно принято называть «грибками». Смотря по условиям культуры (t° брожения), можно получить грибки, дающие в результате брожения больше или меньше газа, т. е. шипучий или нешипучий кефир. В конце 19 в. предпочитали шипучий кефир с обильной пеной; в настоящее время его очень мало встречается на рынке. Шипучий кефир требует больше умения, внимания и соответственной расы грибков. Кефир является ценнейшим диэтич., целебным и освежительным напитком, но лишь в том случае, если он приготовлен хорошо, иначе он может быть и вредным. Удачный кефир, будучи влит в стакан и вылит, оставляет на его стенках налет, к-рый постепенно сходит, образуя на стенках рисунок в виде древовидных проточин. Плохой кефир, с грубыми частицами казеина, быстро стекает со стенок стакана, давая длинные, продольные проточины; хороший, нежный, правильно приготовленный кефир дает налет, который держится не менее 1 мин. и затем стекает, образуя сложный, запутанный рисунок. Кефир потребляется, смотря по предписанию врачей, суточным (молодым), двухсуточным (средним) и трехсуточным и старше (№ 1, 2 и 3).

Кумыс делают обыкновенно из кобыльего М.; употребляют его жители степей, кочевники (не занимающиеся хлебопашеством). Приготовление его крайне просто: в кожаный мешок (бурдюк, саба), где уже находятся остатки старого кумыса, вливают свежее М., завязывают и оставляют до следующего дня, время от времени взбалтывая. К следующему дню кумыс готов, его сливают и пьют, остатки же в бурдюке опять служат закваской для заквашивания свежего молока. К кобыльему М. часто прибавляют коровье, овечье и козье М. Для изготовления кумыса для лечебных целей употребляют только кобыльье М., которое дает кумыс с более мелкими хлопьями казеина, содержит больше алкоголя и газа. Микроорганизмы кумыса также изучены. Отличие кумыса от кефира обусловливается различием составов коровьего и кобыльего М.: количество белков в кобыльем М. вдвое меньше, жира вчетверо меньше, а сахара в 1½ раза больше,

чем в коровьем; вследствие этого кумыс содержит больше алкоголя, и хлопья казеина в нем гораздо мельче, чем в кефире; вследствие последнего обстоятельства кумыс усваивается легче, чем кефир.

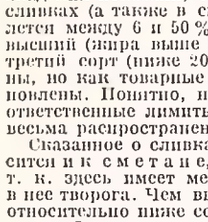
Сливки являются видным молочным продуктом, имеющим как непосредственную рыночную ценность, так и в качестве сырья для *маслоделия* (см.). Если торговля молоком требует правильной расценки его по содержанию жира (колеблющегося до 1—2%), то торговля сливками, имеющими высокое содержание жира, требует особо строгой организации. Так, исследования автора в лаборатории Тимирязевской с.-хоз. академии показали, что во встречающихся в продаже сливках (а также в сметане) содержание жира колеблется между 6 и 50%. Различают три сорта сливок: высший (жира выше 35%), средний (от 20 до 35%) и третий сорт (ниже 20%); эти границы приблизительны, но как товарные нормы они формально не установлены. Понятно, насколько важно установить соответственные лимиты: злоупотребления в этом деле весьма распространены.

Сказанное о сливках и их составе одинаково относится и к сметане, где злоупотребления еще чаще, т. к. здесь имеет место и преднамеренное введение в нее творога. Чем выше содержание жира в М., тем относительно ниже содержание в сметане белков; так, напр. общее количество белков в М. редко превышает 4%, в сливках же (соответственно и в сметане), содержащих 30% жира, их количество ниже 3%. Анализы сметаны иногда показывают повышенное содержание белков до 6% и выше; это означает, что в сметану соответственными технич. приемами введен творог.

Каймак по-тюркски означает сливки, но под этим названием известен продукт, приготовляемый на Кавказе и в смежных с ним странах. Техника приготовления проста: прокипяченное М. оставляют на умеренном жару, где оно быстро отстаивается и сверху покрывается пенкой. Накопившуюся толстую жирную пенку снимают, складывают в тарелку, а М. продолжают держать на жару, многократно снимая накопившиеся пенки и складывая в тарелку слой на слой. Накопившиеся т. о. многослойные пенки остужают и употребляют как деликатес (с сахаром) или с кофе. Иногда делают и так: пленок не снимают, а дают образоваться одному толстому слою, все выносят на холод и, когда толстый жирный слой остынет, его снимают. Нечто в этом роде приготовляется и в Англии под названием девоншир-крим.

Мороженое у нас в руководствах обыкновенно не значится в числе молочных продуктов, в США же ему уделяется весьма видное место. Мороженое, к-рое преимущественно приготовляется из М. и сливок, является освежающим, вкусным, приятным блюдом, производство к-рого и у нас растет с необычайной быстротой. Следует вывести это дело из состояния кустарного производства и индустриализировать его. О производстве масла и сыра см. *Маслоделие* и *Сыроварение*.

Торговля молочными продуктами у нас до настоящего времени точно не регулирована: нет норм для состава их и товарности, не установлены принципы расценки, нет норм упаковки, посуды и проч. Советское законодательство поставило на очередь вопрос об установлении стандартов всех молочных продуктов, нормировании видов их и принципов справедливой расценки. Требование лица у продуктов требует и нормирования их. Так, например М. с содержанием жира в 3, 3,6, 4 и 4,5% конечно не м. б. оцениваемо одинаково, так как с точки зрения питательной ценности и товарных выходов эти четыре образца М. имеют далеко не одинаковую ценность. В виду сказанного в нек-рых странах, напр. в США, практикуется нормирование (стандартизация) М. для городской продажи, для выработки сгущенного и сухого М., смеси М. со сливками для мороженого и т. д. Имея образцы молока различной жирности, легко вычислить количества, в которых их следует смешивать для получения смеси надлежащей жирности. Для облегчения такого вычисления употребляется так наз. квадрат Пирсона, дающий возможность производить вычисление совершенно автоматически (см. фиг.). Предположим, что имеется М. с содержанием жира в 4,2% и 3,3% и желательно получить смесь с 3,5% жира. Для вычисления вычерчивают квадрат, посредине к-рого ставят требуемое число 3,5; в левом верхнем углу пишут содержание жира одного образца (4,2%), а у нижнего угла—другого образца (3,3%). Расчет производится очень просто: читая десятые доли как целые (вместо 4,2—3,5, 42—35), вычитаем меньшие числа из больших, получаем 42—35 =7; эту цифру пишем у противоположного по диагонали угла; точно так же 35—33 (вместо 3,5—3,3); разность 2 пишем у противоположного (по диагонали) угла. Задача решена: 4,2%-ного М. следует взять 2 ч., а 3,3%-ного—7 ч. По этому способу вычисляют также, в каких долях следует делать смеси, чтобы получать стандартное молоко по указаниям врачей. Точно так же вычисляют и состав смеси перед выпариванием, чтобы получить стандартное сгущенное или сухое молоко. Т. о. можно составлять смеси сливок для получения стандартных сортов (обычно 3) сливок или сметаны. Кроме этих стандартных требований к составу продуктов, рынок ставит особенно строгие требования товарных признаков. Внутренний наш рынок эти требования пока предъявляет весьма слабо, деля товар на 1-й, 2-й и 3-й сорта. Международный же рынок требует не только высоких качеств например отдельных бочек масла, но и однородности всей поступившей на рынок партии; так, если на рынок поступило 2 партии по 150 бочек масла, из к-рых в одной все масло однородно и среднего качества, в другой же 25% высшего сорта, 45% среднего, 25% третьего сорта и 5% браку, то рынок предпочтет первую партию, хотя и только среднего товара. Постоянный контроль масла, вывозимого за пределы Союза, осуществляется специальной бракеражной организацией в ленинградском порту, проверяющей прибывающие транспорты масла выборочно в известном проценте и задерживающей партии, к-рые не удовлетворяют известным требованиям. Вопрос же о сортировке и составлении однородных партий поставлен на очередь.



Лит.: Иванов Г. С., Химия молока и молочных продуктов, вып. 1, 2 изд., М.—Л., 1928, вып. 2, М.—П., 1923, вып. 3, М.—Л., 1926; его же, Анализ молока, масла, сыра, Вологда, 1922; Паращук С. В., Молоковедение и молочное дело, 2 изд., М.—Л., 1929; Grossfeld J., Anleitung zur Untersuchung der Lebensmittel, Berlin, 1927; Weigmann H., Mykologie der Milch, Berlin, 1911; Henkel Th., Katechismus der Milchwirtschaft, 2 Auflage, Stuttgart, 1909.

А. Калантар.

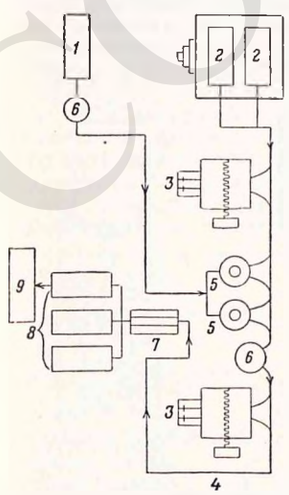
МОЛОКО ИСКУССТВЕННОЕ представляет собою эмульсию твердого масла земляного ореха или сои или кокосового масла в тощем молоке, т. е. продукт, по преимуществу богатый растительными жирами. Изготовление М. и. имеет целью заменить содержащийся обыкновенно в молоке в количестве от 2,5 до 4,5% молочный жир более дешевыми растительными жирами (кокосовым, бобовым, арахидным и др.).

На протяжении последних 40—50 лет как в Европе, так и в Америке делаются попытки найти способ изготовления М. и. путем добавления растительных экстрактов к снятому молоку. В последние 10 лет были заявлены патенты гл. обр. на способы производства искусственных сливок. Это объясняется высокими ценами на натуральные сливки по сравнению с молоком, разнообразием применения их в пищевой промышленности (в кондитерском, булочном и других производствах) и тем, что изготовление искусств. сливок технически наиболее доступно, а конечный продукт легче сохраняется. Такие сливки продаются в бутылках ежедневно свежими с содержанием жира: 12%—сливки для кофе и 32%—для сбивания. Кроме того их консервируют в банках и в сухом виде—в порошке. В отличие от столовых сливок имеется фабрикат этого продукта с содержанием жира около 70% для вскармливания телят и поросят. При растворении 1 *кг* на 3,5 *кг* воды и 20 *л* снятого молока получается совершенная эмульсия, подобная цельному молоку. З-ды М. и. имеются в Дании, Норвегии, Англии, Франции и Германии. По внешнему виду искусственные сливки ничем не отличаются от натуральных сливок. Из них легко получают б и т ы е с л и в к и и м а р г а р и н. Добавленные в кофе, они не м. б. отличены от натуральных сливок. Выделенный обычным сбиванием в виде масла из М. и. жир м. б. легко определен анализом кислотности по Гросфельду. Обычная кислотность сливочного масла около 18—19, кислотность растительного—около 1. По распределению жировых шариков искусственное молоко одинаково с настоящим молоком и сливками. Данные анализа натуральных сливок и сливок искусственных следующие:

	Натур. сливки	Искусств. сливки
Жира	32%	33,49%
Белка	2,6%	3,69%
Молочного сахара	3%	—
Золы	0,3%	3,27%
Рефракция	49,5—5 при 25°	51,4 при 40°

Способ производства искусственных сливок «Градин» отличается от способов, до сих пор применявшихся для производства М. и. Согласно германскому патенту этот способ состоит в прибавлении к снятому или цельному молоку, путем смешивания, масла или жира, сгущенного гидрированием до $t°_{пл.}$ 30—32° (твердость жира). Эта смесь гомогенизируется под давлением от 50 до 150 *atm* при темп-ре 30—38°, пастеризуется и пропускается через сепаратор. Смотря по надобности, после сепарирования можно получить готовый продукт с содержанием жира от 12 до 32%. Для приготовления обычных сливок лучшие результаты получаются гомогенизацией смеси при давлении в 150 *atm*, а для сбивающихся в 55 *atm*. Кроме применения гомогенизаторов для получения искусственных сливок имеет большое значение выбор растительного масла или жира подходящей твердости. Масло растительное, применяемое при производстве маргарина и имеющее $t°_{пл.}$ 40—42°, для производства искусственных сливок не годится. Для приготовления сливок для кофе могут быть взяты снятое молоко или пастеризованное, для сбивающихся употребляют только свежее цельное молоко. Смесь, предназначенная на сливки для кофе, составляется из 90 ч. свежего цельного молока с 10 ч. подогретого масла, а для сливок для сбивания—73 ч. молока и 27 ч. масла. Для улучшения вкуса и повышения питательности к сливкам прибавляют желтки и разные эфирные масла, а также и витамины.

Техническое оборудование для производства искусственных сливок несложно и в дополнение к обычным машинам имеет несколько специальных гомогенизаторов, специальное приспособление для растопки масла на приемном баке и необходимые для хорошего смешивания баки с мешалками, снабженные двойными стенками и оборудованные приспособлениями для нагревания паром и охлаждения водой. Сливки, которые изготовлены за день, хранятся до другого утра, как обычно, в специальном помещении, оборудованном баками с мешалками. Сохраняемость сливок больше, чем натуральных, т. к. растительные жиры устойчивее. На схеме показан процесс выработки М. и.: *1*—приемный бак для цельного молока; *2* — баки для твердого масла; *3*—гомогенизатор для масла; *4*—«мелкий» трубопровод; *5*—круглые баки для смешивания цельного молока и масла; *6*—подогреватель до 38°; *7*—пастеризатор на 90° с плоским холодильником; *8*—помещение для хранения; *9*—розлив и укупорочное отделение и бутыломоечный аппарат в нижнем этаже.



Сухое М. и. для вскармливания животных—по внешнему виду мука, жирная наощупь. 1 *кг* этого порошка, растворенный в 3,5 *кг* воды и смешанный с 20 *кг* свежего снятого молока, дает молоко (витаминовое) с содержанием до 3,8% протеина и 3,3% жира, т. е. является очень близким в этом отношении к обычному молоку.

Опыты вскармливания телят М. и. (фирмы «Итамин»), поставленные в 1928/29 г. Зоотехнической научной станцией в Тчехнице около Бреславля (проф. Цорн), дали положительные результаты, причем установлено, что М. и. может заменить при вскармливании молодняка натуральное молоко: в отношении племенных телят на 60—80%, а мясных—даже на 100%. Частичную замену натурального молока М. и. при кормлении мясных телят можно начинать без ущерба на 7-й день. Развитие и прибавление веса телят, вскормленных на витаминовом молоке, одинаково с развитием и весом питавшихся цельным молоком. Обязательным условием при скармливании М. и. телятам являются применение свежего снятого молока и соблюдение безупречной чистоты при приготовлении; в противном случае неизбежно придется считаться с желудочными заболеваниями у телят. Производство М. и. позволяет в сельском хозяйстве рационально использовать излишки снятого молока при выращивании молодняка.

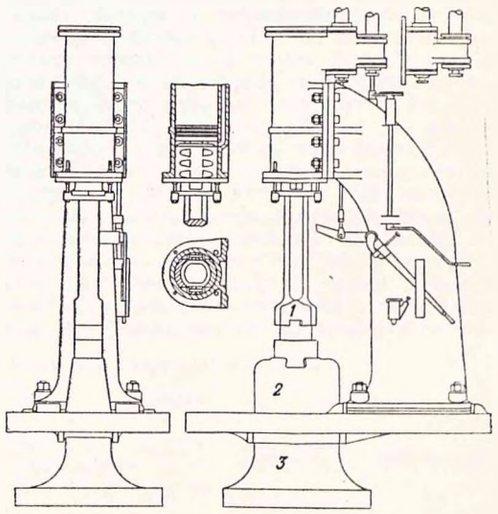
Лит.: Г. П. 112687, 291130, 395332, 268536, 289929, 319985, 374746, 378180, 393454, 398502, 166847, 166848, 398907, 67634, 225080, 189415; Knoch C., Handbuch d. neuzeitlichen Milchverwertung, 2 Auflage, Berlin, 1927; «Molkerei-Ztg.», Hildesheim, 1929, **1**, 135; «Suddeutsche Molkerei-Ztg.», Kempten in Allgau, 1929, *39*; «Mitteilungen d. deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft», Berlin, *25—26*; «Landwirtschaftliche Presse», B., 1929, Aug. 20.

В. Мещерин.

МОЛОТ, механизм, применяемый для деформации металлов в *кузнечном производстве* (см.) и работающий ударом. Энергия удара определяется весом падающих частей и высотой падения: $E'=PH$ (1), где E' выражено в *кгм*, P в *кг* и H в *м*; поэтому, если падающие части М. не имеют добавочного ускорения (М. ординарного действия) кроме вызываемого силой тяжести, то ф-ла (1) определяет мощность М. В современных конструкциях М. возможно получить добавочное ускорение падающих частей (М. двойного действия), и тогда ф-ла (1) принимает вид

$$E = PH + apH, \qquad (2)$$

где p—давление в *кг/см²*, a—площадь поршня в *см²*. Размер М. принято обозначать по весу падающих частей, так как добавочный член apH формулы (2) может изменять величину E в очень больших пределах, не давая возможности судить о действительных размерах молота.*



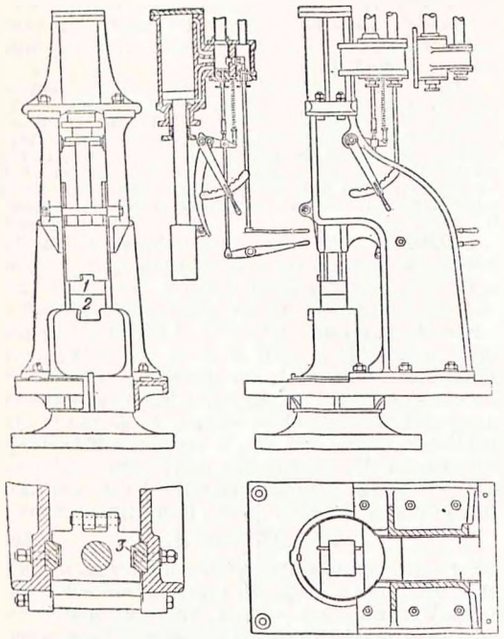
Фиг. 1.

Типы М. определяются родом производимой работы, от к-рой зависит конструкция М. В кузнечном производстве М. применяется для свободной ковки (крупные поковки, индивидуальная и серийная работа) или для штамповки (массовая работа, вес поковки

* Скорость бабы у М. двойного действия в момент удара определяется по ур-ию:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\cdot\frac{P}{g}v^2 = H(P+ap);\quad v=\sqrt{\frac{2gH(P+ap)}{P}}.$$

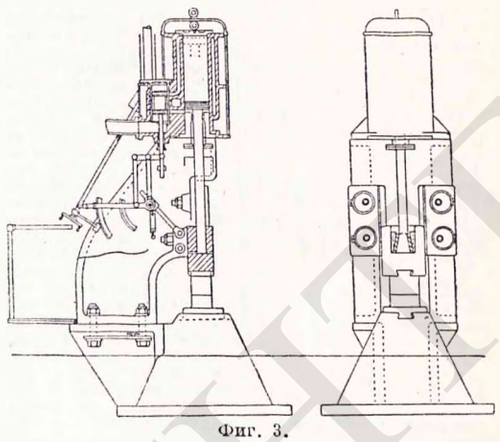
не выше 200—300 *кг*/шт.). В первом случае требуется от М.: сильный удар и свобода маневрирования; точность падения бойка не обязательна. Во втором случае (штамповка),



Фиг. 2.

наоборот, на первом месте — точность падения верхнего бойка, а затем уже сила удара; свобода маневрирования не нужна. Самый удар различен для обоих случаев ковки— при свободной ковке удар бывает только центральным, при современной штамповке большей частью удар бывает внецентренный (линия—ц. т. бойка и точка соприкосновения с поковкой не вертикальна). Естественно, что все это должно отражаться на конструкции М.; внешний вид М. указывает, для какой работы он предназначен. Из опытов Массея (см. *Кузнечное производство*) следует, что в работе ковки превалирующее значение имеет не размер (вес падающих частей) М., а величина площади бойков, поэтому выбор (определение размера) М. для работы кузнеца очень прост: по требуемому сечению поковки надо выбирать М. с площадью бойков не меньшей, чем это сечение. На конструктора ложится решение вопроса, какое сечение бойков следует придать М. данного размера (веса падающих частей). Так как М. двойного действия развивает бо́льшую энергию удара, чем М. ординарного действия, то очевидно, что эти два типа молота при одном и том же размере могут иметь разные площади бойков, т. е. молот двойного действия и в этом отношении будет более гибок.

Для свободной ковки обычно применяются паровые М. двойного действия. На фиг. 1 показан одностанинный М. (*1*—верхний боек, *2*—нижний боек, *3*—шабот) для свободной ковки (тип Ригби фирмы Массей). Он обладает всеми характерными чертами ковочного молота: большим ходом и большим диаметром поршня и свободой маневрирования. На фиг. 2 приведен тип одностанинного М. для штамповки (*1*—верхний боек, *2*—нижний боек, *3*—выверяемые направляющие) того же размера; ход поршня и его диаметр меньше; М. имеет сильные направляющие и мало свободного места для помещения



Фиг. 3.

поковки. На фиг. 3 показана последняя модель (1929 г.) парового М. Краматорского з-да—тип комбинированный как для свободной ковки, так и штамповки. Для сравнения

Табл. 1.—Сравнение мощности 350 *кг* М. разных типов.

Назначение	Фирма	Поршень d *мм*	Поршень $\frac{\pi_1 d^2}{4} = a$ *см²*	p *atm*	ap *кг*	P *кг*	$F=ap+P$ *кг*	H *м*	$E=FH$ *кгм*	apH *кгм*	$PH=E'$ *кгм*	$v=14\sqrt{\frac{E}{10P}}$ *м/сек*	$E':E$
Ковка свободная	Массей тип Ригби	318	794	4	3 177	350	3 527	0,66	2 418	2 178	240	13,5	1:10
	R. Hartmann, Chemnitz (Ригби)	280	615	6	3 690	400	4 090	0,50	2 015	1 845	200	9,8	1:10
Комбиниров. ковка и штамповка	Краматорский металлич. зав.	220	380	6	2 280	350	2 630	0,56	1 473	1 277	196	8,4	1:7
Штамповка	Массей с 2 направ.	259	526	4	2 107	350	2 457	0,61	1 500	1 270	230	9,1	1:7
Штамповка	Воздушный (с индивид. мотором)	—	—	—	—	350	—	0,48	600	435	165	5,8	1:3,5
Штамповка	Падающий	—	—	—	—	350	—	2,00	—	—	700	6,3	1

мощности этих трех типов М., соответствующие данные помещены в табл. 1 (все данные взяты из фирменных прейскурантов).

Из данных табл. 1 видно, что: 1) верхний пар (воздух) увеличивает энергию удара от $3^1/_2$ до 10 раз; 2) ковочный М. имеет бо́льшую мощность и скорость, чем какой-либо другой тип. Хотя здесь приведены данные, касающиеся одного размера М., но эти показатели присущи и другим размерам. Размер площади бойков должен входить в характеристику М. Ниже в табл. 2, 3 и 4 приведены характеристики М. различных фирм. Показатели и характеристика М. из табл. 2, 3, 4 ярко подчеркивают, какие детали молота конструкторы считают важными для кузнечного производства. Нам кажется, что особенно ярко подчеркивает КМЗ связь между толщиной поковки и размером бойка, что было особенно резко подчеркнуто в опытах Массея (см. *Кузнечное производство*). Надо отметить, что прейскуранты молотов, например Erie, Chambersburg (США), не дают характеристики молотов по размерам бойка, так же поступают и немецкие фирмы, например в книге Oetling совершенно этих указаний нет, и даже приводя характеристики М. фирмы Массей, автор прейскуранта выпускает эти данные, несмотря на то, что эта характеристика является наиболее важной для производственника, потребителя М. Как указано в табл. 4, штамповочные М. не могут быть изготовлены со станиной с вылетом в размерах более чем $1^1/_2$ *m*, т. к. для более мощных типов потребовалась бы станина чрезвычайно тяжелая. Поэтому для этого типа молотов применяется а р о ч н а я форма станин, показанная на фиг. 4, для 3-*т* М. На этом М. м. б. установлены бойки для ковки осей, и ковка в обоих крайних ручьях происходит внецентренным ударом; поэтому, чтобы воспринимать боковое усилие, станины должны быть очень мощными, и на М. типа Ригби такую работу нельзя было бы провести. Характеристика М. этого типа приведена в табл. 5 и 6. Этот тип парового М. является наибо-

Табл. 2.—Характеристика паровых М. Краматорского металлургического завода (КМЗ), модель 1929 г.

Величины	Вес падающих частей в *кг* 250	350	500	750	1 000
Диам. поршня в *мм*	190	220	250	280	310
Ход » в *мм*	500	560	650	760	850
Давление пара в *atm*	6	6	6	6	6
Толщина нормальной поковки в *мм*	125	140	160	190	210
То же максимальной в *мм*	190	210	240	285	315
Размеры бойка в *мм*	235×155	260×175	300×200	330×230	380×250
Расст. между шаботом и параллелью М. в *мм*	450	490	540	600	900
Вылет станины в *мм*	300	340	400	500	600
Высота М. от пола в *мм*	2 800	3 100	3 400	3 700	4 300
Действительн. эффект удара при поковке нормальной величины в *кгм*	600	900	1 400	2 100	2 900

Табл. 3.—Характеристика паровых М. фирмы Массей типа Ригби.

Величины	Вес падающих частей в *кг* 150	250	350	500	750	1 000	2 000	3 000
Диам. цилиндра в *мм*	225	275	337	350	400	437	550	612
Ход поршня в *мм*	525	600	650	750	850	950	1 275	1 500
Давление пара	от 3,3 до 5,3 *atm*							
Разм. верхн. бойка в *мм*	175×175	200×175	225×200	250×225	300×225	337×250	425×300	450×375
Вылет станины » »	500	600	600	612	656	737	925	1 050
Диаметр скалки » »	122	137	156	187	200	225	300	350
Высота молота » »	2 600	2 800	2 950	3 250	3 650	3 950	4 725	5 475
Диам. труб паропр. входного и выходного в *мм*	44 и 56	50 и 63	63 и 75	75 и 87	87 и 110	87 и 112	112 и 137	125 и 150
Вес общий в *т*	$3^1/_2$	$5^1/_4$	$6^3/_4$	$9^3/_4$	$14^1/_2$	$18^3/_4$	$32^1/_2$	46
Вес без шабота в *т*	$2^1/_4$	$3^1/_2$	$4^1/_4$	6	$8^1/_2$	11	$17^1/_4$	$22^1/_2$
Вес » » и фунд. плиты в *т*	$1^1/_2$	$2^1/_2$	3	$4^1/_4$	6	$7^3/_4$	12	14

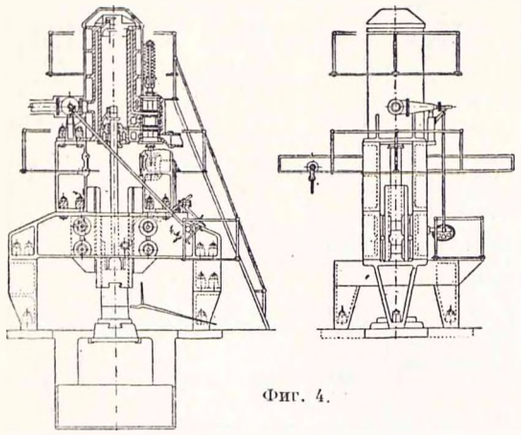
Табл. 4.—Характеристика штамповочных М. фирмы Массей. *

Величины	Вес падающих частей в *кг* 25	50	150	250	350	500	750	1 000	1 500
Диам. поршня в *мм*	106	131	187	225	250	300	335	362	425
Ход поршня в *мм*	275	300	425	525	600	675	750	825	975
Давление пара	от 3,3 до 5,3 *atm*								
Размеры бойков в *мм*	170×70	180×100	200×150	250×175	275×200	300×225	350×250	350×250	137×300
Расстояние между направл. в *мм*	175	195	205	225	280	320	362	362	425
Вылет станины в *мм*	195	225	275	325	350	375	450	450	450
Расстояние между направл. шабота и параллелями в *мм*	145	145	300	320	370	415	488	594	630
Выс. молота от пола в *мм*	1 625	1 700	2 425	2 700	2 825	3 175	3 600	3 800	4 325
Диам. труб входн. и выходн. в *мм*	25 и 31	25 и 31	44 и 50	50 и 62	62 и 75	75 и 87	75 и 100	87 и 112	100 и 125
Вес общий *т*	1	$1^1/_4$	3	5	$6^1/_2$	$8^3/_4$	$13^1/_4$	$17^3/_4$	25
Вес без шабота в *т*	$^3/_4$	$^7/_8$	$1^3/_4$	3	$3^3/_4$	$4^3/_4$	$7^1/_2$	$9^1/_2$	$13^1/_4$
Вес « « и плиты в *т*	—	—	$1^1/_2$	$2^1/_4$	$2^3/_4$	$3^1/_2$	$5^1/_4$	$6^1/_2$	$9^1/_2$

* Больших размеров этот тип не изготовляется, а заменяется арочным М.

© ГПНТБ

лее распространенным для индивидуальной ковки среднего размера изделий—до 15—16 *m*. Более крупные изделия (выше 15 *m*) обычно куются под *прессами* (см.). Преимуществом этого типа М. является удобство и



Фиг. 4.

быстрота работы, тогда как под прессом работа более медленна. Из сравнения фигур М. и их характеристик по табл. 2, 3, 4, 5 и 6 можно заметить нек-рые общепринятые конструктивные особенности в современных молотах: отношение веса падающих частей молота к весу шабота 1 : 8, а для штамповочных 1 : 20, стремление связать станины с шаботами, чтобы получить наибольший эффект удара, обеспечение точного совпадения бойков во время ковки в типах молота для штамповки, невысокое давление пара (нем. и рус. 6—7 *atm*, англ. до 5 *atm*). Рекомендуется избегать во всех конструкциях М. заклепочных и болтовых соединений, т. к. таковые легко расшатываются от ударов, и только в крайних случаях применять болтовые соединения, обязательно с контргайкой, а иногда и шплинтом.

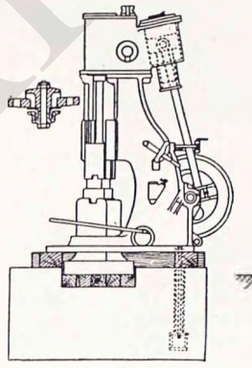
Наиболее ответственной частью в М. ковочного типа будет скалка, воспринимающая все боковые удары, в штамповочных эти боковые удары воспринимает станина. Скалка ковочного М. делается обычно из стали (~ 0,23 ± 0,03% C; 1,5% + 0,2% Ni) и подвергается обязательно термич. обработке—закалке с отпуском не ниже 600°. Необходимо обратить особенное внимание на процесс ковки перехода от тонкого сечения штока к толстому сечению бабы (см. *Кузнечное производство*). Неправильно проведенная ковка скалки с перерезом волокон и неправильная термическая обработка часто ведет к поломке скалки при работе М. Станины, особенно штамповочных М., в настоящее время обычно делают стальными литыми и избегают делать клепаными (легче сборка, особенно М. крупных размеров), т. к. каждый удар расстраивает клепаный шов и тем разрушает ковочный механизм. Цилиндр изготовляется из чугуна, для М. меньших размеров обычно составляет одно целое с золотниковой коробкой и только у очень крупных молотов присоединяется на болтах. Золотник круглый со вставленной рубашкой (лайнер). Как особенность цилиндр М. Краматорского металлургического завода имеет снаружи обогревательную рубашку, покрытую извне надежной изоляцией. Перед работой молота цилиндр обогревается снаружи свежим паром, а поэтому в рабочем цилиндре не бывает конденсационной воды.

Паровые М. могут быть приводимы в движение сжатым воздухом вместо пара и называются тогда пневматическими М. Замена пара сжатым воздухом благоприятно отражается на работе М.—нет конденсационной воды, не надо подогревать цилиндр, М. всегда готов к работе. Казалось, что сжатый воздух выгоднее пара, но следует учесть следующее обстоятельство: паровой М. работает паром при 5—6 *atm*; чтобы иметь под таким же давлением воздух, надо применять 2-ступенчатый компрессор с охлаждением, т. е. часть механич. работы превращать в тепло, уносимое охлаждающей водой; кроме того отлагающийся при расширении влажного воздуха лед может закрыть отверстия. В силу высказанных соображений об охлаждении сжатого воздуха кпд пневматической установки с давлением 6 *atm* будет ок. 30—35%, поэтому предпочитают работать с давлением ок. 3 *atm*, но такое давление уменьшает мощность М., предназначенного для работы паром при 5—6 *atm*, тогда как сжатие воздуха компрессором до этого последнего давления требует вдвое большего расхода энергии. Следует еще отметить, что на практике пар с давлением 3 и 6 *atm* требует для получения его одного и того же расхода топлива. Поэтому для сохранения мощности молота нужно было бы делать большего размера цилиндр, а так как на пневматику переходят в случаях замены пара в паровых М., то следует иметь в виду или уменьшение мощности М. или удорожание расходов на энергию. Следует иметь в виду большую возможность утечки воздуха сравнительно с паром, т. к. воздух требует лучшего уплотнения стыков, чем пар, и кроме того труднее фиксировать место утечки. В виду этих обстоятельств в настоящее время получил большое распространение воздушный М. с индивидуальным ударом.

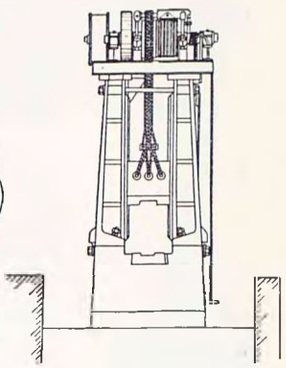
Воздушный М. содержит в самой конструкции компрессор, непосредственно соединенный с рабочим цилиндром М. На фиг. 5 изображен внешний вид 2-*m* воздушного М., работающего прямо от мотора. Экономия в расходе энергии воздушного М. по сравнению с пневматическим М. видна из табл.

Для воздушного М.	Для пневматического М.
Для каждого удара можно иметь то давление воздуха, которое требуется	Работает тем давлением, которое имеется в сети
Так как воздух служит пружиной между поршнем компрессора и рабочим поршнем, работа расширения после сжатия будет полная и так. образ. поршень может передать всю энергию сжатия	При постоянном давлении, имеющемся в сети, при работе молота используется меньше энергии
Нет потерь на мертвое пространство, т. к. объем воздуха в рабочее время один и тот же	Потери от мертвого пространства значительны
Нет тепловых потерь при сжатии, ибо воздух переходит в рабочий цилиндр при той же температуре, которая была в компрессорном цилиндре	Это тепло или рассеивается при движении по трубопроводу или же уносится охлаждающей водой

Большому распространению воздушных М. мешало то обстоятельство, что воздушный М. не мог быть применен для штамповки, т. к. конструкция его была такова, что можно будет получить лишь ряд автоматич. ударов. В последнее время (с 1924 г.) ряд фирм улучшил конструкцию воздушного молота, и теперь выпускают на рынок воздушные М. до 2 *m* с индивидуальным ударом. На фиг. 5



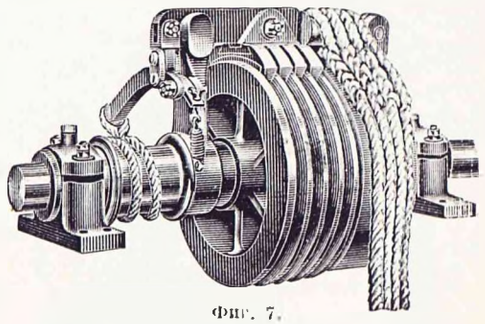
Фиг. 5.



Фиг. 6.

показан такой М. максимального размера фирмы Массей. В СССР изготовляет такие М. Краматорский металлургич. з-д (модель 1929 г.). Из сравнения произведенных испытаний (Англия) оказалось, что экономически наиболее выгодным является воздушный М., затем паровой и наконец пневматический. По свидетельству оппонентов (на собрании О-ва штамповщиков, где был заслушан доклад об упомянутых испытаниях) работа под пневматическим М. была производительнее, чем под паровым.

Рассмотренные выше типы М.—двойного действия. Кроме них имеются М. ординарного действия—падающие. Это наиболее простой тип М.; они приводятся в действие гл. обр. от мотора или непосредственно от трансмиссии, хотя нек-рые типы М. имеют паровые или воздушные подъемники; предназначаются они гл. обр. для штамповки. На фиг. 6 показан чертеж 2-*m* падающего



Фиг. 7.

М. сист. Бретт с фрикционным подъемником (фиг. 7); для очень тяжелых молотов (до 20 *m*) применяются паровые или пневматич. подъемники (фиг. 8). Этот тип М. применяется в Англии. В США применяют падающие М. с доской (фиг. 9). Вес падающих частей этих М. достигает 2 *m*. Чтобы увеличить подъемную мощность доски и уменьшить ее износ, фирмой Эри сконструирован 4-роликовый падающий молот с доской. Все

Табл. 5.—Характеристика М. КМЗ арочного типа.

Величины	Вес падающей части в *m*						
	1	1,5	2	3	5	8	12
Диаметр цилиндра в *мм*	310	360	400	460	565	680	800
Давление пара в *atm*	6	6	6	6	6	6	6
Ход поршня в *мм*	850	1 000	1 150	1 380	1 760	2 300	2 800
Толщ. норм. поковки в *мм*	210	250	290	350	450	575	700
Толщина максимальной поковки в *мм*	315	375	435	525	675	860	1 050
Размеры бойка: дл. в *мм*	380	420	480	540	630	750	880
Размеры бойка: шир. в *мм*	250	280	320	360	420	500	580
Высота между шаботом и параллелями М. в *мм*	900	980	1 050	1 130	1 300	1 400	1 600
Расстояние между стойками в *мм*	2 000	2 200	2 400	2 800	3 400	4 000	4 500
Высота М. от пола в *мм*	4 300	4 600	5 200	6 000	7 000	8 300	10 000
Действительн. эффект удара при поковке нормальн. толщ. в *кгм*	2 940	4 790	6 950	11 350	22 730	43 800	75 700
Вес молота без шабота в *m*	12,6	17	22,2	31,2	49,6	76,6	110
Вес шабота в *m*	19	28,5	38	57	95	152	228

Табл. 6.—Характеристика М. арочного типа фирмы Массей.

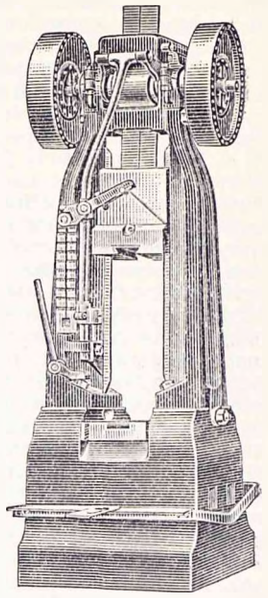
Величины	Вес падающих частей в *m*								
	150	350	1 000	1 500	2 000	3 000	5 000	8 000	12 000
Диам. цилиндра в *мм*	187	250	362	425	450	525	687	800	900
Ход поршня в *мм*	425	600	825	975	1 125	1 350	1 650	1 950	2 250
Размер бойков в *мм*	200×150	275×200	387×250	437×300	487×345	537×400	700×400	800×550	875×550
Расстояние между направл. в *мм*	255	280	425	512	562	637	725	875	900
Расстояние между станинами в *мм*	1 200	1 350	1 900	2 300	2 550	3 300	3 625	4 200	4 750
Расстояние между шаботом и направляющими в *мм*	175	295	400	525	625	825	900	—	—
Общая высота М. в *мм*	2 250	2 900	3 800	4 325	4 625	5 300	6 500	7 525	8 175
Диаметр входной и выходной трубы в *мм*	44 и 56	62 и 75	87 и 112	100 и 125	112 и 137	125 и 150	150 и 175	175 и 200	200 и 225
Вес: общий в *m*	3½	7¼	17½	27¼	35	49	78½	121	175
Вес: без шабота в *m*	2¼	4½	9¾	15½	19½	25½	39½	58	82
Вес: без шабота и плиты в *m*	1¼	2¾	6¼	10	12¾	18½	28½	44	63

Давление пара от 3,3 до 5,3 *atm*, рекомендуется 4 *atm* (5 *atm* абс.)

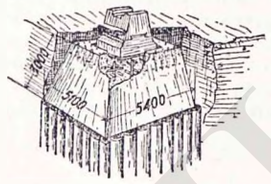
эти молоты—штамповочные и приспособлены для нанесения внецентренных ударов, а потому имеют очень мощные направляющие.

Фиг. 8.

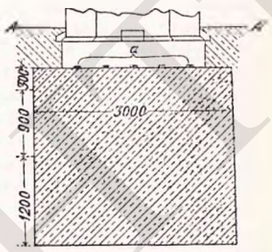
При установке молотов всех типов одним из главнейших условий для правильной работы и сохранения механизмов от расстройства является устройство фундамента. Основным правилом для установки штамповочных М. считают, чтобы вес шабота был ≥ 20-кратному весу падающих частей М. Фундамент изготовляется из бетона и щебня красного кирпича, проходящего через 50-*мм* грохот и задерживающегося на 25-*мм*; не допускается примесь огнеупорного кирпича—шамотного и динасного. Нижняя площадь основания д. б. такова, чтобы нагрузка на грунт не превосходила 3 *кг/см*²; если грунт не выдерживает такой нагрузки, требуется укрепление его сваями (фиг. 10). Между шаботом и фундаментом часто делают прокладку из дубовых брусьев поперечного сечения 300 × 300 *мм*; шабот кругом заливают цементом. Следует заметить, что англ. штамповщики иногда устанавливают шабот непосредственно на бетон, заливая шабот в верхний слой цемента и стягивая фундамент с шаботом болтами, что обеспечивает всей нижней части М. монолитность. При такой установке получается жесткий удар и штамповка очень хорошо отпечатывается. На фиг. 11 изображен изготовленный таким обр. фундамент для 1-*т* падающего М. (*а* — тонкие стальные полосовые прокладки, *А*—*А*—уровень пола). Размер бетонного стула 2 400 × 3 000 *мм*. Слой 1 200 *мм* изготовляется из смеси: 1 ч. цемента, 2 ч. песку и 4 ч. гранитного щебня, проходящего через сетку 50—60 *мм*. Слой 900 *мм*—1 ч. цемента, 2 ч. песку и 3 ч. гранитного щебня размером 25 *мм* и слой 300 *мм*—того же состава, но гранитный щебень 18 — 20 *мм*. Бетон хорошо перемешивается в сухом состоянии и после прибавки воды наносится слоями не более 200 *мм*. Перерыва в кладке не допускается, в целях достижения ее монолитности. По окончании верх отделывается по ватерпасу и покрывается мокрыми мешками по крайней мере за неделю до установки шабота. Большое затруднение в непрерывности выполнения работы возникает при изготовлении фундамента для станины М., но все же это требование непрерывности обязательно должно быть выполнено. Необходимо также проверить перед установкой шабота ровность поверхности и выпуклости, их, если имеются, необходимо срубить. Вообще лучше, чтобы были впадины, так как



Фиг. 9.



Фиг. 10.



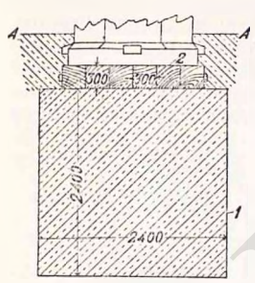
Фиг. 11.

жидкий цемент во время заливки шабота хорошо заполнит их и соединит в одно целое

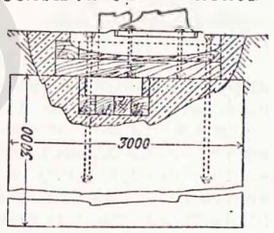
Табл. 7.—Типы М. и особенности их применения.

Тип М.	Вес	Высота подъема в *м*	Число ударов в мин.	Род энергии	Назначение
Падающий М.	100 *кг*—5 *т*	2—2,5	40—50 Автоматические и отдельные удары	Электрич., от привода	Штамповка
а) фрикционный	100 *кг*—3 *т*				
б) с паровым (возд.) подъемником	500 *кг*—20 *т*			Пар, воздух	
в) с доской	100 *кг*—2 *т*			Электрич., от привода	
г) » » 4-роликовый	до 5 *т*				
Паровой М. двойного действия (или пневматический)	25 *кг*—15 *т* (редко выше)	0,7—1 и выше для больших размеров	Произвольно—от отдельных до 200 ударов. Спец. автоматич. М. до 600 ударов	Пар, пневматика (сжатый воздух)	Всевозможные кузнечные работы
Воздушный М.	50 *кг*—2 *т*	0,3—0,8	100—250 Автоматич. и отдельн. удары	Электрич. и приводн.	Свободная ковка и штамповка
Пружинный М.	50—250 *кг*	0,2—0,4	100—300 Автоматич. удары	Электрич. и приводн.	Ковка тонких изделий

фундамент с шаботом. Сверху заливают слой бетона в 400—450 *мм*. На фиг. 12 представлена обычная установка $^1/_2$-*т* падающего М. (*1*—бетон, *2*—дубовые балки, *А*—*А*—уровень пола), а на фиг. 13 показана установка $^3/_4$-*т* одностанинного парового М. (фиг. 2). Шабот установлен на брусьях независимо от брусьев под станиной, но вся установка покоится на одном общем фундаменте. Надзор за фундаментом во время работы является обязательным и состоит гл. обр. из наблюдения за поверхностью шабота по уровню; малейший перекос следует устранять, иначе легко разбить весь М. и получить большой брак в поковке. Для ковочных М. больших размеров фундамент принимает такие большие размеры, что работу ковки выгоднее заменить прессовой, но для штамповки М., особенно паровой, остается незаменимым механизмом.



Фиг. 12.



Фиг. 13.

Кроме перечисленных выше типов М. имеются специальные М., по большей части малого размера—хвостовые, пружинные, имеющие специальное назначение; таковые описываются при соответствующем производстве. В табл. 7 приведены типы М. и особенности их применения.

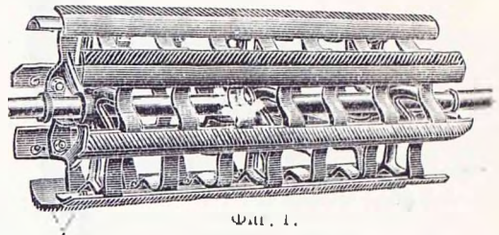
Лит.: 1) «The Drop Forger», Birmingham, 1926, v. 6. *I.*—Гавриленко А. П., Механич. технология металлов, ч. 3. Обработка металлов давлением, 5 изд. М., 1925; Бергман О., Горячая обработка металлов, пер. со швед., т. 5, Л.—М., 1928; Прегер Э., Обработка металлов, ч. 2, Ковка, сварка, термич. обработка, пер. с нем. М., 1928; Жез Л., Ковка и прокатка, пер. с фр., Л., 1928; Кодрон К., Горячая обработка металлов, пер. с фр., т. 1, 2, 3, М., 1929; Fuchs O., Schmiedehämmer, Berlin, 1922; Schneider A., Gesenkschmieden, Uhlands Technisches Auskunftsbuch, Lpz., s. a.; Oetling C., Schmiede u. Schmiede-Technik, B. 1, Mch.—Berlin, 1920; Halse A., Lufthämmer, «Werkstattstechnik», Berlin, 1924, Heft 9; Cyron, Wirtschaftlichkeitsstudie des Schmiedebetriebes unter besonderer Berücksichtigung der Schmiedehämmer, «Glasers Annalen», Berlin, 1924, B. 94.

К. Грачев.

МОЛОТИЛКИ, машины для производства молотьбы, т. е. выделения зерна из колосьев, стручков или початков. Разнообразные способы молотьбы в основном сводятся к следующим: 1) ручная молотьба при помощи цепа, вальков, палок, колотушек и рукавиц или ударами снопов о камни и колоды; 2) гарманование—вытаптывание зерна из колосьев лошадьми, для чего их гоняют по разостланным снопам на току (гарман), телегами или деревянными и каменными рифлеными катками весом 100—200 *кг*; 3) машинная молотьба (при помощи М.). Для молотьбы снопы предварительно просушивают в зависимости от климатич. и местных условий в поле (в копнах, крестах) или овинах. Простейшим орудием для ручной молотьбы является цеп, состоящий из рукоятки длиной 1,4 *м* и мотовила длиной 0,4 *м*, связанных между собою ремнем. Мотовилу при молотьбе придают вращательное движение, так чтобы оно после удара не отскакивало назад, а продолжало кругообразное движение. Производительность при молотьбе цепами считают от 60 до 100 снопов в день на человека; при гармановании производительность доходит до 1 000 снопов в день. Недостатками этих примитивных приемов молотьбы являются низкая производительность, возможность загрязнения зерна землей и навозом и неизбежная значительная потеря зерна от невымолота, доходящая до 5—7%.

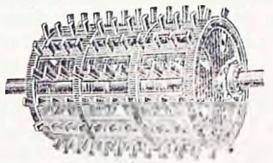
М. была изобретена в Европе А. Мейклем в 1785 г. (бильный барабан), а в Америке С. Торнером в 1831 г. (штифтовый барабан). М. разделяются на: 1) простые, только вымолачивающие зерно или отделяющие от вороха только солому; 2) полусложные, с одной очисткой; 3) сложные, с 2 очистками и сортировальным цилиндром. По роду двигателя М. разделяются на ручно-конные, моторные и паровые.

Главной рабочей частью М. является барабан; барабаны бывают двух типов: 1) действующие вытиранием зерна из колоса и 2) действующие ударами. Рабочими частями барабана первого типа служат 6—8 бил,

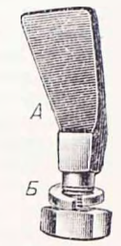


Фиг. 1.

или бичей (фиг. 1, *А*), а для второго типа—особые зубья (фиг. 2) или штифты (фиг. 3 *А*). Бильный барабан имеет обычно рифленые бичи, редко гладкие. Материалом для бичей могут служить ковкий чугун и прокатная сталь с удлинением при разрыве не менее 12—15% (и в крайнем случае чугун). Иногда бичи для смягчения удара укрепляют на деревянных подкладках (подбичниках). Бичи укрепляют при помощи болтов с потайными головками. Насечка на бичах делается в противоположных направлениях, чтобы не происходило сбивания снопа к одной стороне барабана. Зубья барабанов делают только из мягкой стали различной формы. Простейший зуб—



Фиг. 2.

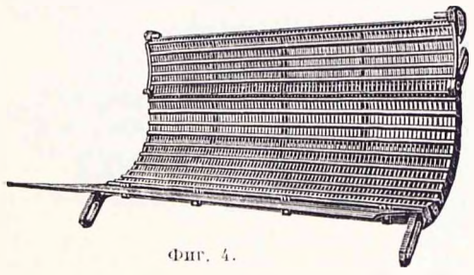


Фиг. 3.

симметричный двусторонний; преимущество его в том, что при спашивании одной стороны он может быть повернут на 180°.

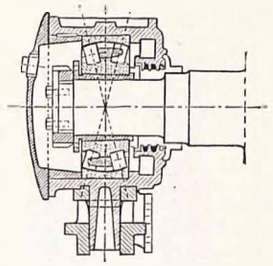
Гораздо правильнее делать зуб, которого рабочая часть отогнута назад под углом к направлению движения, меньшим угла трения соломы о сталь, чтобы зуб не тащил за собой последнюю. Для усиления действия зуба боковые грани его часто делают рифлеными. Зубу часто придают форму клина для достижения более правильной регулировки расстояния между зубьями барабана и деки. Зубья укрепляются на барабане при помощи гаек. Расположение зубьев по барабану производится по винтовой линии—двухходовой или трехходовой. Штифтовые барабаны делают глухими и открытыми; осмотр и ремонт последних гораздо удобнее. Вследствие большой скорости (900—1 200 об/м.), барабан должен быть хорошо уравновешен статически и динамически (в ы б а л а н с и р о в а н). Уравновешивание производят на стальных призмах и специальных станках.

Около барабана устанавливается так наз. д е к а, усаженная планками или зубьями в зависимости от типа барабана. Деки делают различного устройства, например дека америк. М. — со сменными зубчатыми секциями и с решеткой или дека для бильного барабана, состоящая из двух частей (фиг. 4). Дека охватывает барабан по окружности на



Фиг. 4.

расстоянии $^1/_3$—$^2/_3$ и располагается сверху или снизу барабана. В первом случае снопы в М. подаются кверху (верхняя подача); во втором—подача производится с наклоном вниз (нижняя подача). М. с нижней подачей производительнее, чем с верхней, так как сноп сам скатывается к барабану и его не надо проталкивать, и более безопасны для работающего в случае попадания в барабан камней, гвоздей и пр.; не менее 50% всех несчастных случаев с рабочими в сел. х-ве имеют место при молотьбе М. Дека устанавливается по отношению к барабану так, чтобы входное отверстие было шире, чем выходное; обыкновенно входное отверстие устанавливают размером в 25 *мм*, а выходное в 6—12 *мм*, но в зависимости от состояния и рода хлеба расстояния эти изменяются в довольно широких пределах. При верхней подаче дека устанавливается при помощи нажимного винта с маховичком; при нижней подаче в случае зубчатого барабана дека регулируется передвижением конца ее посредством особого эксцентрика. Эксцентрик сидит на квадратной оси, которая м. б. повернута ключом или особой рукояткой. Дека бильных барабанов устанавливается тремя винтами, расположенными снаружи; установка поверяется через особые смотровые окна. Расстановка зубьев в деке д. б. такова, чтобы не происходило перебоев в зацеплении зубьев барабана и деки. Вал барабана при работе может прогибаться, что вызывает увеличение трения в подшипниках и ведет часто к нагреванию и срабатыванию как вала, так и вкладышей подшипников. Поэтому правильно выбранные размеры вала, подшипников и смазка имеют большое значение для уменьшения простоев М. во время работы. Наиболее распространенной из систем подшипников для молотильных барабанов являются подшипники Селлерса с подвижными вкладышами и кольцевой смазкой или *шарикоподшипники* (см.), простые и сложные, обоймы к-рых также могут устанавливаться самостоятельно (фиг. 5).



Фиг. 5.

С о л о м о т р я с ы служат для выделения крупной соломы; они бывают клавишные, пальчатые (фиг. 6) и каскадные (фиг. 7). К л а в и ш н ы й с о л о м о т р я с представляет собою длинные дощатые рамки (клавиши), обитые сверху треугольными деревянными планками или железным листом с пробитыми отверстиями и отогнутыми вверх краями. При движении клавиш планки подхватывают солому и проталкивают ее вперед. Клавиши устанавливают на одном или двух коленчатых валах, вследствие чего все точки клавиши получают вращательное движение в вертикальной плоскости. Перед движением клавиши кверху она подхватывает солому и одновременно продвигает ее вперед в направлении от барабана, а при

Фиг. 6.

опускании вниз движется в обратном направлении вхолостую, а тем временем соседние клавиши подхватывают солому и продвигают ее дальше. Очень часто клавиши располагают на одном коленчатом валу с одной стороны, а с другой подвешивают на планках; при этом части клавиши около коленчатого вала получают вращательное движение, а части, находящиеся около подвесок,—качательное, вследствие чего условия протряхивания соломы в различных частях соломотряса будут неодинаковы. П а л ь ч а т ы й с о л о м о т р я с (фиг. 6) представляет

Фиг. 7.

собою длинное решето, над к-рым в несколько рядов располагаются деревянные или железные прутья (пальцы), к-рые делают сильные размахи и, подхватив солому, подбрасывают ее кверху. К а с к а д н ы й с о л о м о т р я с (фиг. 7) имеет отдельные ступени, с к-рых перебрасывается солома, и б. ч. снабжается зубчатыми гребнями, которыми солома захватывается и протряхивается. Для того чтобы протряхивание соломы и подбрасывание ее на соломотрясе происходило успешно, необходимо, чтобы ускорение движения клавиши вверх было больше, чем ускорение силы тяжести. Если r—радиус коленчатого вала, n—число об/м., ω—угловая скорость и g—ускорение силы тяжести, то $\omega^2 \cdot r > g$, т. е.

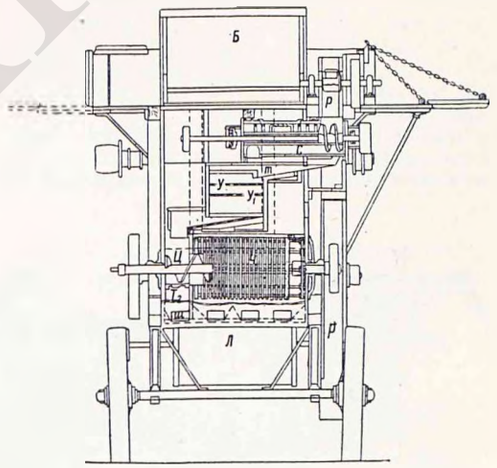
$$n > \frac{30}{\pi}\sqrt{\frac{g}{r}}.$$

Г р о х о т служит для отделения мелкой соломы (с б о и н ы). Грохот представляет собою длинное решето с отверстиями. Отверстия делаются круглые воронкообразные. Грохот делают большею частью ступенчатым для лучшего передвижения по нему соломистых частей. В сложных М. грохот часто продувается воздухом от вентилятора; в этом случае отверстия делают на железном листе в виде прорезов с отогнутыми краями (грохот Греппеля, см. *Веялка*) или в виде планок наподобие жалюзи, наклон которых может быть регулируем. Для успешной работы грохота должно существовать соотношение: $\omega^2 r > gf$, где f—коэф. трения.

Р у ч н ы е и к о н н ы е М. Ручная М. строится обычно с глухим зубчатым барабаном, верхней подачей и декой, устанавливаемой маховичком. Механизм ее состоит из двух пар зубчатых колес, реже из цепной передачи. Вращение барабана осуществляется при помощи двух рукояток, на каждой из которых одновременно работают два человека. Эта М. превращается в конную путем перестановки зубчатки с главным валом вниз и соединения его при помощи шарнира Гука со штангой, идущей от привода. Конные М. имеют обыкновенно зубчатый открытый барабан с нижней подачей; такие М. снабжаются соломотрясом и грохотом, глухими и приставными. *Конный привод* (см.) к М. обычно состоит из двух пар зубчатых колес: первая пара делается цилиндрической с внутренним или наружным зацеплением, в зависимости от размеров; вторая пара делается конической.

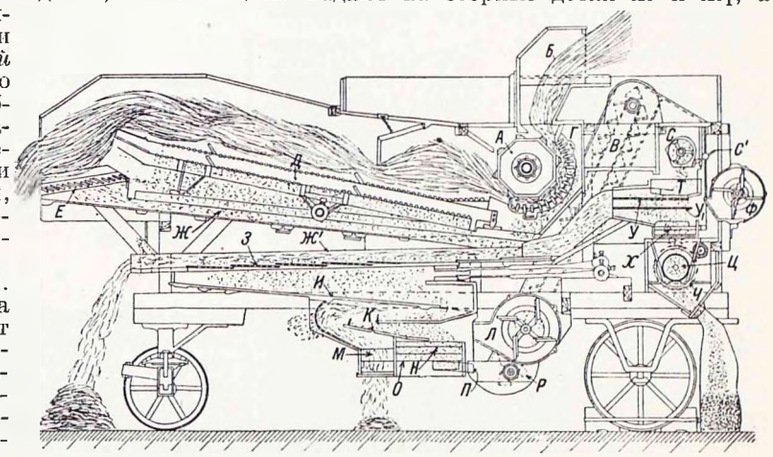
П о л у с л о ж н ы е М. Полусложная М. завода «Красная звезда» имеет штифтовый барабан с нижней подачей; за барабаном ставится особый барабанчик (б и т е р), служащий для задерживания соломы от наматывания на барабан и для направления ее на соломотряс; соломотряс ставится пальчатый, и над ним подвешивается фартук, придерживающий солому; грохот делается деревянный ступенчатый с круглыми отверстиями; грохот и соломотряс приводятся в движение одним коленчатым валом; под грохотом располагаются решета веялки, продуваемые вентилятором. С верхнего решета сдувается мякина, со второго—сходит невымолоченный колос, с третьего—выходит зерно. Полусложные молоты приводятся в работу 6—8-сильным двигателем.

С л о ж н ы е е в р о п е й с к и е М. (фиг. 8 и 9), снабжены бильным восьмилапочным



Фиг. 8.

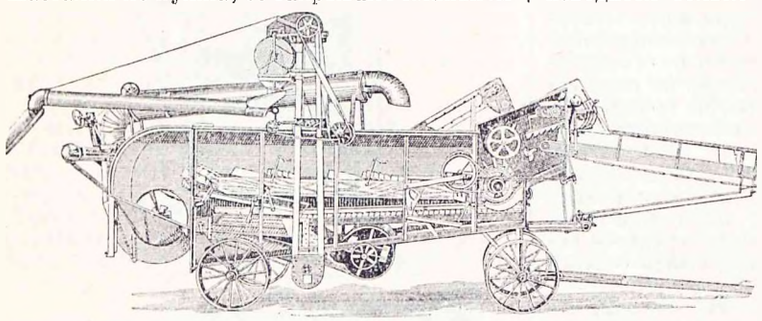
барабаном A; подача у них производится через приемное приспособление $Б$ подавальщиком, стоящим на площадке B; дека $Г$ состоит из двух частей и регулируется тремя винтами. В конце деки прикреплен тонкий железный лист для направления на соломотряс вылетающего вороха. Соломотряс $Д$ клавишный; над соломотрясом установлены щитки (фартук), служащие для задерживания соломы. С основного соломотряса солома передается на второй, дополнительный соломотряс $Е$. Битая солома, мякина и зерно падают на сборные доски $Ж$ и $Ж_1$, а



Фиг. 9.

оттуда направляются на ступенчатый грохот $З$. Битая солома проходит поверх грохота, а зерно и мякина падают через отверстия грохота на скатную доску $И$ и с нее на мякинное решето $К$. Здесь они подвергаются действию воздушной струи от венти-

лятора *Л*. Мякина отдувается от решета и через отверстие *М* падает под М. Зерно, попадая на скат, проходит оттуда сквозь решето *Н*, на к-ром задерживаются крупные части; после этого зерно падает на решето *О*, сквозь которое проваливаются песок и мелкие семена сорных трав. Зерно по рукаву *П* направляется к ковшевому элеватору *Р*, поднимающему зерно вверх. Здесь зерно проходит через шасталку *С*, представляющую собой барабанчик, снабженный плоскими зубьями и рифлеными планками и охваченный кожухом с шероховатой поверхностью. В шасталке зерно перетирается, от него отбиваются ости и шелуха (шасталка применяется для ячменя и пшеницы); если работа шасталки не нужна, ее закрывают клапаном



Фиг. 10.

C_1. Тогда зерно идет по скату *Т* ко второй веялке, где подвергается вторичной очистке на решетах *У* и $У_1$ под действием струи воздуха от вентилятора *Ф*. Затем зерно на решете *Х* очищается от мелких примесей и оттуда червяком *Ц* передается в сортировальный цилиндр *Ч*. Если зерно не подвергается сортированию, то оно выпускается через выход *Ш* открыванием заслонки $Т_2$, расположенной под шнеком. В сортировальном цилиндре зерно разделяется на три сорта, выходящие через соответствующие отверстия в мешки.

Американские сложные М. (фиг. 10). Подача снопов в америк. М. производится обычно самоподавателем с бесконечным полотном. Снопы разрезаются особыми ножами (качающимися или вращающимися) и направляются к барабану, около которого часто ставится особый распределитель (ретардер), распределяющий солому по всей ширине барабана. Самоподаватель м. б. выключаем особым регулятором в том случае, если барабан начинает перегружаться и понижает число оборотов. При восстановлении барабаном нормального числа оборотов самоподаватель автоматически включается. За барабаном располагают битер—барабанчик, удерживающий солому от наматывания на барабан и направляющий ее на соломотряс. Соломотряс делается большого размера, ступенчатый; с него солома идет в кожух эксгаустера, к-рым выбрасывается по трубе прямо в скирду. Труба автоматически от механизма получает движение в ту и другую сторону для равномерной кладки в скирды. Зерно гл. обр. проваливается через подбарабанье и добавочную решетку и идет по скатной доске на грохот, являющийся ее продолжением. Мякина и оставшееся в соломе зерно проваливаются через отверстия соломотряса и также попадают на грохот, где мякина отделяется действием струи воздуха от нижнего вентилятора и перегоняется в кожух эксгаустера. На первом решете под грохотом отделяется невымолоченный колос, который сначала червяком, а затем элеватором передается снова в барабан. На втором решете зерно очищается от мелких примесей и подается на второй червяк, откуда оно элеватором поднимается кверху и пропускается через особый автоматический счетный аппарат — весы. Окончательно зерно идет по трубе в мешки или повозки. Вторая очистка обыкновенно не применяется и производится только по особому требованию.

Сложная клеверная М. имеет два барабана: один отделяет головки от соломы, а другой вытирает из головок зерно. Терочный барабан имеет б. ч. короткие рифленые зубья и охватывается зубчатым кожухом вокруг. Соломотряс при движении вперед и вверх отбрасывает солому, а при движении назад и вниз продвигает головки клевера по скатной доске к терочному барабану. Простая клеверная терка имеет бильный барабан с гладкими билами, охваченный кожухом, нижняя часть к-рого состоит из сита с отверстиями, пробитыми внутрь, вследствие чего поверхность получается шероховатой, а верхняя часть кожуха—из плетеного решета. Подача головок производится с одного края, а выход с другого края барабана. Барабан делает 1 000 об/м. Производительность сложных клеверных терок 120—200 *кг/ч*, а простых до 150 *кг* в день. Для молотьбы гороха на обычных М. приходится оставлять деку и понижать число об/м. до 400—500. Для молотьбы гороха существуют специальные М. с двумя барабанами. Для молотьбы риса надо понизить число оборотов на 10% и увеличить силу нижнего вентилятора. Для молотьбы кукурузы применяются особые молотилки—шеллеры и шредеры.

Производительность М. рассчитывается по формуле:

$$m' = 0{,}6\,\frac{75N(1-f)}{v^2},$$

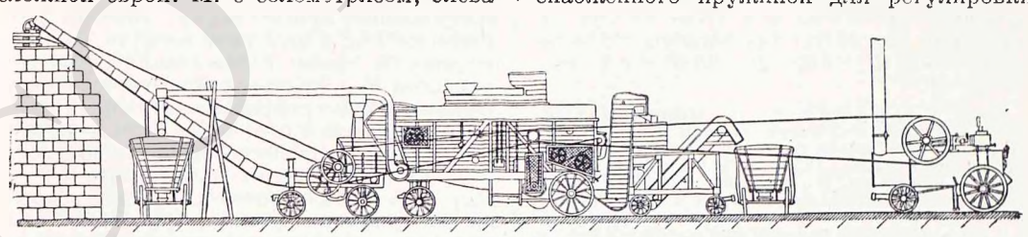
где m'—масса снопов в 1 ск. Производительность конных М. считается 1 сноп на 1 лошадь в 1 м., вес снопа считается 7 *кг* при соотношении веса зерна к весу соломы как 1 : 2 для озимого хлеба и как $1 : 1\frac{1}{2}$ для ярового. Производительность сложных М. также считается 1 сноп на 1 HP в мин. Для сложных М. с бильным барабаном производительность *Q* за 10-часовой день рассчитывается по ф-ле Хвостова (в *кг*):

$$Q = \frac{0{,}31 \cdot n \cdot R}{6 \cdot 16},$$

где *l*—длина барабана в *м*, *n*—число об/м. и *R*—число планок барабана. Расход мощности пропорционален длине и диаметру молотильного барабана. Для простых М. требуется двигатель в 3—8 HP, для сложных 8—30 HP и более. Расход мощности на рабочий ход в 3—4 раза больше мощности на холостой ход в зависимости от рода хлеба и его состояния. Расход мощности на отдельные рабочие органы для сложной америк. М. при холостом ходе примерно распределяется так: на барабан 10—20%, соломотряс 2—3%, вентилятор 7—10%, колосоподъемник 5%, элеватор 3—5%, решетный стан 2—3%, самоподаватель 5—10%, эксгаустер 40—50%, остальные рабочие части 5—10%. Расход мощности в европ. М. распределяется приблизительно так: на барабан 50%, соломотряс 5%, грохот 10%, вентилятор второй веялки 5%, элеватор 3%, шасталка 6% и сортировка 4%. На фиг. 11 видно расположение машин при работе на сложной европ. М. с соломотрясом, элева-

нич. барабаном, приводимым в работу от шкива *3*; зерно подвергается очистке на веялке от вентилятора *4*, очищенное зерно передается шнеком на элеватор *5*, откуда по рукавам высыпается в мешки; отделенные оболочки и примеси высасываются эксгаустером *6* и направляются в трубу, оканчивающуюся брезентовым рукавом *7*; стержни початков подхватываются особым элеватором, расположенным внутри камеры М., и выбрасываются в ковш, откуда поднимаются элеватором, расположенным слева *S*. На фиг. 13 виден цилиндрич. барабан шелера: слева на валу барабана насажен шнек *1* для подачи початков, посредине—била барабана *2*, справа—шнек для отвода стержней *3*; снизу барабан охвачен решеткой *4*, служащей декой, через к-рую проваливаются вымолоченные зерна.

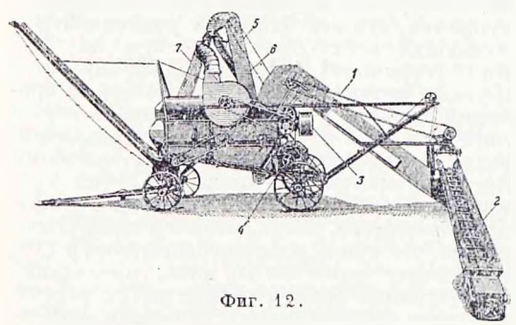
Производительность дискового шелера, снабженного пружиной для регулировки,



Фиг. 11.

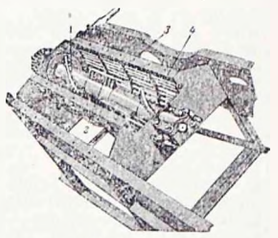
тором для соломы, транспортерами для подачи зерна и мякины в повозки и двигателем.

М. кукурузная. Кукурузная М., или шелер, служит для вышелушивания зерна из початков, с к-рых оболочка предварительно снята, или из початков с оболочкой. Кукурузные шелеры бывают как простые, так и сложные, снабженные веялками для отделения примесей и пыли и элеваторами, служащими для подачи початков и отвода зерна. Кукурузные шелеры бывают двух родов: дисковые и барабанные. Примером дискового может служить ручная М. Здесь початок вставляют вертикально в воронку, и он захватывается снизу зубьями диска, зерно сыплется вниз, а стержень выскакивает вбок. Степень нажатия диска регулируется пружиной. Небольшие конные и моторные М. снабжаются такими же дисками и делаются на одну или две воронки. Сложный



Фиг. 12.

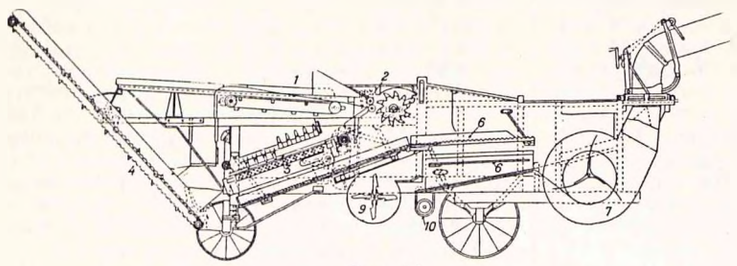
кукурузный шелер виден на фиг. 12. Справа расположен самоподаватель *1*, к которому иногда добавляется транспортер *2*; вымолачивание производится цилиндрич. или конической решеткой, снабженной плоскими зубьями, расположенными по винтовой линии. Производительность считается следующей: для шелера с 2 приемными отверстиями—2 000 до 3 000 *кг/ч*, с 6 отверстиями 5 500—10 000 *кг/ч* и с 8-ю—10 000—14 000 *кг/ч*. При молотьбе початков с оболочками производительность считается вдвое меньшей. Барабанный шелер вышелушивает 10 000—19 000 *кг/ч* из початков без оболочек, а с оболочками—3 500—7 000 *кг/ч*. Очень крупные машины дают производительность до 50 000 *кг/ч*. Число оборотов барабана около 800 в м. Потребная мощность для дискового шелера малых размеров считается 6—8 HP, а для большого с 8 отверстиями—14—20 HP. При добавочном транспортере необходимо прибавить 2 HP, а при эксгаустере еще 2 HP. Барабанный шелер требует 25—30 HP для малых машин, до 50—75 HP для крупных.



Фиг. 13.

Другой тип кукурузной молотилки представляет собой хоскер-шредер, задача которой состоит в том, чтобы отделить початки от стеблей, снять с них оболочку и измельчить стебли; последнюю операцию выполняет специальная машина—шредер. Хоскер-шредер, строго говоря, не является молотилкой, так как он не выделяет зерна. На фиг. 14 дана его схема. Подача производится на бесконечное полотно *1*; отделенные вальцами *2* початки скатываются по решету *3* и попадают на элеватор *4*; стебли подвергаются разрезанию ножами *5* и передаются соломотрясом *6* в заднюю камеру, откуда они высасываются эксгаустером *7*

и отводятся по трубе 8; оторванная оболочка отдувается вентилятором 9; отбитое случайно зерно попадает в жолоб 10, откуда шнеком передается на особый элеватор, с которого зерно ссыпается в мешки. Шредерный барабан делает 1 000 об/м. Производительность



Фиг. 14.

хоскер-шредера с 2 вальками—5,3—7 *гл*, с 8 вальками—16—28 *гл* и с 12-ю—28—42 *гл*. Потребная мощность: для машины с 2 вальками—5—10 HP, с 8-ю—20—25 HP и с 12-ю—30—40 HP.

Лит.: Горячкин В. П., Молотилки, СПБ, 1905; его же, Земледельч. машины и орудия, М., 1923; его же, Теория барабана, «Вестник металлопромышленности», М., 1924, *4—6*; Ган В. Ю., Локомобиль и молотилка, М., 1925; его же, Заметки об определении усилий, развивающихся в молотилках от инерции ее качающихся органов, Петербург, 1911; его же, Сложные паровые молотилки, «Известия Донского политехническ. института», Новочеркасск, 1921; Алов А., Америк. самоподаватели, СПБ, 1906; Арцыбашев Д. Д., Америк. молотилки, СПБ, 1906; Каган М. М., Современные конные молотилки, СПБ, 1909; Иванов С., Локомобиль и молотилка, СПБ, 1913; Мак-Грегор, Инструкция для употребления машин Кейс, Одесса, 1909; Добровольский В. А., Локомобиль и молотилка, Одесса, 1923; Дебу К. И., Простые молотилки, П., 1922; Яшин З. М., К вопросу установления стандартного типа конно-ручной молотилки, Минск, 1926; Никифоров С. И., Сложная молотилка, Устройство молотилок и локомобиля, Работа их и обращение с ними, М.—Л., 1927; Шиловский К. П., Америк. сложная молотилка Адванс-Румели, М., 1929; его же, Справочник по с.-х. тракторному инвентарю, вып. 2, М., 1927; Крыль Б. А., Новое в области сел.-хоз. машиностроения, М.—Л., 1928; Вейс Ю. А., Курс с.-х. машиноведения, 3 изд., М.—Л., 1929; Вальтер К., Сел.-хоз. машины и орудия, ч. 3, пер. с нем., Рига, 1923; Игнатовский Н. Ф., Теория барабана молотилки, «Вестник металлопромышленности», Москва, 1928, *2*; «Вестник металлопромышленности», Москва, с 1923; «Машина в деревне», Москва, с 1929; Balassa Fr., Die Dreschmaschinen, Berlin—Mch., 1912; Fischer G., Landwirtschaftliche Maschinenkunde, Leipzig, 1928; Schwarzer K., Landmaschinenkunde, 3 Aufl., Berlin, 1927; Vormfelde K., Landmaschinen, Handbuch d. Landwirtschaft, hrsg. von F. Aereboe, I. Hansen u. Th. Rohmer, B. 3, B., 1928—29; «Die Technik in d. Landwirtschaft», Berlin; «Die Landmaschine», Berlin; «Agricultural Engineering», Clemens; «Farm Mechanics», Chicago; «The American Thresherman», Madison; «The Implement a. Machinery Review», L. **Б. Криль.**

МОЛОЧНАЯ КИСЛОТА, оксипропионовая, известна в двух изомерных формах: $CH_2(OH)\cdot CH_2\cdot COOH$ — этиленмолочная к-та и $CH_3\cdot CH(OH)\cdot COOH$ — этилиденмолочная, или М. к. брожения. Последняя, как имеющая асимметрич. атом углерода, образует два стереоизомера: *α*- и *β*-М. к.; хотя каждый из них м. б. получен в отдельности, однако чаще они встречаются в сочетании, давая оптически недеятельную, или рацемическую, М. к. Технич. значение имеет только этилиденмолочная к-та; в химически чистом виде она м. б. получена в виде кристаллов, уд. в. 1,24, сильно гигроскопических, легко расплывающихся и плавящихся при 18°; $t°_{кип.}$ 122° (при 15 *мм* рт. ст.); М. к. смешивается с водой и спиртом, мало растворима в эфире. М. к. легко теряет воду и превращается в лактид (см. *Лактоны*), имеющий $t°_{пл.}$ от 120 до 122°, а также, смотря по условиям, в ряд других веществ с более высоким мол. весом.

М. к. содержится в разнообразных пищевых продуктах: так, она присутствует в квасе (~ 0,6%); кислый вкус черного хлеба, сметаны, творога, простокваши зависит от содержания в этих продуктах М. к.; еще выше содержание М. к. в молочных продуктах целебного или диэтич. назначения (мечниковская простокваша, кумыс, кефир, айран), доходящее до 1%; в квашеной капусте, соленых огурцах, а также в силосованных кормах для скота М. к. является веществом, обусловливающим консервирование этих продуктов.

Промышленное получение М. к. основано на процессе молочнокислого брожения (способы получения М. к. чисто химич. путем, напр. действием щелочей на глюкозу, оказываются менее выгодными). Молочнокислые бактерии в подходящих условиях производят расщепление сахаров (глюкозы, мальтозы, тростникового сахара и пр.) на М. к. почти точно по ур-ию $C_6H_{12}O_6 = 2C_3H_6O_3$ (см. *Брожение*). Исходным материалом служит сахаристое вещество (глюкоза, мальтоза) или крахмал, который д. б. подвергнут предварительному осахариванию (диастазом или кислотой). Для нормального хода брожения необходимо присутствие нек-рых питательных веществ, главн. обр. азотистых; поэтому в бродильные чаны прибавляют солод или другие богатые азотом вещества. В. Шапошниковым и А. Мантейфелем предложен метод получения М. к., к-рый сводится к брожению глюкозы или другого сахара в среде, содержащей $CaCO_3$ и растворимые растительные белки типа глобулинов. Брожение ведется в высоких чанах, снабженных приспособлениями для обогрева и мешалкой для взмучивания мела. Заражение субстрата производится разводкой чистой культуры Bacillus acidificans longissimus, имеющей то преимущество, что эти бактерии развиваются и позволяют вести брожение при 50—52°; эта $t°$ устраняет опасность заражения чанов другими микроорганизмами. За ходом брожения следят, учитывая ежедневно имеющийся налицо в чане сахар (титрованием, фелинговой жидкостью или иным способом). При нормальном ходе процесса в сутки сбраживается ок. 1,5% сахара; процесс считается законченным, когда остаются лишь следы сахара, что при исходном содержании в 13% происходит через 8—10 дней; предельная концентрация сахара определяется растворимостью получающегося из него (в присутствии мела) лактата кальция. Когда брожение закончено, чаны прогревают до 70—80° для умерщвления бактерий (осветление чана) и проведения более полной нейтрализации

к-ты, после чего жидкости дают отстояться и сливают ее с осадка в кристаллизационные чаны, где она при остывании превращается в сплошную белую массу кристаллов, отделяемых от маточного раствора на центрифуге. Получающийся так. обр. молочнокислый кальций непосредственно или после перекристаллизации растворяют в возможно меньшем количестве горячей воды и разлагают осторожным прибавлением серной к-ты, прибавляемой при постоянном помешивании в количестве достаточном, чтобы связать весь кальций лактата в виде $CaSO_4$. После отфильтровывания $CaSO_4$ на фильтр-прессе жидкость упаривают в вакууме при умеренном нагревании до нужной концентрации. Полученная описанным образом техническая (~ 50%-ная) М. к. имеет светлокоричневую окраску, от которой она м. б. освобождена осторожным прибавлением таннина с последующим осветлением углем. Для получения более чистого продукта необходимо вести брожение в присутствии окиси цинка (вместо мела), так как лактат цинка значительно лучше очищается перекристаллизацией. Разложение молочнокислого цинка производится в горячем растворе сероводородом. Окончательная очистка М. к. (освобождение от следов цинка) производится в этом случае перегонкой М. к. в вакууме.

В технике М. к. находит широкое применение: в текстильной промышленности (как сама кислота, так и сурьмяная соль ее—лактат антимонила) при крашении и отделке тканей и шерсти, а также в кожевенном деле (потребляющем до 90% всей М. к.)—для декальцинирования и бучения кож. В свободном виде М. к. применяется в медицине для прижиганий (в гинекологии). Кроме того можно указать на весьма важное лекарственное значение различных солей М. к., из к-рых особенно большим распространением пользуется молочнокислое железо (Ferrum lacticum). В последнее время М. к. начинает применяться для замены более дорогих лимонной и винной к-т в пищевых продуктах. Промышленность Западной Европы с успехом пользуется М. к. при изготовлении кондитерских изделий, пива, лимонадов, фруктовых вод, экстрактов и эссенций.

Промышленное значение имеют также и производные М. к.—ее соли (т. наз. лактаты) и эфиры. Этиловый эфир М. к., $CH_3\cdot CH(OH)\cdot COOC_2H_5$, получается нагреванием М. к. до 160° в закрытом сосуде с алкоголем или пропусканием паров алкоголя в М. к., нагретую до 170—180°; применяется для очистки сырой М. к.; в ситценепечатании этиллактат служит растворителем нигрозина и индулина, в лаковом производстве—растворителем для нитроцеллюлозы. Метиловый эфир М. к., $CH_3\cdot CH(OH)\cdot COOCH_3$, служит растворителем ацетилцеллюлозы.

Лактаты металлов имеют большое применение в технике. Лактат натрия, $NaC_3H_5O_3$, густая бесцветная или желтоватая жидкость, легко растворимая в воде и спирте, применяется в медицине как снотворное и как заменитель глицерина в технике под названием перглицерина. Лактат калия, $KC_3H_5O_3$, под названием перкаглицерина также служит заменителем глицерина. Лактаты магния, кальция, железа, цинка и висмута применяются в медицине; лактат Ca—также в хлебопечении (вместо кремортартара). Антимонилактат (сурьмы), $SbO(C_3H_5O_3)_2$, в соединении с таннином применяется в крашении и печатании в качестве протравы в виде препарата *антимонила* (см.). Лактаты титановой кислоты, отвечающие по составу (приблизительно) формулам $TiO_2(C_3H_6O_3)(C_3H_5O_3)_3Me_3$ и $TiO_2(C_3H_5O_3)_1Me_4$, служат протравой при крашении кожи.

Лит.: Шапошников В. и Мантейфель А., К физиологии Bacillus acidificans longissimus (B. Delbrücki) в связи с возможностью использования его для промышл. молочной кислоты, «Труды научного хим.-фармац. ин-та», М., 1923, вып. 7; их же, Об одном усовершенствовании предложенного нами метода получения молочной кислоты, там же, 1927, вып. 18; Henneberg W., Handb. d. Gärungsbakteriologie, 2 Aufl., B. 1, 2, B., 1926. **В. Шапошников.**

Новейшие методы получения М. к. Мировое производство М. к. непрерывно растет: главными производителями ее являются США (с 1889 года), Германия и Англия. Сырьем для получения М. к. служат патока, крахмальный сахар, инвертированный тростниковый сахар и нек-рые виды колониальных орехов. В продажу М. к. поступает в виде сиропов или растворов разной концентрации (от 15 до 90%) и различной степени очистки; техническая темная и светлая, очищенная темная и светлая, химически чистая (для пищевой промышленности) и т. д. Техническая М. к. (22—44%-ная) имеет уд. в. 1,07—1,15 и должна содержать не более 4% ангидрида.

Тщательное химич. исследование продажной М. к., получаемой по методу брожения, показало, что этот продукт является очень сложной смесью, содержащей кроме собственно М. к. еще ряд продуктов ее дегидратации, а также различные минеральные загрязнения; так, при анализе концентрированной «чистой» М. к. (т. наз. «90—100%-ной») в ней было установлено присутствие следующих веществ:

а) М. к. брожения,

$$CH_3\cdot CH(OH)\cdot COOH,$$

в количестве от 39,6 до 59,0%;

б) лактилмолочная кислота,

$$CH_3\cdot CH(OH)\cdot CO\cdot O\cdot CH(CH_3)\cdot COOH,$$

дилактилмолочная кислота,

$$CH_3\cdot CH(OH)\cdot CO\cdot O\cdot CH(CH_3)\cdot CO\cdot O\cdot CH(CH_3)\cdot COOH,$$

и высшие полилактилмолочные кислоты (общее содержание: 30,9 — 56,8%);

в) димолочная кислота,

$$CH_3\cdot CH\cdot COOH$$
$$\quad\quad\quad

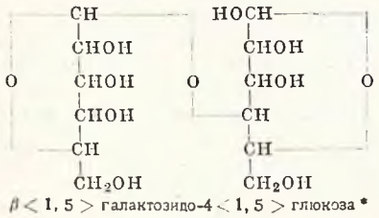
ция с раствором KCNS (15%-ным): оранжевая или красная окраска, не исчезающая от прибавления $HgCl_2$ [2]. Для качественной характеристики М. к. служит ее соль с хинином, имеющая $t°_{пл.}$ 165°.

Новые заграничные патенты по получению М. к. вводят некоторые усовершенствования в технику бродильного процесса. Имеются например предложения активировать жизнедеятельность бактерий (и препятствовать возникновению маслянокислого брожения) путем продувания в жидкость воздуха или кислорода, применяя периодич. нейтрализацию образующейся М. к. малыми порциями мела или извести и т. д. Интересным является также предложение готовить М. к. из несбраживаемых пентоз — отбросов при получении спирта из осахаренной древесины (составляющих от 35 до 65% общей массы получаемого сахара); эти пентозы сбраживаются вновь открытым видом бактерий при температуре 27° и дают смесь уксусной к-ты и М. к. [3]. Для концентрирования растворов М. к. рекомендуются вакуум-аппараты с медной, бронзовой или свинцовой внутренней обкладкой. Для очистки и осветления технической М. к. кроме угля предложена обработка азотной к-той (при 85—95°), силикагелем, кизельгуром и т. п. [4]. Наконец вместо выпаривания или перегонки в вакууме предложено извлечение М. к. подходящими растворителями [5].

Лит.: [1]) Eder R. u. Kutter F., «Helvetica chimica acta», Basel, 1926, B. 9, p. 557; [2]) Germuth F., «I. Eng. Chem.», 1927, v. 19, p. 852; [3]) Marten E., Sherrard E., Peterson W. a. Fred E., ibid, p. 1162; [4]) Ф. П. 582402/26; Г. П. 446865/27; [5]) Ан. П. 290464/27.—Wagner A., Die Herstellung von Essigsäure, Gärungessig, Buttersaure, Zitronensaure und Milchsaure, B. 2, Wien—Leipzig, 1926; Хайкин М. И., «ЖХП», 1927, т. 4, p. 908; «Chemical and Metallurgical Engineering», New York, 1926, v. 33, p. 423.

В. Янковский.

МОЛОЧНЫЙ САХАР, или лактоза, $C_{12}H_{22}O_{11}$, принадлежит к дисахаридам (биозам) и является единственным углеводом, находящимся в молоке млекопитающих (в коровьем молоке 4—5%, в женском 5—5,5%); в растительном мире М. с. не найден. Наиболее вероятное строение М. с.:



β<1, 5>галактозидо-4<1, 5>глюкоза *

М. с. образует бесцветн. кристаллы сладковатого вкуса. Имеются две формы М. с.: α и β. Первая получается при кристаллизации из холодных растворов, а вторая — при кристаллизации из растворов, имеющих температуру выше 93°. Продажный препарат М. с. представляет собою гидрат с одной частицей воды — $C_{12}H_{22}O_{11}\cdot H_2O$; он имеет уд. вес 1,525; при нагревании до 87° начинает плавиться; при 100—110° он постепенно теряет всю кристаллизационную воду; нагревание до 150—165° вызывает побурение; при 170—180° наступает т.н. карамелизация; $t°_{пл.}$ (с разложением) около 200°. В растворах М. с. присутствуют обе его формы: α и β. Растворимость М. с. в воде: при 0° — 10,6% (4,0% α-формы и 6,6% β-формы); при 20° — 16,1% (6,2% α и 9,9% β); при 50° — 30,4% (12,1% α и 18,3% β); при 100° — 61,2% (26,3% α и 34,9% β). В спирте и эфире М. с. нерастворимы. Уд. вес водных растворов при 20° (по Шмегеру):

Концентрация в %	Уд. в.	Концентрация в %	Уд. в.
2,3544	1,0071	14,8548	1,0566
5,0949	1,0741	20.0506	1,0783
10,1650	1,0376	24,7852	1,0992

Удельное вращение растворов М. с. почти не зависит от концентрации, но в сильной степени зависит от $t°$. Общая ф-ла для удельного вращения М. с. дана Гетпером:

$$[\alpha]_D = +55{,}3 - 0{,}06\,(t - 20).$$

В среднем $[\alpha]_D^{20} = +55{,}24°$; для α-формы $[\alpha]_D^{20} = +90°$, для β-формы $[\alpha]_D^{20} = +35°$. М. с. обладает свойством *мутаротации* (см.); у свежеприготовленных растворов $[\alpha]_D = 85 \div 90°$; нормальное удельн. вращение достигается после 24-ч. стояния либо при нагревании до кипения или прибавлении аммиака. 1 *г* М. с. восстанавливает 148 *см*³ фелингова реактива (приготовленного по Сокслету); щелочами М. с. окрашивается в желтый цвет, с фенилгидразином дает озазон, который плавится, разлагаясь, при $t°$ 213—215°; при окислении HNO_3 М. с. дает слизевую кислоту. Продолжительная инверсия сильными кислотами вызывает гидролитическое распадение молочного сахара на d-глюкозу и d-галактозу:

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O = \underset{\text{d-глюкоза}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{d-галактоза}}{C_6H_{12}O_6}.$$

Распадение М. с. может происходить и под влиянием микроорганизмов при помощи особых энзимов — лактаз; они расщепляют М. с. и оба продукта расщепления переводят в *молочную кислоту* (см.). В технике молочного хозяйства имеют важное значение следующие виды брожения: молочнокислое (скисание молока), спиртовое (приготовление кефира, кумыса, айрана), пропионовое (в сыре) и маслянокислое (вызывающее пороки масла).

Аналитическое определение М. с. Качественно М. с. открывается следующими реакциями. 1) Испытуемую жидкость насыщают при нагревании уксуснокислым свинцом; затем осторожно прибавляют аммиака до растворения первоначально образующегося осадка и кипятят 2—3 минуты: смесь окрашивается в красный или оранжевый цвет. 2) К исследуемому раствору прибавляют HNO_3 (удельного веса 1,14), выпаривают на водяной бане до $^1/_3$ объема и оставляют стоять 12—20 ч., после чего смешивают с небольшим количеством воды: выпадают кристаллы слизевой к-ты, к-рые отсасывают, промывают небольшим количеством воды, высушивают и определяют по $t°_{пл.}$ (213°). Количественно М. с. определяется поляриметрич. путем или весовым при помощи фелингова реактива.

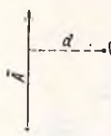
Технически М. с. получается из молочной сыворотки. После осаждения из молока казеина при помощи сычужного фермента — ляба, сыворотку отфильтровывают и в присутствии углекислого кальция упаривают под уменьшенным давлением; выделившийся М. с. вновь растворяют, обесцвечивают кипячением с углем, сгущают и перекристаллизовывают. М. с. применяется главным обр. как пищевой продукт — для искусственного вскармливания младенцев и в различных питательных препаратах; незначительные количества его идут на приготовление некоторых гигиенических препаратов (например таблеток для дезинфекции рта) и как примесь к казеиновым краскам (при крашении бумаги). В военной и декоративной пиротехнике, в театральной технике и т. п. М. с. находит применение как составная часть горючих дымовых смесей и фейерверков, играя в них роль дымообразующего или замедляющего горение вещества.

* Числа в скобках < > показывают номера атомов углерода, связанных кислородным мостиком.

Лит.: Никхов Г. С., Химия молока и молочных продуктов, Химико-физич. свойства, ч. 1—Молоко, его составные части, 2 изд., М.—Л., 1928; Lippmann E., Chemie der Zuckerarten, 3 Aufl., B. 2, p. 1520—1584, Braunschweig, 1904; Oppenheimer C., Die Fermente und ihre Wirkung, B. 1—5, Leipzig, 1925—29.

И. Щербаков.

МОМЕНТ, в широком обобщенном смысле произведение двух величин различных физических размерностей, причем одна из этих величин является длиной или степенью длины. Если вторая величина м. б. разбита на элементы, то М. составляется из суммы отдельных элементарных М. Первая величина — длина — геометрически изображается отрезком, вторая — либо точкой либо направленным отрезком. Обычно наименование М. относят к этой второй величине, т. е. говорят о моменте этой второй величины. При вычислении М., а также при геометрич. изображении его, всегда ориентируются или относительно какой-нибудь определенной точки (полюс, центр М.) или относительно прямой (ось), иногда относительно плоскости. М. придают либо только численное значение (существенно положительный М.) либо приписывают кроме того и знак плюс или минус. Пусть один множитель произведения, составляющего М., выражается направленным отрезком, т. е. вектором $\boldsymbol{A}$ (фиг. 1); задаемся точкой O в качестве полюса. Численное значение для М. вектора $\boldsymbol{A}$ будет произведение $A \cdot d$, где d — длина перпендикуляра из точки O на направление вектора $\boldsymbol{A}$ (d — длина, о которой говорится в определении момента). Меняя направление вектора $\boldsymbol{A}$ на противоположное, мы согласно определению получим то же самое численное значение для М. Между тем в практич. вопросах желательно различать эти два случая. Для этой цели приписывают М. в одном случае знак плюс, а в другом минус (в каком случае плюс и в каком минус — зависит от условия), например исходя из следующего соображения. Воображая плоскость через данный вектор $\boldsymbol{A}$ и точку O, укрепленную в полюсе O, вращают эту плоскость по направлению вектора вокруг точки O; если вращение происходит по движению часовой стрелки, то М. приписывают знак плюс, в противном случае — знак минус. В этом условии имеется неопределенность: одно и то же вращение будет казаться происходящим и по движению часовой стрелки и против, в зависимости от расположения наблюдателя над или под плоскостью вращения. Однако при постоянстве места наблюдателя два различных вращения всегда будут отмечены разными знаками у М., чего в сущности и достаточно. Впрочем эту неопределенность легко устранить введением понятия о лицевой стороне и изнанке плоскости или изображая момент вектором, перпендикулярным плоскости, проходящей через данный вектор $\boldsymbol{A}$ и точку O, и условившись направлять вектор М. согласно правилу штопора.



Фиг. 1.

В интерпретации *векторного исчисления* (см.) момент $\boldsymbol{M}$ вектора $\boldsymbol{A}$ относительно полюса O можно представить в виде векторного произведения

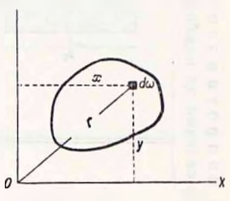
$$\boldsymbol{M} = [\boldsymbol{r}\boldsymbol{A}],$$

где $\boldsymbol{r}$ — радиус-вектор начальной точки данного вектора $\boldsymbol{A}$ относительно точки O.

Отнесем данный вектор $\boldsymbol{A}$ к произвольной прямой l, принимаемой за ось М. Для построения и вычисления М. вектора $\boldsymbol{A}$ относительно оси l поступают след. обр. Проводят плоскость S перпендикулярно к оси l; пусть точка пересечения плоскости с осью будет O; проектируют данный вектор $\boldsymbol{A}$ на эту плоскость S и определяют М. проекции вектора $\boldsymbol{A}$ на плоскость S относительно полюса O; этот М. и называют М. вектора $\boldsymbol{A}$ относительно оси.

Д. Коляновский.

М. инерции плоских фигур. При изучении изгиба, кручения, в задачах гидростатики приходится встречаться с М. инерции плоских фигур. Осевым, или экваториальным, М. инерции плоской фигуры относительно оси OX, лежащей в ее плоскости (фиг. 2), называется предел суммы произведений из элементарных площадок $d\omega$ этой фигуры на квадрат расстояний их y от оси OX:



Фиг. 2.

$$I_X = \int_{(\omega)} y^2\, d\omega, \qquad (1)$$

где интегрирование распространено по всей площади ω. Подобным же образом относительно оси OY:

$$I_Y = \int_{(\omega)} x^2\, d\omega. \qquad (2)$$

Полярным М. инерции этой же фигуры относительно точки O называется

$$I_O = \int_{(\omega)} r^2\, d\omega, \qquad (3)$$

где r — расстояние элемента $d\omega$ от точки O. Ясно, что

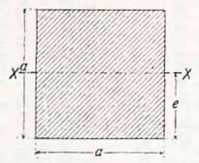
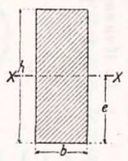
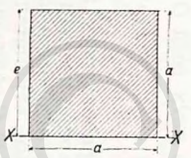
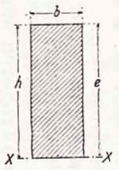
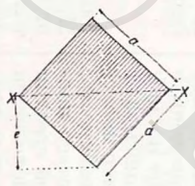
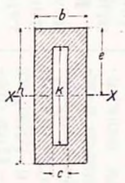
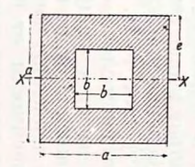
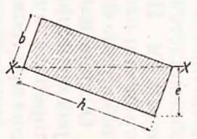
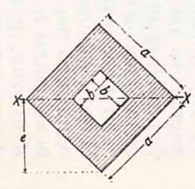
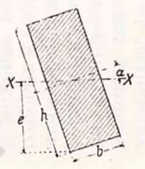
$$I_O = I_X + I_Y. \qquad (4)$$

Центробежным М. инерции относительно двух осей OX и OY называется

$$I_{XY} = \int_{(\omega)} xy\, d\omega. \qquad (5)$$

Размерность всех этих величин — [длина]⁴. М. инерции всегда положительны и отличны от 0; центробежный момент м. б. положительным, отрицательным или же нулем. Если точка O совпадает с ц. т. C плоской фигуры (фиг. 3), то соответственные М. инерции

Табл. 1.—Площади ω, моменты инерции I_X, моменты сопротивления W_X и радиусы инерции ϱ_X плоских фигур.
(e—расстояние от нейтральной оси сечения до наиболее удаленной точки его.)

	$\omega = a^2,\ e = \frac{a}{2};\ I_X = \frac{a^4}{12};$ $W_X = \frac{a^3}{6};\ \varrho_X = \frac{a}{\sqrt{12}} \cong 0{,}289a$		$\omega = bh,\ e = \frac{h}{2};\ I_X = \frac{bh^3}{12};$ $W_X = \frac{bh^2}{6};\ \varrho_X = \frac{h}{\sqrt{12}} \cong 0{,}289h$
	$\omega = a^2,\ e = a;\ I_X = \frac{a^4}{3};$ $W_X = \frac{a^3}{3};\ \varrho_X = \frac{a}{\sqrt{3}} \cong 0{,}577a$		$\omega = bh,\ e = h;\ I_X = \frac{bh^3}{3};$ $W_X = \frac{bh^2}{3};\ \varrho_X = \frac{h}{\sqrt{3}} \cong 0{,}577h$
	$\omega = a^2,\ e = \frac{a}{\sqrt{2}} \cong 0{,}707a;\ I_X = \frac{a^4}{12};$ $W_X = \frac{a^3}{6\sqrt{2}} \cong 0{,}118a^3;\ \varrho_X = \frac{a}{\sqrt{12}} \cong 0{,}289a$		$\omega = bh - kc,\ e = \frac{h}{2};\ I_X = \frac{bh^3 - ck^3}{12};$ $W_X = \frac{bh^3 - ck^3}{6h};$ $\varrho_X = \sqrt{\frac{bh^3 - ck^3}{12(bh - ck)}} \cong 0{,}289\sqrt{\frac{bh^3 - ck^3}{bh - ck}}$
	$\omega = a^2 - b^2,\ e = \frac{a}{2};\ I_X = \frac{a^4 - b^4}{12};$ $W_X = \frac{a^4 - b^4}{6a};\ \varrho_X = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{12}} \cong 0{,}289\sqrt{a^2 + b^2}$		$\omega = bh,\ e = \frac{bh}{\sqrt{b^2 + h^2}};\ I_X = \frac{b^3h^3}{6b^2 + h^2};$ $W_X = \frac{b^2h^2}{6\sqrt{b^2 + h^2}};\ \varrho_X = \frac{bh}{\sqrt{6(b^2 + h^2)}} \cong 0{,}408\frac{bh}{\sqrt{b^2 + h^2}}$
	$\omega = a^2 - b^2,\ e = \frac{a}{\sqrt{2}} \cong 0{,}707a;\ I_X = \frac{a^4 - b^4}{12};$ $W_X = \frac{\sqrt{2}(a^4 - b^4)}{12a} \cong 0{,}118\frac{a^4 - b^4}{a};$ $\varrho_X = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{12}} \cong 0{,}289\sqrt{a^2 + b^2}$		$\omega = bh, e = \frac{1}{2}(h\cos\alpha + b\sin\alpha);\ I_X = \frac{bh}{12}(h^2\cos^2\alpha + b^2\sin^2\alpha);$ $W_X = \frac{bh}{6}\left(\frac{h^2\cos^2\alpha + b^2\sin^2\alpha}{h\cos\alpha + b\sin\alpha}\right);$ $\varrho_X = \sqrt{\frac{h^2\cos^2\alpha + b^2\sin^2\alpha}{12}} \cong$ $\cong 0{,}289\sqrt{h^2\cos^2\alpha + b^2\sin^2\alpha}$

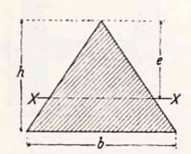
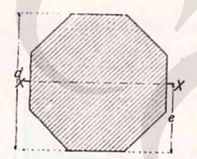
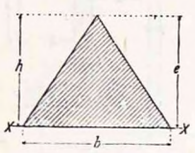
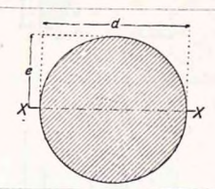
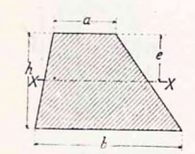
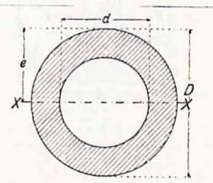
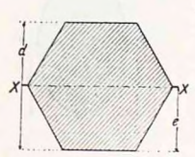
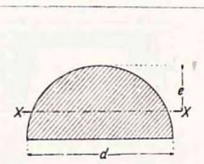
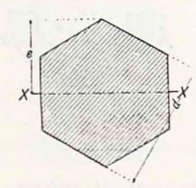
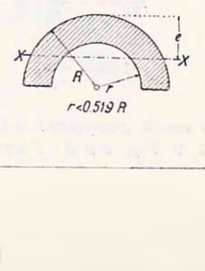
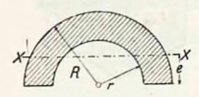
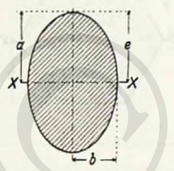
	$\omega = \frac{bh}{2},\ e = \frac{2h}{3};\ I_X = \frac{bh^3}{36};$ $W_X = \frac{bh^2}{24};\ \varrho_X = \frac{h}{\sqrt{18}} \cong 0{,}236h$		$\omega = 2d^2\operatorname{tg}\frac{\pi}{8} \cong 0{,}8284d^2, e = \frac{d}{2}; I_X = \frac{\omega}{12}\left[\frac{d^2\left(1 + 2\cos^2\frac{\pi}{8}\right)}{4\cos^2\frac{\pi}{8}}\right] \cong 0{,}055d^4;$ $W_X = \frac{\omega}{6}\left[\frac{d\left(1 + 2\cos^2\frac{\pi}{8}\right)}{4\cos^2\frac{\pi}{8}}\right] \cong 0{,}109d^3;$ $\varrho_X = \sqrt{\frac{d^2\left(1 + 2\cos^2\frac{\pi}{8}\right)}{48\cos^2\frac{\pi}{8}}} \cong 0{,}257d$
	$\omega = \frac{bh}{2},\ e = h;\ I_X = \frac{bh^3}{12};$ $W_X = \frac{bh^2}{12};\ \varrho_X = \frac{h}{\sqrt{6}} \cong 0{,}408h$		$\omega = \frac{\pi d^2}{4} \cong 0{,}7854d^2,\ e = \frac{d}{2};\ I_X = \frac{\pi d^4}{64} \cong 0{,}04909d^4;$ $W_X = \frac{\pi d^3}{32} \cong 0{,}09817d^3;\ \varrho_X = \frac{d}{4}$
	$\omega = \frac{h}{2}(a + b),\ e = \frac{h(a + 2b)}{3(a + b)};\ I_X = \frac{h^3(a^2 + 4ab + b^2)}{36(a + b)};$ $W_X = \frac{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}{12(a + 2b)};\ \varrho_X = \sqrt{\frac{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}{18(a + b)^2}}$		$\omega = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \cong 0{,}7854(D^2 - d^2),\ e = \frac{D}{2};$ $I_X = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = 0{,}04909(D^4 - d^4);$ $W_X = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} \cong 0{,}09817\frac{D^4 - d^4}{D};\ \varrho_X = \sqrt{\frac{D^2 + d^2}{4}}$
	$\omega = \frac{3}{2}d^2\operatorname{tg}30^\circ \cong 0{,}866d^2,\ e = \frac{d}{2};$ $I_X = \frac{\omega}{12}\left[\frac{d^2(1 + 2\cos^2 30^\circ)}{4\cos^2 30^\circ}\right] \cong 0{,}06314d^4;$ $W_X = \frac{\omega}{6}\left[\frac{d(1 + 2\cos^2 30^\circ)}{4\cos^2 30^\circ}\right] \cong 0{,}12027d^3;$ $\varrho_X = \sqrt{\frac{d^2(1 + 2\cos^2 30^\circ)}{48\cos^2 30^\circ}} \cong 0{,}264d$		$\omega = \frac{\pi d^2}{8} \cong 0{,}3927d^2,\ e = \frac{(3\pi - 4)d}{6\pi} \cong 0{,}2878d;$ $I_X = \frac{(9\pi^2 - 64)d^4}{1152\pi} \cong 0{,}00686d^4;$ $W_X = \frac{(9\pi^2 - 64)d^3}{192(3\pi - 4)} \cong 0{,}02383d^3;\ \varrho_X = \frac{\sqrt{(9\pi^2 - 64)d^2}}{12\pi} \cong 0{,}1321d$
	$\omega = \frac{3}{2}d^2\operatorname{tg}30^\circ \cong 0{,}866d^2,\ e = \frac{d}{2\cos 30^\circ} \cong 0{,}577d;$ $I_X = \frac{\omega}{12}\left[\frac{d^2(1 + 2\cos^2 30^\circ)}{4\cos^2 30^\circ}\right] \cong 0{,}06014d^4;$ $W_X = \frac{\omega}{12e}\left[\frac{d^2(1 + 2\cos^2 30^\circ)}{4\cos^2 30^\circ}\right] \cong 0{,}1042d^3;$ $\varrho_X = \sqrt{\frac{d^2(1 + 2\cos^2 30^\circ)}{48\cos^2 30^\circ}} \cong 0{,}264d$		$\omega = \frac{\pi(R^2 - r^2)}{2} \cong 1{,}5708(R^2 - r^2),\ e = \frac{4}{3\pi}\cdot\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \cong 0{,}4244\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2};$ $I_X = 0{,}1098(R^4 - r^4) - \frac{0{,}283R^2r^2(R - r)}{R + r};$ $W_X = \frac{I_X}{e};\ \varrho_X = \sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$

Табл. 1.—Площади ω, моменты инерции I_X, моменты сопротивления W_X и радиусы инерции ϱ_X плоских фигур. (e—расстояние от нейтральной оси сечения до наиболее удаленной точки его.) (Продолжение.)

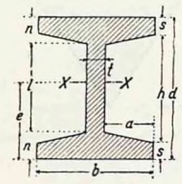


$$\omega \cong 1{,}5708(R^2-r^2),$$
$$e=\frac{3\pi-4}{3\pi}\cdot\frac{R^3-r^3}{R^2-r^2}\cong 0{,}5756\,\frac{R^3-r^3}{R^2-r^2};$$
$$I_X=0{,}1098(R^4-r^4)-\frac{0{,}283\,R^2r^2(R-r)}{R+r};$$
$$W_X=\frac{I_X}{e};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$

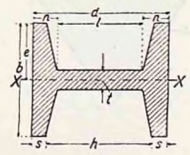


$$\omega=\pi ab\cong 3{,}1416\,ab,\quad e=a;\quad I_X=\frac{\pi a^3b}{4}\cong 0{,}7854a^3b;$$
$$W_X=\frac{\pi a^2b}{4}\cong 0{,}7854a^2b;\quad x=\frac{a}{2}$$

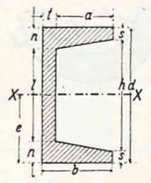
$$\omega=\pi(ab-cd)\cong 3{,}1416(ab-cd),\quad e=a;$$
$$I_X=\frac{\pi}{4}(a^3b-d^3c)\cong 0{,}7854(a^3b-d^3c);$$
$$W_X=\frac{\pi(a^3b-d^3c)}{4a}\cong 0{,}7854\,\frac{a^3b-d^3c}{a};\quad \varrho_X=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{a^3b-d^3c}{ab-cd}}$$



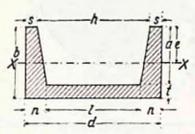
$$\omega=dt+2a(s+n),\quad e=\frac{d}{2};\ I_X=\frac{1}{12}\left[bd^3-\frac{1}{4g}(h^4-l^4)\right];^{*1}$$
$$W_X=\frac{1}{6d}\left[bd^3-\frac{1}{4g}(h^4-l^4)\right];^{*1}$$
$$\varrho_X=\sqrt{\frac{\frac{1}{12}\left[bd^3-\frac{1}{4g}(h^4-l^4)\right]}{dt+2a(s+n)}}^{*1}$$



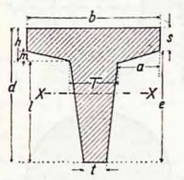
$$\omega=dt+2a(s+n),\quad e=\frac{b}{2};$$
$$I_X=\frac{1}{12}\left[b^3(d-h)+lt^3+\frac{g}{4}(b^4-l^4)\right];^{*1}$$
$$W_X=\frac{1}{6b}\left[b^3(d-h)+lt^3+\frac{g}{4}(b^4-l^4)\right];^{*1}\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$



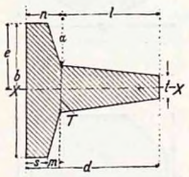
$$\omega=dt+a(s+n),\quad e=\frac{d}{2};\ I_X=\frac{1}{12}\left[bd^3-\frac{1}{8g}(h^4-l^4)\right];^{*2}$$
$$W_X=\frac{1}{6d}\left[bd^3-\frac{1}{8g}(h^4-l^4)\right];^{*2}$$
$$\varrho_X=\sqrt{\frac{bd^3-\frac{1}{8g}(h^4-l^4)}{12[dt+a(s+n)]}}^{*2}$$



$$\omega=dt+a(s+n),\quad e=b-\frac{b^2s+\frac{hl^2}{2}+\frac{g}{3}(b-l)^2(b+2l)}{dt+a(s+n)};^{*2}$$
$$I_X=\frac{1}{3}\left[2sb^3+lt^3+\frac{g}{2}(b^4-t^4)\right]-\omega(b-e)^2;^{*2}$$
$$W_X=\frac{I_x}{e};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$



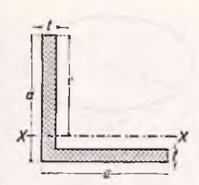
$$\omega=\frac{l(T+t)}{2}+Tn+a(s+n),$$
$$e=d-\frac{3s^2(b+T)+2am(m+3s)}{0{,}5l(T+t)+Tn+a(s+n)}+$$
$$+\frac{3l\,d^2-l(T-t)(3d-l)}{0{,}5l(T+t)+Tn+a(s+n)};$$
$$I_X=\frac{1}{12}\left[l^3(T+3t)+4bn^3-2am^3\right]-\omega(d-e-n)^2;$$
$$W_X=\frac{I_X}{e};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$



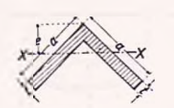
$$\omega=0{,}5l(T+t)+Tn+a(s+n),\quad e=\frac{b}{2};$$
$$I_X=\frac{sb^3+mT^3+lt^3}{12}+\frac{am[2a^2+(2a+3T)^2]}{36}+$$
$$+\frac{l(T-t)[(T-t)^2+2(T+2l)^2]}{144};$$
$$W_X=\frac{I_X}{e};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$

*1 g—уклон полок, равный $\operatorname{tg}\alpha=\frac{h-l}{b-t}$, где α—уклон внутрен. полки к горизонту.

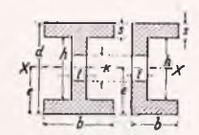
*2 g—уклон полок, равный $\operatorname{tg}\alpha=\frac{h-l}{2(b-t)}$, где α—уклон внутрен. полки к горизонту.



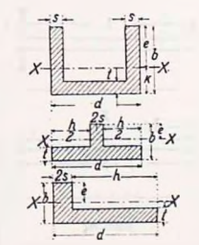
$$\omega=t(2a-t),\quad e=a-\frac{a^2+at-t^2}{2(2a-t)};$$
$$I_X=\frac{1}{3}\left[te^3+a(a-e)^3-(a-t)(a-e-t)^3\right];$$
$$W_X=\frac{I_x}{e};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{I_x}{\omega}}$$



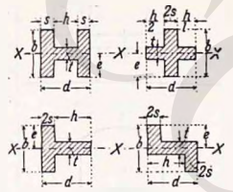
$$\omega=t(2a-t),\quad e=\frac{a^2+at-t^2}{2(2a-t)\cos 45^\circ};$$
$$I_X=\frac{2h^4}{3}+\frac{2(h-t)^4}{3}+\frac{t}{24}(2a-4h+t)^3,\ \text{где } h=e\cos 45^\circ;$$
$$W_X=\frac{I_X}{e};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$



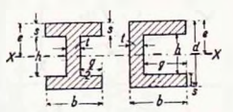
$$\omega=bd-ht-h(b-t),\quad e=\frac{d}{2};\quad I_X=\frac{b(d^3-h^3)+t(h^3-k^3)}{12};$$
$$W_X=\frac{b(d^3-h^3)+t(h^3-k^3)}{6d};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{b(d^3-h^3)+t(h^3-k^3)}{12[bd-ht-h(b-t)]}}$$



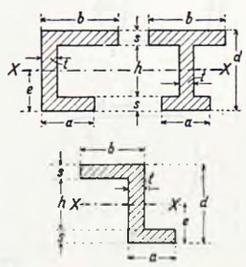
$$\omega=bd-h(b-t),\quad e=b-h,\ \text{где } h=\frac{2b^2s+ht^2}{4bs+2ht};$$
$$I_X=\frac{1}{3}\left[dh^3-h(h-t)^3+2se^3\right];$$
$$W_X=\frac{dh^3-h(h-t)^3+2se^3}{3(b-h)};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$



$$\omega=2bs+ht,\quad e=\frac{b}{2};\quad I_X=\frac{2sb^3+hl^3}{12};$$
$$W_X=\frac{2sb^3+ht^3}{6b};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{2sb^3+ht^3}{24bs+12ht}}$$



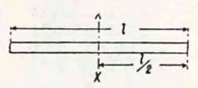
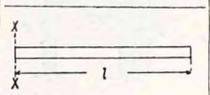
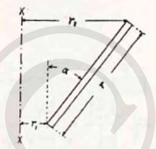
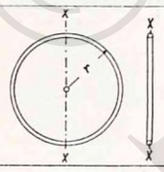
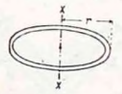
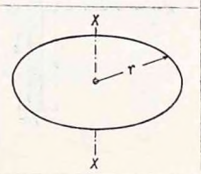
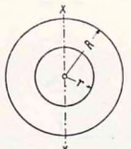
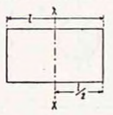
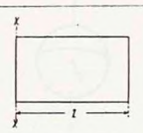
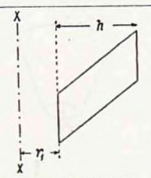
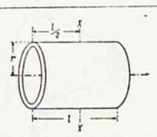
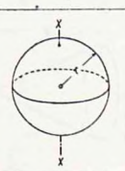
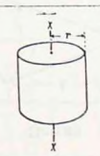
$$\omega=dt+2gs,\quad e=\frac{d}{2};\quad I_X=\frac{bd^3-gh^3}{12};$$
$$W_X=\frac{bd^3-gh^3}{6d};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{bd^3-gh^3}{12dt+24gs}}$$



$$\omega=s(a+b)+th,\quad e=d-\frac{td^2+s^2(b-t)+s(a-t)(2d-s)}{s(a+b)+th};$$
$$I_X=\frac{1}{3}\left[b(d-e)^3+ae^3-(b-t)(d-e-s)^3\right]-\frac{1}{3}(a-t)(e-s)^3;$$
$$W_X=\frac{I_X}{e};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$

ОПЕЧАТКИ

Табл. 2. — Моменты и радиусы инерции тел с массой M.

Род тела	Эскиз	Момент инерции I_X	Радиус инерции ϱ_X
Стержень пренебрегаемо-малого поперечного сечения		$\frac{1}{12}Ml^2$	$0{,}2886\,l$
		$\frac{1}{3}Ml^2$	$0{,}5773\,l$
		$\frac{1}{3}M(r_2-r_1)^2+Mr_1r_2=$ $=\frac{1}{3}Ml^2\sin^2\alpha+$ $+Mr_1^2+Mr_1l\sin\alpha$	$0{,}5773\sqrt{3r_1r_2+(r_2-r_1)^2}$
		$\frac{Mr^2}{2}$	$0{,}7071r$
		Mr^2	r
Пластина пренебрегаемо-малой толщины		$\frac{Mr^2}{4}$	$0{,}5r$
		$\frac{Mr^2}{2}$	$0{,}7071r$
		$\frac{M}{4}(R^2+r^2)$	$0{,}5\sqrt{R^2+r^2}$
		$\frac{1}{12}Ml^2$	$0{,}2886\,l$
		$\frac{1}{3}Ml^2$	$0{,}5773\,l$
		$M\left(\frac{h^2}{3}+r_1^2+r_1h\right)$	$\sqrt{\frac{h^2}{3}+r_1^2+r_1h}$
		$\frac{M}{12}(l^2+6r^2)$	$0{,}2886\sqrt{l^2+6r^2}$
		$\frac{2Mr^2}{3}$	$0{,}8165r$
Круговой цилиндр		$\frac{Mr^2}{2}$	$0{,}7071r$

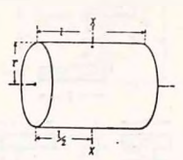
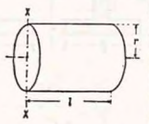
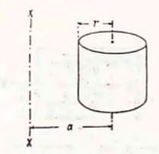
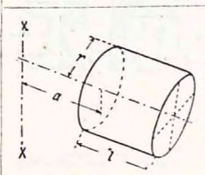
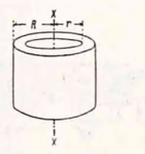
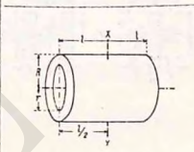
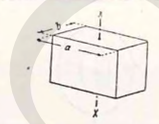
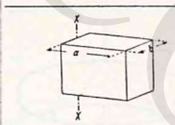
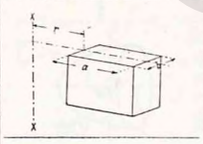
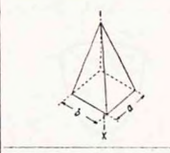
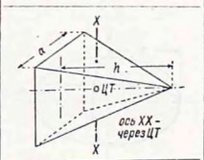
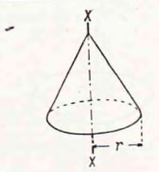
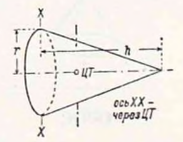
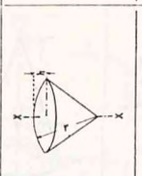
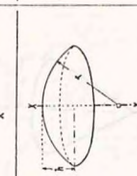
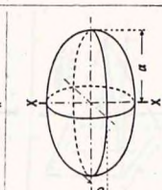
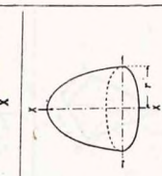
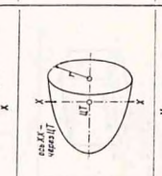
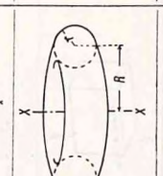
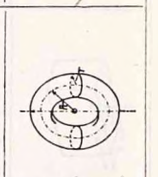
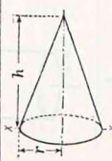
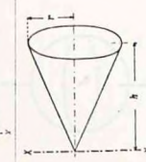
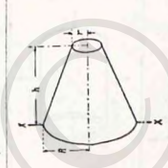
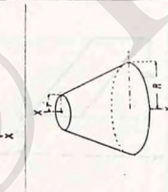
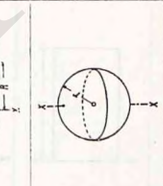
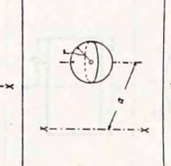
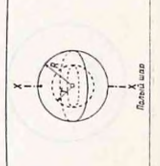
Род тела	Эскиз	Момент инерции I_X	Радиус инерции ϱ_X
Круговой цилиндр		$\frac{M}{12}(l^2+3r^2)$	$0{,}2886\sqrt{l^2+3r^2}$
		$\frac{M}{12}(4l^2+3r^2)$	$\sqrt{\frac{l^2}{3}+\frac{r^2}{4}}$
		$M\left(a^2+\frac{r^2}{2}\right)$	$\sqrt{a^2+\frac{r^2}{2}}$
		$M\left(\frac{l^2}{3}+\frac{r^2}{4}+a^2+al\right)$	$\sqrt{\frac{l^2}{3}+\frac{r^2}{4}+a^2+al}$
		$\frac{M}{2}(R^2+r^2)$	$0{,}7071\sqrt{R^2+r^2}$
		$\frac{M}{12}[l^2+3(R^2+r^2)]$	$0{,}2886\sqrt{l^2+3(R^2+r^2)}$
Прямоугольный параллелепипед		$\frac{M}{12}(a^2+b^2)$	$0{,}2886\sqrt{a^2+b^2}$
		$\frac{M}{12}(4a^2+b^2)$	$0{,}2886\sqrt{4a^2+b^2}$
		$M\left(\frac{4a^2+b^2}{12}+r^2+ar\right)$	$\sqrt{\frac{4a^2+b^2}{12}+r^2+ar}$
Пирамида с прямоугольным основанием		$\frac{M}{20}(a^2+b^2)$	$0{,}2236\sqrt{a^2+b^2}$
		$\frac{M}{20}\left(\frac{3}{4}h^2+a^2\right)$	$0{,}2236\sqrt{\frac{3}{4}h^2+a^2}$
Прямой круговой конус		$\frac{3M}{10}r^2$	$0{,}5477r$
		$\frac{3M}{20}\left(r^2+\frac{h^2}{4}\right)$	$0{,}3873\sqrt{r^2+\frac{h^2}{4}}$

Табл. 2.—Моменты и радиусы инерции тел с массой M. (Продолжение.)

Тела	Эскиз	Момент инерции I_X	Радиус инерции ϱ_X
Шаровой сегмент		$\frac{M}{5}(3rh-h^2)$	$0{,}4472\sqrt{3rh-h^2}$
Шаровой сегмент		$M\left(r^2-\frac{3rh}{4}+\frac{3h^2}{20}\right)\frac{2h}{3r-h}$	$0{,}3162\sqrt{\left(\frac{h}{3r-h}\right)(2)r^2-15rh+3h^2)}$
Трехосный эллипсоид		$\frac{M}{5}\left(a^2+b^2\right)$	$0{,}4472\sqrt{a^2+b^2}$
Параболоид вращения		$\frac{Mr^2}{3}$	$0{,}5773r$
		$\frac{M}{6}\left(r^2+\frac{h^2}{3}\right)$	$0{,}7071\sqrt{3r^2+h^2}$
Кольцевая тора		$M\left(R^2+\frac{3r^2}{4}\right)$	$0{,}5\sqrt{4R^2+3r^2}$
		$M\left(\frac{R^2}{2}+\frac{5r^2}{8}\right)$	$0{,}7071\sqrt{R^2+1{,}25r^2}$
Прямой круговой конус		$\frac{M}{20}(3r^2+2h^2)$	$0{,}2236\sqrt{3r^2+2h^2}$
		$\frac{M}{20}(3r^2+12h^2)$	$0{,}2236\sqrt{3r^2+12h^2}$
Прямой круговой усеченный конус		$\frac{M}{10}\left[h^2\left(\frac{R^2+3Rr+r^2}{R^2+Rr+r^2}\right)+\frac{3(R^5-r^5)}{20(R^3-r^3)}\right]$	$\sqrt{\frac{h^2(R^2+3Rr+r^2)}{10(R^2+Rr+r^2)}+\frac{3(R^5-r^5)}{20(R^3-r^3)}}$
		$\frac{3M}{10}\left(\frac{R^5-r^5}{R^3-r^3}\right)$	$0{,}5477\sqrt{\frac{R^5-r^5}{R^3-r^3}}$
Шар		$\frac{2Mr^2}{5}$	$0{,}6325r$
		$M\left(a^2+\frac{2r^2}{5}\right)$	$\sqrt{a^2+0{,}4r^2}$
		$\frac{2(R^5-r^5)}{5(R^3-r^3)}$	$0{,}6325\sqrt{\frac{R^5-r^5}{R^3-r^3}}$

называются центральными моментами I_{XC}, I_{YC} и I_{OC}. М. инерции I_U относительно осей EU и EV, параллельных осям CX и CY и находящихся от них на расстояниях a и b:

$$I_U = I_{XC} + \omega b^2; \quad I_V = I_{YC} + \omega a^2. \qquad (6)$$

Полярный М. инерции относительно точки E:

$$I_E = I_{OC} + \omega l^2, \qquad (7)$$

где I_{OC}—полярный М. инерции относительно ц. т. C. Из (6) и (7) видно, что М. инерции относительно ц. т. являются наименьшими. Центробежный момент I_{UV} относительно новых осей EV и EU, параллельных прежним CY и CX на расстояниях a и b:

$$I_{UV} = I_{XY} + \omega ab. \qquad (8)$$

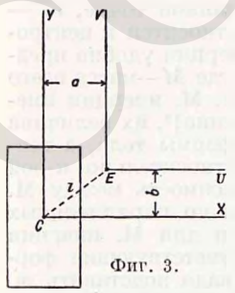
М. инерции относительно оси OA, составляющей угол α с осью OX:

$$I_\alpha = I_X \cos^2\alpha + I_Y \sin^2\alpha - I_{XY}\sin 2\alpha. \qquad (9)$$

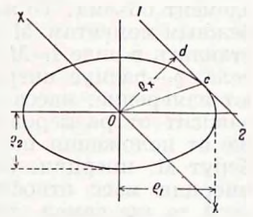
Если выберем угол α так, чтобы

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2I_{XY}}{I_Y - I_X}, \qquad (10)$$

то получим два взаимно перпендикулярных направления OA и OB, для к-рых центробежный М. инерции $I_{AB}=0$, а М. инерции достигают наибольшего и наименьшего значений I_1 и I_2. Эти оси называются главными осями, а I_1 и I_2 — главными М. инерции.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

$$I_1 = \frac{1}{2}(I_X + I_Y) + \frac{1}{2}\sqrt{(I_X - I_Y)^2 + 4I^2_{XY}}$$
$$I_2 = \frac{1}{2}(I_X + I_Y) - \frac{1}{2}\sqrt{(I_X - I_Y)^2 + 4I^2_{XY}} \qquad (11)$$

Для любых осей

$$I_\alpha = I_1\cos^2\alpha + I_2\sin^2\alpha. \qquad (12)$$

Главные оси, проходящие через ц. т. C, называются главными центральными осями инерции, а моменты относительно них—главными центральными М. инерции. При наличии в контуре фигуры оси симметрии последняя является одной из главных осей. Длина $\varrho = \sqrt{\frac{I_a}{\omega}}$ называется радиусом инерции площади ω относительно оси Oa. Если по направлению луча Oa откладывать отрезки, обратно пропорциональные длине соответственного ϱ, то концы этих отрезков при вращении Oa около точки O расположатся по так наз. эллипсу инерции, ур-ие к-рого

$$I_1\xi^2 + I_2\eta^2 = \text{Const};$$

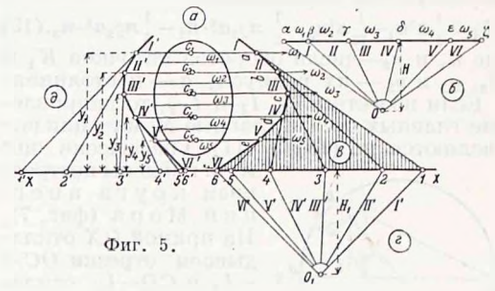
его оси совпадают с главными осями инерции плоской фигуры. Эллипс инерции дает наглядную картину изменений М. инерции при повороте осей около точки O. Если отложить на главных осях отрезки ϱ_1 и ϱ_2 по направлению, перпендикулярному к оси (фиг. 4), и на этих отрезках построить эллипс, то он будет подобен первому эллипсу и называется вторым эллипсом инерции (Кульмана). По этому эллипсу инерции М. инерции относительно любой оси определяется выражением вида

$$I_X = \omega\varrho_X^2 = \omega\, od^2,$$

где od—расстояние от ц. т. эллипса до касательной, проведенной параллельно оси OX. Центробежный М. инерции определяется произведением $I_{XY} = \omega\, od\, oc$. М. инерции для правильных фигур и для фигур, составленных из правильных, вычисляется по ф-лам (1)—(5). Для неправильных фигур применяется следующий вычислительный прием: площадь данной фигуры разделяют рядом прямых, параллельных оси OX, на полоски настолько узкие, чтобы их можно было рассматривать как прямоугольники. Определяют по чертежу площадь каждой полоски ω_1, ω_2, ... и расстояние y ее ц. т. от оси OX. Тогда приближенно

$$I_X = \sum\left(\omega y^2 + \frac{\omega h^2}{12}\right). \qquad (13)$$

Вторым членом при малой ширине полоски h можно пренебрегать. При графич. определении М. инерции фигуры (фиг. 5, а) величины ω_1, ω_2, ... изображают в виде векторов, приложенных в ц. т. каждой полоски, строят для них силовой мн-к (фиг. 5, б) с полюсным расстоянием H и по нему веревочный мн-к (фиг. 5, в), продолжая стороны его до пересечения с осью X-ов; приняв затем полученные на оси X-ов отрезки за силы, приложенные в ц. т. указанных полосок, строят для них второй силовой мн-к (фиг. 5, г) с полюсным расстоянием H_1 и по нему строят второй веревочный мн-к (фиг. 5, д), продолжая стороны его до пересечения с осью X-ов.



Фиг. 5.

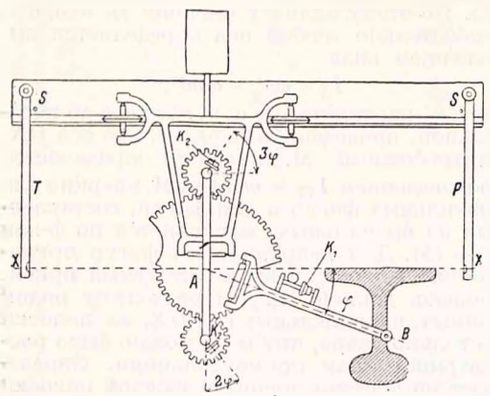
По этим построениям момент инерции I_X определяется приближенно следующими выражениями:

$$I_X = \overline{1'6'} \cdot H \cdot H' = 2\omega_c \cdot H, \qquad (14)$$

в к-рых: $1'6'$—отрезок, отсекаемый крайними сторонами второго веревочного мн-ка на оси X-ов; ω_c—площадь, ограничиваемая крайними сторонами первого веревочного мн-ка и осью X-ов. Можно также для вычисления М. инерции пользоваться интеграторами. На фиг. 6 показана схема интегратора Амслера. При определении М. инерции фигуры относительно оси XX устанавливают прибор так, чтобы линейка SS была параллельна оси XX; для этого служат две линейки P и T равной длины, снабженные

© ГПНТБ

на одном конце поперечиной, входящей в паз линейки SS, а на другом—острием, которое устанавливают на ось XX. При обводе штифтом, насаженным на конце B стер-



Фиг. 6.

жня AB длиною, равною a, контура фигуры (напр. рельса) каточек K_1 совершает нек-рый путь качения $u_1 = \int \sin\varphi \cdot dx$. Каточки K_2 и K_3 в то же время совершают качения u_2 и u_3, величины которых согласно устройству прибора будут:

$$u_2 = \int \sin(90° - 2\varphi)\, dx$$

и

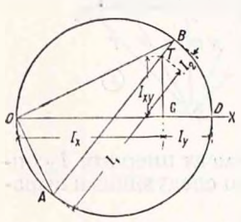
$$u_3 = \int \sin 3\varphi\, dx.$$

Зная число оборотов каточков K_1, K_2 и K_3 и радиусы их, можно вычислить величины u_1, u_2 и u_3; это вычисление заменяется делениями, наносимыми на каточках в соответствующих масштабах в зависимости от конструкции прибора. Величина М. инерции определяется выражением:

$$I_X = \tfrac{1}{4} a^3 u_1 - \tfrac{1}{12} a^3 u_3 = \tfrac{1}{2}\pi\varrho_1 a^3 \cdot n_1 - \tfrac{1}{6}\pi\varrho_3 a^3 \cdot n_3, \quad (15)$$

где n_1 и n_3—число оборотов каточков K_1 и K_3, ϱ_1 и ϱ_3 — их радиусы, a — постоянная.

Если известны I_X, I_Y и I_{XY}, то направление главных осей и главные М. инерции вычисляются по (10) и (11). Графически они м. б. найдены построением круга инерции Мора (фиг. 7). На прямой OX откладываем отрезки $OC = I_X$ и $CD = I_Y$, откладываем $CT = I_{XY}$ перпендикулярно к OD в положительную или в отрицательную сторону в зависимости от знака I_{XY}. Точка T называется главной точкой инерции. Строим на OD как на диаметре круг. Проводим через T диаметр ATB. Линии OA и OB дают направление главных осей, а отрезки $AT = I_{max}$ и $BT = I_{min}$—величины главных моментов инерции. М. инерции для различных плоских фигур даны в табл. 1.



Фиг. 7.

М. инерции масс. В ур-ниях и законах динамики, относящихся к вращению тел, вместо массы тела входит М. инерции его массы. М. инерции материальной точки относительно оси OA называется произведение из массы точки m на квадрат расстояния ее от оси OA:

$$I = mr^2. \quad (16)$$

М. инерции системы точек называется сумма произведений из массы каждой точки на квадрат ее расстояния от оси

$$I = \sum mr^2. \quad (17)$$

М. инерции относительно системы трех взаимно перпендикулярных осей $OXYZ$:

$$I_X = \sum m(y^2 + z^2), \quad I_Y = \sum m(x^2 + z^2),$$
$$I_Z = \sum m(x^2 + y^2). \quad (18)$$

Центробежными М. инерции, или произведениями инерции относительно координатных плоскостей, называются суммы

$$I_{XY} = \sum mxy, \quad I_{XZ} = \sum mxz, \quad I_{YZ} = \sum myz. \quad (19)$$

Если массы сплошь заполняют данный объем, то суммирование заменяется интегрированием по объему:

$$I = \int r^2\, dm = \frac{1}{g}\int qr^2\, dV, \quad (20)$$

где q—объемный вес в данной точке, dV—элемент объема. То же относится к центробежным моментам. М. инерции удобно представлять в виде $I = M\varrho^2$, где M—масса всего тела, ϱ—радиус инерции. М. инерции имеют измерение: масса · [длина]^2; их величина зависит от размеров и формы тела, а также от положения оси, относительно к-рой берут М. инерции. Зависимость между М. инерции масс относительно параллельных осей та же самая, что и для М. инерции площадей, только в соответствующие формулы (6)—(8) вместо ω надо подставить m. М. инерции для оси OA, образующей с осями координат углы α, β, γ:

$$I_A = I_X\cos^2\alpha + I_Y\cos^2\beta + I_Z\cos^2\gamma - 2I_{XY}\cos\alpha\cos\beta - 2I_{YZ}\cos\beta\cos\gamma - 2I_{XZ}\cos\alpha\cos\gamma. \quad (21)$$

Для каждой точки тела существуют 3 взаимно перпендикулярных оси, для к-рых центробежные моменты $I_{XY} = I_{XZ} = I_{YZ} = 0$. Эти 3 оси называются главными осями, М. инерции относительно их—главными М. инерции; их обозначим через A, B, C. Если тело имеет плоскость симметрии, то каждая прямая, перпендикулярная к ней, является главной осью. Если тело имеет ось симметрии, то эта ось является одной из главных осей инерции. Если по оси OA отложить от начала координат отрезок, пропорциональный $\frac{1}{\sqrt{I_A}}$, то концы его будут лежать на поверхности эллипсоида инерции

$$A\xi^2 + B\eta^2 + C\zeta^2 = 1; \quad (22)$$

оси его совпадают с главными осями инерции. Приводим в табл. 2 главные центральные М. инерции для различных однородных тел с массой M.

Существует ряд способов для определения I на опыте. Например подвешивают тело и заставляют его совершать под действием силы веса малые колебания; пусть период этих колебаний t_0; затем прикрепляют к нему другое тело, центр тяжести которого совпадает с осью вращения, с известным М. инерции I_0; снова определяют период колебаний t_1. Можно показать, что

$$I = I_0 \frac{t_0^2}{t_1^2 - t_0^2}.$$

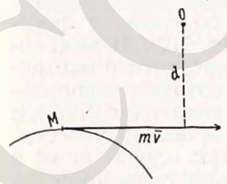
М. инерции элемента объема относительно оси OA называется произведение объема этого элемента dV на квадрат его расстояния от оси OA, т. е. $r^2\, dV$. М. инерции объема какого-либо геометрич. тела относительно оси OA называется предел суммы произведений из элементарных объемов этого тела на квадрат расстояния их от оси:

$$I = \lim \sum r^2\, dV = \int r^2\, dV,$$

где интегрирование распространено по всему объему тела. Подробности см. выше—М. инерции масс.

Лит.: Handb. d. physik. u. techn. Mechanik, hrsg. v. F. Auerbach u. W. Hort, B. 1, p. 350—404, Lpz., 1928; Hütte, Справочная книга для инженеров, 12 изд., т. 1, стр. 244—250, М., 1929. **А. Динник.**

М. количества движения материальной точки M с массой m и со скоростью v относительно точки O есть вектор, численное значение которого равно mvd, где d—расстояние точки O до касательной к траектории движения материальной точки (фиг. 8); направление вектора момента $\boldsymbol{K}$ устанавливается перпендикуляром к плоскости, содержащей точку O и касательную к траектории; при этом (см. *Векторное исчисление*)



Фиг. 8.

$$\boldsymbol{K} = [\boldsymbol{r}m\boldsymbol{v}],$$

где $\boldsymbol{r}$—радиус-вектор точки M относительно точки O, принятой за начало координат. Проекциями момента $\boldsymbol{K}$ на оси координат будут:

$$K_x = m\left(y\frac{dz}{dt} - z\frac{dy}{dt}\right); \quad K_y = m\left(z\frac{dx}{dt} - x\frac{dz}{dt}\right);$$
$$K_z = m\left(x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt}\right).$$

Так как

$$\boldsymbol{K} = 2m\cdot\frac{[\boldsymbol{rv}]}{2},$$

а $\frac{[\boldsymbol{rv}]}{2}$ является секториальной скоростью, то

$$\boldsymbol{K} = 2m\dot{\boldsymbol{S}},$$

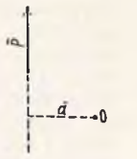
т. е. момент количества движения точки равен удвоенному произведению массы точки на ее секториальную скорость относительно начала координат и по направлению совпадает с направлением секториальной скорости.

М. количества движения системы материальных точек относительно точки O называется геометрич. сумма моментов отдельных материальных точек, составляющих систему. Проекциями момента $\boldsymbol{K}$ в этом случае будут:

$$K_x = \sum m\left(y\frac{dz}{dt} - z\frac{dy}{dt}\right);$$
$$K_y = \sum m\left(z\frac{dx}{dt} - x\frac{dz}{dt}\right);$$
$$K_z = \sum m\left(x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt}\right).$$

См. *Механика теоретическая.*

М. силы $\boldsymbol{P}$ относительно полюса O (фиг. 9) есть вектор $\boldsymbol{M}$, численное значение которого равно $P\cdot d$, где d — расстояние полюса до данной силы; положение вектора М. устанавливается перпендикуляром к плоскости, содержащей данный вектор $\boldsymbol{P}$ и полюс O, причем направление вектора М. определяется правилом штопора; в интерпретации векторного исчисления момент представится следующим образом:



Фиг. 9.

$$\boldsymbol{M} = [\boldsymbol{rP}],$$

где $\boldsymbol{r}$ есть радиус-вектор начальной точки данной силы $\boldsymbol{P}$ относительно точки O.

Обозначив декартовы координаты начала вектора $\boldsymbol{P}$ через x, y, z, проекции силы $\boldsymbol{P}$ на координатные оси—через X, Y, Z и координаты полюса O через a, b, c, будем иметь для составляющих М. следующие выражения:

$$M_x = Z(y-b) - Y(z-c),$$
$$M_y = X(z-c) - Z(x-a),$$
$$M_z = Y(x-a) - X(y-b).$$

Аналитическое выражение для момента $\boldsymbol{M}$ будет:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}.$$

Если полюс O принять за начало координат, то в предыдущих формулах надо положить $a = b = c = 0$; тогда

$$M_x = Zy - Yz,$$
$$M_y = Xz - Zx,$$
$$M_z = Yx - Xy,$$
$$M = \sqrt{(Zy - Yz)^2 + (Xz - Zx)^2 + (Yx - Xy)^2}.$$

М. силы относительно точки называется также статич. М. силы, или М. вращения относительно той же точки.

Аналитич. выражение для момента $\boldsymbol{M}$ относительно оси l, проходящей через точку O с координатами a, b, c и образующей с осями координат углы α, β, γ, будет:

$$M = \left\{Z(y-b) - Y(z-c)\right\}\cos\alpha + \left\{X(z-c) - Z(x-a)\right\}\cos\beta + \left\{Y(x-a) - X(y-b)\right\}\cos\gamma.$$

Если O—начало координат, т. е. $a = b = c = 0$, то

$$M = (Zy - Yz)\cos\alpha + (Xz - Zx)\cos\beta + (Yx - Xy)\cos\gamma.$$

М. силы относительно оси l называется также статическим М., или М. вращения относительно этой оси.

Лит.: Жуковский Н. Е., Теоретич. механика, ч. 1, 2, М., 1927; Суслов Г. К., Основы аналитич. механики, т. 1, ч. 1—2, Киев, 1911, т. 1, ч. 3, Киев, 1912; Бобылев Д., Курс аналитич. механики, 2 изд., ч. 1—2, СПБ. 1885—89; Appel P., Traité de Mécanique rationnelle, 3 éd., t. 1—4, P., 1920—24; см. также *Механика теоретическая.* **Д. Коляновский.**

МОМЕНТ ИНЕРЦИИ, см. *Момент.*

МОМЕНТ КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ, см. *Момент.*

МОНАЦИТ, минерал, является главным источником получения тория (Th) и редких земель и представляет собою фосфат редких земель Ce, La и Di [(Ce, La, Di)·PO_4]. На М. падает 99% добываемой ThO_2. Твердость М. 5—5,5; удельный вес его 4,9—5,3; цвет М. красновато-коричневый, желтый и коричневато-серый; черта—белая; блеск смоляной.

Растворяется в 3- или 4-кратном количестве конц. серной к-ты. Обычно месторождения М. встречаются в песке, на отлогих берегах, на дне рек в виде мелких тяжелых золотисто-желтых или красновато-коричневых зернышек. Особенно много монацитового песка встречается на берегах морей. В коренных месторождениях (гнейсах, гранитах, пегматитах) концентрация М. очень незначительна и промышленного значения не имеет. Главными местами добычи М. являются Индия, Бразилия и о-в Цейлон. Менее богатые месторождения встречаются на Малайском полуо-ве, в Норвегии, Австралии, Ю. Африке. Монацитовый песок на Траванкаре при обработке в электрических печах дает на 1 *г* монацитового песка 0,93 *см*³ чистого гелия. В СССР наиболее значительным источником М. являются монацитовые россыпи Борщовочного кряжа в Забайкалье, тянущиеся по низовьям р. Уды и по течению рр. Кулинды, Семеновой, Загдачея, Правой Пешковой, Б. Кибиревой и др. Общая площадь монацитовых россыпей этого месторождения исчислена К. К. Матвеевым в 1 000 *км*². Запасы им же определены приблизительно в несколько десятков тысяч *т*, но концентрация незначительная. На Урале находится месторождение М. в золотоносных россыпях р. Санарки (Оренбургский район), затем в Ильменских горах и на Среднем Урале по р. Адую. Но оба последних месторождения недостаточно разведаны.

М. служит источником добычи редких металлов тория и церия. Промышленное значение имеют монацитовые пески, аналогичные по форме золотоносным пескам. Содержание монацитовых зерен от 1—2% уже делает песок промышленной рудой, т. к. М. обладает высоким уд. весом и легко обогащается простым промыванием в промывных ящиках (вашгерды), качающихся столах и т. п. Дальнейшее обогащение производится магнитом для отборки железосодержащих зерен. Обогащенный до 60—80% песок поступает в продажу для переработки на соли тория и церия. Выделение тория из М. производится конц. серной кислотой. Наиболее важным применением тория является изготовление сеток для газо- и керосинокалильного освещения (см. *Торий*). М. кроме тория содержит еще один весьма ценный элемент—радиоактивный мезоторий и радиоторий (продукт распада мезотория), к-рый употребляется в медицине наравне с радием. Ценность мезотория настолько велика, что добыча его в виде побочного продукта имеет промышленное значение. Препарат мезотория в 1920 г. стоил 6—8 фи. ст. за 1 *мг*. Цена эта удержалась и до сих пор. Цена М. зависит от содержания в нем окиси тория. Одна *т* М., содержащего 8% окиси тория, стоила 240 долл. Мировая потребность в М. равна 3 000 *т*. Новых технич. применений металлов группы церия, также добываемого из монацитовых песков, пока не имеется.

Лит.: Бушгедт В., Коренное месторождение монацитов на Алтае, «ГЖ», 1925, *1*; Вернадский В., О необходимости исследования радиоактивных минералов Российской империи, «Труды радиевой экспедиции Академии наук», II., 1914, *1*; Критский В., О монацитовых россыпях р. Санарки, там же, СПБ, 1916, *5*; Кузнецов С. Д., К минералогии Забайкалья, VI. Монацит, «Известия Академии наук», СПБ, 1912, стр. 364—365; Матвеев К. К., Борщовочные месторождения монацита, «Материалы для изучения естеств. производит. сил СССР», 1926, *58*; Сырокомский В. С., Применение редких элементов в промышленности, П., 1919; Федоровский Н. М., Минералы в промышленности и сел. х-ве, 2 изд., Л., 1926; Ферсман А. Е., Пегматитовые жилы Адуя, «Труды радиевой экспедиции Академии наук», 1914, *2*; Фокин Л., Обзор химич. промышленности в России, ч. 1, вып. 1, П., 1921; Унковский В. А., Редкие земли и торий, «НИ», т. 2; «Цветные металлы», М., 1930, *5*, стр. 751; Carney R. J. a. Campbell E. D., A New Method for the Determination of Thorium in Monazite Sand, «Journ. of the American Chemical Society», Washington, 1914, v. 36; Johnston J. S., Monazite, «J. Ch.», 1918, vol. 37, p. 373—376.

Н. Федоровский.

МОНЕЛЬ-МЕТАЛЛ, сплав серебристого цвета, содержащий примерно ок. 67% никеля, 28% меди и 5% других составных частей (см. *Спр. ТЭ*, т. II, стр. 96, Список сплавов №№ 781, 908, 909, 899); отличается высокими антикоррозионными и механическими свойствами, жароупорностью и значительным электросопротивлением; главное применение находит в машиностроении и в оборудовании общей химич. и пищевой промышленности. М.-м. выпускает на рынок фирма «Международная никелевая К°» с 1925 г. М.-м. почти тождествен со сплавом люцеро (см. *Спр. ТЭ*, т. II, стр. 112). В хим. составе М.-м. характерно присутствие марганца и железа, причем в некоторых специальных марках присутствует свинец (до 2,22%); кроме того в М.-м. содержатся углерод, кремний и сера, тогда как олово, цинк и сурьма отсутствуют. В количественном отношении состав М.-м. характеризуется данными, меняющимися в пределах (в %): от 68,87 до 60,05 Ni; от 29,03 до 32,46 Cu; от 1,60 до 2,40 Fe (хотя в отдельных случаях содержание доходит до 3,75 и даже до 6,5%); от 0,5 до 2,10 Mn; от 0,13 до 0,18 C (в отдельных случаях до 0,31); от 0,09 до 0,87 Si; от 0,027 до 0,038 S; по имеющимся данным состав люцеро характеризуется содержанием (в %): 65—67,9 Ni; 27,5—30 Cu; 0—2,1 Fe; 2,2—5 Mn. В соответствии с назначением различают по содержанию примесей (в %) следующие четыре главные марки монель-металла:

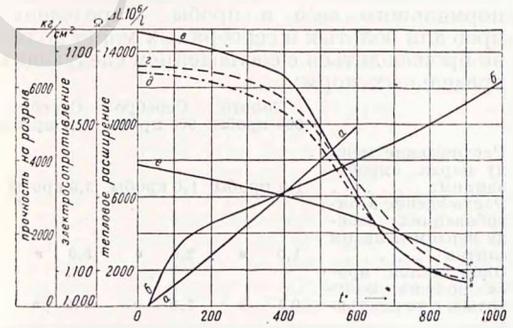
Марки М.-м.	C	Mn	Fe	Si	S
Прокатанные листы . .	0.11	0,15	1,76	0,18	0,021
Прокатанные стержни	0,26	1,78	2,00	0,20	0,035
Проволока	0,12	1,66	2,10	0,13	0,025
Литье	0,18	0,25	1,90	1,06	0,030

М.-м. получается непосредственно из канадских сернистых медно-никелевых руд процессом Орфорда путем окисления роштейна, а затем восстановления углем, без дорого стоящего разделения на составные части. Содержание в никеле серы обычно от 0,02 до 0,06%, а чаще 0,01—0,03%, вредно отражается на ковкости никеля и его сплавов, так что уже при 0,015% серы как холодная, так и горячая прокатка ведут к образованию трещин; напротив, присутствие O (до 0,24%), C и Si безвредно. Поэтому для обессеривания М.-м. применяется марганец (применение магния рискованно, т. к. уже 0,2% магния понижают ковкость); железо попадает в М.-м. вместе с марганцем, если последний вводится в виде ферромангана. Исходная руда д. б. свободна от кобальта.

Механические свойства. Уд. вес М.-м. 8,82. Механич. свойства его (см. *Спр. ТЭ*, т. II, стр. 260—268) весьма повышаются от холодной протяжки. Для горячепрокатанного М.-м. пределы пропорциональности при растяжении 2 461—3 445 *кг/см*², что соответствует примерно 80% предела текучести. При кручении или сдвиге предел пропорциональности от 1 451 до 1 905 *кг/см*², т. е. 55—67% предела пропорциональности при растяжении. Модуль сдвига или кручения 49 000 *кг/см*², модуль Юнга 1 847 000 *кг/см*², коэфициент Пуассона 0,33. М.-м. выдерживает около 75 000 000 перемен натяжения либо сжатия при усилии 689 *кг/см*² и около 2 000 000 перемен при усилии 3 900 *кг/см*²; зависимость максимального усилия S от числа перемен N дается соотношением:

$$S = 5\,050\,N^{-0,033}.$$

Тепловые свойства. Средняя теплоемкость М.-м. в промежутке от 20 до 1 300° равна 0,127. Теплопроводность равна 0,06 в единицах *CGS*, что составляет $^1/_{15}$ теплопроводности меди. При ковке наиболее выгодна $t°$ между 1 040° (цвет лососины) и 1 100° (оранжевый), причем эту последнюю не следует превышать; нагрев до 1 200° вредит качеству материала; $t°$ отжига 700—900°, причем нагрев до 1 000° не сообщает большей мягкости; $t°_{пл.}$ 1 300—1 350°. Предельная рабочая $t°$ до 500°. Кривые теплового расширения (см. фиг., кривая *а*) М.-м. разных



а а-тепловое расширение
б б-электросопротивление
в в, г г, д д-прочность на разрыв кованного монель-металла
е е-прочность на разрыв литого монель-металла

марок (с содержанием Ni от 60 до 69%) оказались весьма правильными и в промежутке 25—300° обладающими одним и тем же средним коэф-том расширения, а именно:

$t°$	25—100°	100—200°	200—300°
Ср. коэф. теплового расширения	$\sim 14 \cdot 10^{-6}$	$\sim 15 \cdot 10^{-6}$	$\sim 15{,}7 \cdot 10^{-6}$

Но выше 300° кривые у разных образцов расходятся, напр. у двух образцов в промежутке между 500—600° разность коэф-тов расширения $2{,}3 \cdot 10^{-6}$. Усадка при затвердевании составляет 2%. М.-м. обладает важным свойством сравнительно малого снижения своих механических качеств при нагреве, как это видно на фиг. по кривым *в*, *г* и *д*, относящимся к прочности на разрыв различных образцов горячей прокатки, и кривой *е*, характеризующей то же свойство литого М.-м. В этом отношении М.-м. значительно превосходит многие другие металлы; так напр. при 400° прочность на разрыв обыкновенной латуни или бронзы < 800 *кг/см*², тогда как у кованого М.-м. она выше 5 600 *кг/см*².

Электрические и магнитные свойства. Электросопротивление М.-м. при комнатной $t°$ составляет 42,5—44,5 *Ω-см*, смотря по марке и образцу, так что проводимость его около 4% проводимости меди. Темп-рный коэф. сопротивления равен 0,0019 в промежутке 20—93°, а далее внезапно понижается и составляет ок. 0,000611; на фиг. кривая *б* показывает ход электросопротивления до 1 000°. При комнатной $t°$ М.-м. ферромагнитен, а в промежутке 100—150° утрачивает это свойство (обратимо). В намагничивающем поле 100 гауссов индукция литого М.-м.—500 гауссов, а прокатанного от 10 000 до 15 000 гауссов; коэрцитивная сила 1,1; остаточное намагничение 990.

Оптические свойства. Коэф. отражения света равен 60%. Первоначальный серебристый цвет с течением времени несколько сереет.

Химические свойства. М.-м. отличается значительной химич. стойкостью, причем разъедается весьма равномерно; выдерживает действие к-т (но не азотной) и стоек против нейтральных и щелочных окислителей, тогда как кислотными окислителями разъедается. В качестве примера, характеризующего степень его стойкости, можно указать, что 9-дневное действие непрерывно возобновляемой 6—7% (6° Bé) серной кислоты при 74° дало разъедание 0,0007 *г/см*² в сутки, что соответствует удалению слоя толщиною в 0,75 *μ* за сутки, т. е. удаление слоя 2,5 *мм* за 10 лет; этот расчет подтвержден практикой.

Обрабатываемость. М.-м. хорошо подвергается механич. обработке различного рода: обточке, горячей и холодн. проковке, нарезке, фрезеровке, прекрасно полируется; тепловые условия обработки указаны выше. М.-м. допускает также тепловую обработку: отжиг, пайку крепким припоем, пайку легким припоем и сварку.

Применение. Применяют М.-м. гл. обр. в областях, где требуется сочетание механич. качеств с сопротивляемостью нагреву и химич. стойкостью. Таковы клапаны, импеллеры и все снаряжение специальных насосов, центробежных и поршневых, труб для разного рода химически активных жидкостей и для перегретого пара, баков и выпарительных чаш для разных жидкостей и т. д. Из М.-м. изготовляются различные части машин: приводы, шестерни, патрубки, мешалки, сита и вообще такое оборудование, к-рое должно служить в коррозионных условиях без специальных защитных пленок; в частности, монелевое оборудование рекомендуется напр. для установок турбогенераторов, для коксовальных, морских, газовых, красильных, сахарных, клеевых и желатиновых, мыловаренных, горнопромышленных и т. п. установок. М.-м. применяется для кухонной посуды в пищевой промышленности; применяется также и в качестве материала для столовой утвари. Фирма безусловно рекомендует применение М.-м. там, где есть действие следующих агентов: алюминия сернокислого, аммиака водного, атмосферной коррозии, бензойной, борной и винной кислот, воды пресной и соленой, водорода, гипосульфита натрия, из-

вести, едких натра и кали, кальция хлористого и сернокислого, карболовой к-ты, квасцов, кислорода, яблочной, масляной и муравьиной к-т, мыла щелочного, пикриновой к-ты (но холодной), ртути металлической, салициловой к-ты, сероуглерода, стеариновой к-ты, фосфорной к-ты (но холодной), фтористо- и хлористоводородных к-т, хлора сухого, цианистоводородной к-ты, нагрева в атмосфере временно до 700°, пара влажного и перегретого; условно рекомендуется применение в средах: уксусной, лимонной, соляной, серной и дубильной к-т, солей цинка, газообразн. продуктов горения; не рекомендуется применение М.-м., когда есть действие следующих реагентов: азотной к-ты, аммония азотнокислого в насыщенном растворе, медного купороса, пикриновой кислоты горячей, сернистой к-ты, фосфорной кислоты горячей, хлорной к-ты ($HClO_4$) и хромовой к-ты. Однако список рекомендуемых случаев применения, как показали исследования Гемлина и Тернера, м. б. значительно расширен и в частности даже за счет нерекомендуемых фирмою случаев. Отдельно м. б. отмечено применение М.-м. для кислых фиксажных ванн в фотографии и для нагревательных приборов, хотя значительность температурного коэфициента делает последнее не вполне удобным.

Лит.: Жемчужный С. Ф., Сплавы для электрических измерительных и нагревательных приборов, стр. 26—44, Л., 1928; Курнаков Н. С. и Жемчужный С. Ф., О сплавах меди с никелем и золотом, «Изв. Политехнич. ин-та», М., 1906, т. 6, стр. 5; их же, «Ж», 1907, т. 39, стр. 211; Merica P. D., Miscellaneous Alloys of Nickel, «Chem. a. Met. Eng.», 1921, v. 24, p. 649; Hunter M. A. a. Jones A., «Transactions of the Amer. Electrochem. Soc.», 1922, v. 42, p. 195; Merica P. D. a. Waltenberg R. S., «Technical Paper, U. S. Bureau of Standards», Wsh., 1925, *19*, p. 281; Merica P. D. a. Waltenberg R. S., «Revue de Métal», P., 1927, t. 24; Wilner S. H. a. Hidnert P. Termal Expansion of Nickel, Monel Metal, Bellit, Stainless Steel a. Aluminium, «Sc. Papers of the Bureau of Standards», Wsh., 1922, *426*; Merica P. D., Waltenberg R. C. a. Mc. Cabe A. S., Some Mechanical Properties of Hot-rolled Monel Metal, «Proc. of the American Society for Testing Materials», 1921, Philadelphia, v. 21; Hunter M. A., Sebast F. M. a. Troy A. J., Some Electr. Properties of Nickel a. Monel Wires, «Transactions of the Amer. Inst. of Min. a. Metallurg. Eng.», N. Y., 1922; Hamlin M. L. a. Turner F. M., The Chemical Resistance of Engineering Materials, New York, 1923; Burrows Ch. W., «Electrical World», New York, 1921, July (магнитные свойства); «Z. ang. Ch.», 1924, Jg. 24, p. 131, 470; «Chem. Zentralbl.», B., 1919, Jg. 1, p. 272; Tompson J. F., «Eng. Min. Journ.», N. Y., v. 21, p. 223; Ам. П. 947067. **П. Флоренский.**

МОНЕТНОЕ ДЕЛО, совокупность мероприятий государственной власти и работ по изготовлению звонкой монеты. В СССР вся монета изготовляется в Ленинграде, в Петропавловской крепости, на монетном дворе, находящемся в ведении НКФ СССР; основан этот монетный двор в 1724 г.

Союзная звонкая монета делится на следующие группы в зависимости от металла, из к-рого она сделана: 1) золотая—червонец—достоинством в 10 р.; 2) серебряная—т. н. банковая—достоинством в 1 р. и в 50 к. и разменная—достоинством 20, 15 и 10 к.; 3) бронзовая—5, 3, 2 и 1 к. и 4) медная—5, 3, 2, 1 и ½ к. (в настоящее время изготовляется только ½ к.). Монетный сплав должен удовлетворять следующим основным требованиям: 1) в холодном состоянии под давлением он должен заполнять все мельчайшие черты штемпеля, чтобы получить на монете отчетливое изображение, и 2) в то же время д. б. достаточно твердым, чтобы не подвергаться быстрому истиранию и сохранить на возможно более продолжительный срок полученный монетным кружком отпечаток рисунка со всеми деталями.

В СССР золотая и банковая серебряная монета изготовляется 900 пробы (900 вес. частей благородного металла и 100 вес. частей чистой электролитич. меди); серебряная разменная монета—500 пробы (половина чистого серебра и половина меди); бронзовая монета содержит 95% чистой меди и 5% чистого алюминия; медная монета из чистой электролитической меди. Иностранные монеты имеют крайне разнообразный состав сплава.

Изготовление звонкой монеты требует весьма точной работы, т. к. каждая монета должна строго соответствовать установленным для нее размерам, весу и пробе; содержимое одного мешка готовой к отправке монеты должно иметь вполне определенный вес. При массовом изготовлении монет все-таки нельзя достигнуть, чтобы каждый монетный кружок вполне точно имел назначенный для него вес и пробу; поэтому установлен р е м е д и у м, т. е. допускаемое законом отклонение в известных пределах от нормального веса и пробы. Определение проб для золотых и серебряных монет должно производиться с соблюдением следующих предельных норм:

	Золото 900 пробы	Серебро 900 пробы	Серебро 500 пробы
Расхождение между парал. опробованиями	1,0 пробы	1,0 пробы	3,0 пробы
Расхождение в опробованиях между верхом и низом слитка	1,0 »	2,0 »	5,0 »
Окончательн. проба должна получиться с точностью	0,5 »	1,0 »	1,0 »

Если расхождение между полученными пробами после повторного опробования окажется более установленной нормы, то слитки переплавляют. Сплав же бронзовой монеты должен удовлетворять требованиям, чтобы содержание меди в нем колебалось в пределах 94,0÷95,5%, а алюминия 4,25÷5,5%. В табл. 1 указаны размеры и вес для каждой монеты и тот весовой ремедиум, которым сопровождается изготовление этой монеты.

При изготовлении монет законом предусмотрены жесткие определенные нормы потерь (угара) металлов. Для золотой монеты нормы потерь на каждые 1 000 кружков составляют: при изготовлении в год 1 млн. кружков—12.5 *г* чистого золота, до 2 млн. кружков — 12 *г*, более 2 млн. кружков — 11,5 *г*. Для серебряной монеты норма потерь на каждую 1 000 кружков составляет: для монет достоинством в 1 р.—45 *г* чистого серебра, для полтинников—30 *г*, для монет в 20 к.—8 *г*, в 15 к.—6 *г*, в 10 к.—5 *г*. Для расхода электролитич. меди при добавке ее в сплавки золота и серебра установлены на кажд. 1 000 монетных кружков след. нормы потерь: для золотой монеты—6 *г*, для серебряной монеты: в 1 р.—50 *г*, в 50 к.—25 *г*,

Табл. 1.—Размеры, вес и весовой ремедиум звонких монет.

Достоинство монеты	Диаметр, *мм*	Толщина, *мм*	Вес 1 кружка, *г*	Весовой ремедиум, *г*	Содержимое мешка		Ремедиум веса содержимого 1 мешка, *г*
					по весу, *г*	по сумме, р.	
Золотой							
10 р.	22,606	1,23	8,6026	± 0,017	8 602,6014	10 000	± 6,4
Серебряной							
1 р.	33,528	2,00	20,0	± 0,062	19 995,723	1 000	± 30,0
50 к.	26,670	1,65	10,0	± 0,053	19 995,723	1 000	± 30,0
20 к.	21,844	0,90	3,6	± 0,133	17 996,150	1 000	± 27,0
15 к.	19,558	0,80	2,7	± 0,110	17 996,150	1 000	± 27,0
10 к.	17,272	0,65	1,8	± 0,089	17 996,150	1 000	± 27,0
Медной							
5 к.	32,004	2,27	16,3805	± 0,1338	Допуски на 1 мешок медной монеты не ограничивались		
3 к.	27,686	1,82	9,8283	± 0,1109			
2 к.	23,876	1,62	6,5522	± 0,0889			
1 к.	21,336	1,00	3,2761	± 0,0666			
½ к.	16,002	0,75	1,63805	± 0,0555			
Бронзовой							
5 к.	25	1,22	5	± 0,110	15 000	150	± 450
3 к.	22	0,95	3	± 0,090			
2 к.	18	0,94	2	± 0,070			
1 к.	15	0,67	1	± 0,060			

в 20 к.—34 *г*, в 15 к.—25 *г* и в 10 к.—17 *г*. Для уменьшения указанных потерь металла при производстве звонкой монеты на всех монетных дворах собирают т. наз. м о н е т н ы е с о р а, из к-рых затем извлекают драгоценный металл.

Процесс изготовления звонкой монеты в общих чертах одинаков на всех монетных дворах для всех сортов монеты. Последовательный ход изготовления серебряной монеты состоит из следующих операций.

П р и г о т о в л е н и е м о н е т н ы х с п л а в о в. В СССР для этих сплавов употребляют как «сырье» только чистые металлы—золото, серебро и электролитич. медь. Подготовка к переплавке серебра и меди в целях получения серебряного монетного сплава назначенной пробы производится лигированием. Для быстрого определения добавок металла имеются готовые таблицы. После подготовки металла к переплавке он из весовой поступает в плавильную мастерскую. Плавку монетного металла ведут в печах различной конструкции в зависимости от технич. оборудования данного монетного двора: в Америке—в электрич. печах системы Нортруп, в Англии и Италии—в газовых печах, а в СССР в дровяных самодувных горнах, в нефтяных горнах с дутьем и в газовых или коксовых печах.

Плавка серебряного монетного сплава в дровяном горне производится в специальном стальном (выдерживает до 40 сплавок) или чугунном (до 25 сплавок) горшке емкостью около 900 *кг* металла. Плавильный горн футерован огнеупорным кирпичом и имеет сверху колпак для закрывания горна во время плавки металла. Горн требует капитального ремонта раз в год. Плавка продолжается при сухих дровах ок. 5 ч.; расход дров на 100 *кг* переплавленного металла ок. 0,25 *м*³. Разливка готового расплавленного металла производится вручную при помощи покрытого мелом железного ковша на длинной ручке. Плавка серебряного монетного сплава на нефтяном горне системы Шмидта с одной форсункой производится в графитовом тигле емкостью ок. 300 *кг* металла. Горн с тиглем имеет вращение вокруг горизонтальной оси при помощи подъемного механизма, что дает возможность выливать расплавленный металл из тигля непосредственно в изложницы. Плавка продолжается ок. 2,5 ч., расход нефти на 100 *кг* расплавленного металла ок. 12 *кг*; графитовый тигель выдерживает ок. 20 сплавок. Монетный золотой сплав переплавляется в графитовых тиглях, в печах газовых или коксовых. Во время плавки металл тщательно перемешивают, чтобы получить вполне однородный сплав—золотой сплав при помощи глиняных или графитовых мешалок, а серебряный сплав посредством железных ковшей, смазанных мелом. До разливки серебряного сплава в изложницы берется «проба»; для этого зачерпнутый расплавленный металл выливают в чашку с водой через колеблющийся веник и получаемый мелкий серебряный порошок направляют в лабораторию на опробование (анализ производится мокрым путем по способу Гей-Люссака). Если контрольный анализ показывает требуемую для сплава пробу, то металл из горна разливают в изложницы; в противном случае приходится добавить недостающий до точной пробы металл и проплавить его. Проба для золотого монетного сплава определяется после разливки его в изложницы во избежание излишнего угара ценного металла в течение производства самого опробования.

Расплавленный металл разливают в станок с изложницами, к-рые перед отливкой смазывают минеральным маслом (в Англии и Италии—растительным); в станке находится 120 изложниц сечением каждая в 560—830 *мм*². Полученные бруски, т. н. к о в а н и н ы, готового монетного сплава рекомендуется не вынимать из изложниц, прежде чем они не остынут, т. к. кованины, вынутые очень горячими, быстро темнеют на воздухе; особенно важно придерживаться этого правила при разливке золотого сплава. По охлаждении на воздухе этих кованин с ребер их снимают заусенцы при помощи стан-

ка с «шарошками» и затем на специальных ножницах отрезают концы с усадочными раковинами; после этого кованины взвешивают и направляют в прокатную мастерскую. Кованина весит от 2,5 до 5,75 *кг* и имеет длину от 500 до 700 *мм*. Выход годной кованины из сплавки около 97%; среднее число человекодней на 100 *кг* металла ~0,63. Для получения гигиенич. условий работ по переплавке монетных сплавов и для уменьшения % угара драгоценного металла при переплавке в горнах на монетном дворе в Ленинграде устанавливается электрич. индукционная печь высокой частоты американского типа Нортрун; основные данные этой печи: емкость печи 0,5 *т* расплавленного металла; трехфазный ток в 220 V; мощность генератора 100 kW; продолжительность плавки монетного серебряного сплава 55—60 минут; расход энергии 450—500 kWh/*т*; угар металла не более 0,1%.

Прокатка. Прежде чем приступить к прокатке кованин данной сплавки, прокатывают только 3 пробных кованины; из каждой полученной т. о. монетной ленты прорезают по 2 кружка (по одному из середины и из конца) для контрольного анализа (3 кружка опробываются в химич. лаборатории, а 3 сохраняются как контрольные); лишь по получении подтверждения о нормальности пробы этих, т. наз. черных, кружков все кованины поступают в прокатку. С целью смягчения металла перед прокаткой кованины предварительно отжигают в течение 1 ч. во вращающейся пламенной отражательной печи при температуре в 600°. Для отжига металл загружают в железные противни и в них поступает в печь. После отжига металл, уже охлажденный на воздухе, поступает в прокатку на прокатном стане. На Лондонском монетном дворе отжиг монетных лент производится в газовой одномуфельной печи; для отжига ленты кладут на бесконечную цепь; пройдя на ней через водяной затвор (бак с водой), ленты поступают в муфель, где отжигаются в течение 1 ч. при *t*° ок. 600°; выход лент из муфеля производится также через водяной затвор, где они и охлаждаются перед поступлением в прокатку; вся операция по отжигу одной партии монетных лент требует ок. 3 ч.

Прокатный стан имеет 2 пары уравновешенных грузами рабочих валков с наружным диам. 300 *мм* при длине рабочей поверхности 305 *мм*; валки делают 42 об/м. Нажим валков производится клиновыми ползунами, соединяющимися винтовой резьбой с червячными колесами; при такой системе нажима возможно получить заданную толщину прокатанного металла с наибольшей точностью. Стан приводится в движение электродвигателем трехфазного тока в 102 HP. Электродвигатель соединен непосредственно с прокатным станом при помощи зубчатого привода с маховиком; для первых операций прокатки употребляются чугунные валки с закаленной поверхностью, а для последующих операций—стальные валки.

Схема прокатки кованины, т. е. серебряного бруска 41 (42) × 20 × 500 *мм* для получения монетной ленты сечением 50 × 0,97 *мм* для 20-к. монет представлена в табл. 2, причем указан также периодический отжиг

Табл. 2.—Схема прокатки серебряной кованины.

Наименование операций		Уширение лент, *мм*	Время в мин. на пр-во самих операций и на вспом. работы
Предварительный отжиг кованин (1 сплавка) 240 шт.=900 *кг*			75
I. Прокатка (120 шт.)	с 20 на 15 *мм*	С 42 до 45	11,5
	» 15 » 12 »	» 45 » 46,5	8,0
	» 12 » 10 »	» 46,5 » 46,7	8,5
	» 10 » 7,6 »	» 46,7 » 47	9,5
			37,5
Вся сплавка			75
Второй отжиг 60 шт.			15
Вся сплавка			60
II. Прокатка (60 шт.)	с 7,60 на 6,10 *мм*	С 47 до 48	6,0
	» 6,10 » 4,80 »	» 48 » 48,5	6,0
	» 4,80 » 3,75 »	» 48,5 » 48,7	6,5
	» 3,75 » 3,05 »	» 48,7 » 49	7,0
			25,5
Вся сплавка			102
Третий отжиг 60 шт.			15,0
Вся сплавка			60
Разрезка на 2 части		С 49 до 49,3	24
		» 49,3 » 49,5	
III. Прокатка (60 шт.)	с 3,05 на 2,40 *мм*		9,0
	» 2,40 » 1,80 »		9,5
			18,5
Вся сплавка			74
Четвертый отжиг 60 шт.			15,0
Вся сплавка			60
Разрезка на 2 части		С 49,5 до 50	28
IV. Прокатка (60 шт.)	с 1,80 на 1,45 *мм*		12,0
	с 1,45 на 1,10 и 0,97 *мм*		29,0
			41,0
Вся сплавка			164
Всего			722

металла. Для 20-к. монет изготовляют и более широкие ленты (90 *мм*) прокаткой кованины размером 83(85) × 20 × 700 *мм*. При последней прокатке толщина лент проверяется микрометром. Для 15-к. монет кованины размером 33 (34) × 18 × 500 *мм* прокатываются на ленту сечением 45 × 0,92 *мм*, или же кованины 75 (77) × 20 × 700 *мм* на 82 × 0,92 *мм*; для 10-к. монет—29 (30) × 20 × 500 *мм* на ленту сечением в 43 × 0,77 *мм* или же

83 (85) × 20 × 700 *мм* на 90 × 0,77 *мм*. Ленты для бронзовых монет изготовляют следующих размеров:

Для 1 к.—шириной	142,5 *мм*	и толщиной	0,57 *мм*
» 2 »	»	39,5 »	»	0,94 »
» 3 »	»	48,5 »	»	0,95 »
» 5 »	»	53,5 »	»	1,22 »

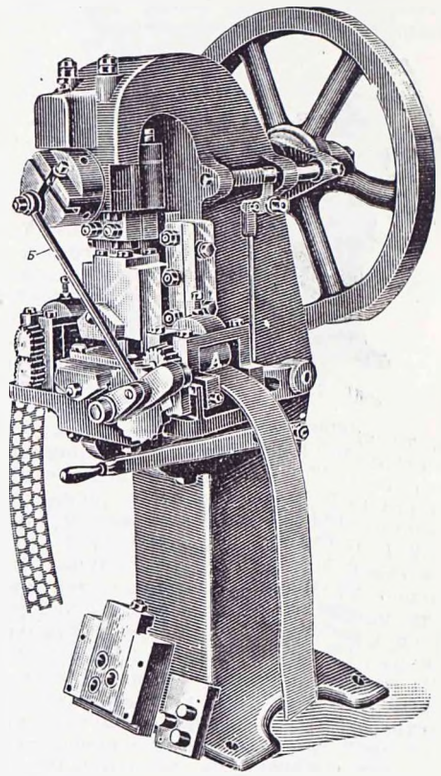
Медную ленту для ½-коп. монет делают шириной 142,5 и толщиной 0.88 *мм*. Средняя производительность пары валков в 1 смену (7 ч.) равняется ок. 700 *кг* монетных серебряных лент. Различная ширина монетных лент устанавливается в зависимости от конструкции прорезного станка, на котором прорубаются монетные кружки; для прорезных станков с ручной подачей изготовляют узкие монетные ленты, для автоматических—более широкие. Длина узких лент до 8 *м*; широкие ленты выполняют максимальной длины и сворачивают их в рулоны. Ленты после прокатки могут иметь отклонения от установленной ширины не более ± 0,5 *мм*. Отклонения в толщине прокатных лент проверяются по весу вырубленных нормальным пестиком монетных кружков, причем установлены следующие нормы подобных отклонений для каждого серебряного и бронзового кружка в *г*:

Для 10 к.	± 0,1333	Для 1 к.	± 0,06
» 15 »	± 0,1555	» 2 »	± 0,07
» 20 »	± 0,1777	» 3 »	± 0,09
» 50 »	± 0,0553	» 5 »	± 0,11
» 1 р.	± 0,0622		

Прорезку монетных кружков производят на прорезном станке, к-рый представляет собою обыкновенный приводный пресс с коленчатым валом малого радиуса кривошипа; поступательное движение от шатунного механизма передается движущейся в бронзовых направляющих скалке, к которой прикреплены стальные прорезные пестики, проходящие при движении вниз через соответствующие отверстия в матрице. Простые прорезные станки имеют 1—2, а автоматы 3—10 пестиков (пуансонов). Подача узких лент под пестики производится на простых станках вручную, а широких лент на станках-автоматах (фиг. 1) при помощи особого приспособления. Автоматич. подачу лент производят две пары валиков *А*, приводимых в движение от вала при помощи эксцентриковой тяги *Б* и храпового колеса. После каждого рабочего удара дается при помощи этой тяги поворот валиками, которые протягивают ленту на определенную длину; рулон ленты помещают на вращающемся барабане перед станком. Полученные после прорезки кружков обрезки сколачивают в «пакеты» и направляют на переплавку.

В Англии и Италии под прорезным станком установлен наклонно неподвижный грохот, через к-рый проваливаются мелкие обрезки и неполные кружки, тогда как нормальные кружки скользят по грохоту в ящик; таким путем происходит здесь предварительная браковка прорезанных монетных кружков; вторичная браковка производится на станке с полотном (см. ниже). На Ленинградском монетном дворе полная браковка прорезанных монетных кружков производится сразу в специальных вращающихся от трансмиссии железных цилиндрах, снабженных отверстиями с диам., равным диам. монеты (для каждого сорта монеты имеется соответствующий цилиндр); через отверстия проходят все неполные кружки и кроме того здесь кружки благодаря трению освобождаются от заусенцев.

При изготовлении золотых и серебряных банковых монет требуется особая точность; поэтому пользуются прорезными станками, снабженными пестиками различного диаметра; в зависимости от колебания веса контрольных кружков из-за незначительных отклонений в сторону уменьшения толщины лент, эти ленты направляют для прорезки на тот из станков, к-рый имеет диам. пестика, нужный для уравновешивания отступлений от нормы веса кружков, чтобы в конце концов получились кружки нормального ве-



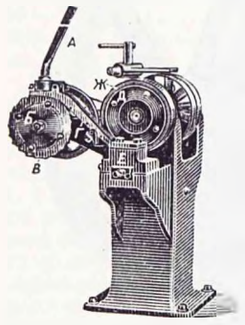
Фиг. 1.

са; так, диам. нормального пестика для 50 к. равняется 27,15 *мм*, а запасный прорезной станок имеет пестик с ⌀ в 27,35 *мм*; для 1 руб. запасный станок имеет ⌀ 34, 45 *мм*, а нормальный ⌀ 34,05 *мм*. Число об/м. простых прорезных станков 400—425, а автоматов 140—165; средняя производительность в 1 смену простого станка ~ 700 *кг* и автомата ~ 1 000 *кг*; 1 рабочий обслуживает 2 автомата; количество обрезков зависит гл. обр. от ширины лент и определяется: для широких лент около 25%, а для узких—около 35%. Стальные пестики, к-рыми вырубают монетные кружки, имеют диам. несколько больший, чем диам. соответствующего сорта готовой монеты, так как прорезанные кружки должны иметь следующий незначительный запас в размерах диаметра, необходимый

для последующей операции—гурчения, т. е. утолщения металла по окружности монетного кружка (диам. монет даи в *мм*):

Достоинство монет	⌀ до гурчения	⌀ после гурчения
1 р.	33,9	33,4
50 к.	27,0	26,6
20 »	22,5	21,7
15 »	20,1	19,4
10 »	17,7	17,1

Гурчение на станке (фиг. 2) производят следующим образом: кружки загружают вручную в направляющую длинную трубку *А*, откуда они собственной тяжестью опускаются на вращающийся стальной диск *Б*, захватываются здесь зубцами *В* и, скользя по наклонному жолобу *Г*, попадают в горизонтальном положении между вращающимся стальным диском *Д* и неподвижной стальной плашкой *Е*; диск *Д* имеет по окружности неглубокую канавку *Ж*, а плашка *Е* снабжена канавкой (длиной немного более длины окружности монетного кружка) в виде кривой линии, составляющей отрезок круга с радиусом, равным радиусу окружности канавки на диске *Д*; когда кружок попадает в канавку диска *Д* под прямым углом к плоскости этого диска, то вращением диска он увлекается в пространство между диском *Д* и плашкой *Е*; это пространство по ширине меньше диаметра кружка, поэтому кружок, попав в обе канавки, зажимается между диском *Д* и плашкой *Е* и быстро протаскивается вперед, вследствие чего у металла получается небольшое утолщение (о п у ш к а) по окружности монетного кружка. Станок обслуживается 1 рабочим. Число об/м. гуртильного станка от 130 до 135; средняя производительность станка в смену за 7 ч. около 600 *кг* монетных кружков. Для ускорения загрузки монетных кружков в направляющие трубки станков применяют небольшие деревянные лотки с канавками, куда при встряхивании ложатся кружки в виде стопок, готовых для вкладывания в трубку станка. Монетные кружки червонца и банкового серебра снабжаются еще гуртовой надписью с обозначением веса чистого металла в данной монете: на червонце—7,74234 *г* золота, на рубле—18 *г* и на полтиннике—9 *г* серебра; кроме того здесь помещаются инициалы лица, отвечающего за чеканку этих монет. Подобная надпись выдавливается при полном обороте монетного кружка на том же гуртильном станке; для этого в канавке плашки *Е* наносится в обратном виде полная требуемая надпись. Иногда эта надпись делается на гуртильном станке с прямолинейным движением; в этом т. н. гуртопечатном станке монетный кружок протаскивают между двумя горизонтальными плашками, каждая из к-рых имеет только половину всей требуемой надписи. Эти станки позволяют более точно получить гуртовую надпись, т. к. возможность ошибки здесь сосредоточена только на половине оборота монетного кружка, а не на полном его обороте, как в простом гуртильном станке. Иностранные монеты гуртовой надписи не имеют. После гурчения монетные кружки поступают в отбел.



Фиг. 2.

Отбел монетных кружков требует особого внимания, т. к. этот процесс сопровождается безвозвратной потерей меди, входящей в состав монетного сплава; поэтому отбел кружков стараются вести по возможности в слабом кислотном растворе и ускоренным темпом. Процесс отбела черных монетных кружков всюду сопровождается первоначальной операцией по пожиганию самих кружков. Необходимость этого п о ж и г а вызывается следующими требованиями: а) выжечь с поверхности кружков масло и грязь, приставшие к ним во время предыдущих операций, б) смягчить металл кружка для облегчения чеканки и в) перевести в окись находящуюся на поверхности кружка медь, чтобы ускорить растворение ее в кислоте в целях облегчения отбела. Для пожига употребляются обыкновенные муфельные печи, действующие на различном топливе; на Ленинградском монетном дворе действуют нефтяные двухмуфельные печи, причем в каждый чугунный муфель загружается в небольшом железном ящике ок. 30 *кг* монетных кружков; нагрев серебряных кружков при 550 — 600° ведут в течение 10—15 мин., бронзовых—15—20 мин.; во время пожига кружки перемешивают для равномерности отжига 1—2 раза железной кочергой. На 100 *кг* монетных кружков расходуется ок. 8 *кг* нефти. После пожига кружки остывают на полу мастерской в таких же железных ящиках. Золотые монетные кружки для пожига загружают в муфельную печь закупоренными в железные цилиндры для устранения окисления кислородом воздуха лигатурной меди на поверхности кружка; при этом в цилиндр сверх монет засыпается древесный уголь, и затем он плотно закрывается железной крышкой с обмазкой глиной.

Остывшие кружки засыпают во вращающуюся медную бочку с отверстиями (в Италии деревянные бочки с отверстиями, в Англии—медные). Бочка (внутренний диаметр 450 *мм* и длина 850 *мм*) с монетой весом около 300 *кг* вращается в выложенном внутри свинцом ящике, наполненном раствором серной к-ты разной крепости и $t°$ в зависимости от монетного сплава данных кружков; для золота—2° Bé и $t°$ ок. 40°, для серебра 900 пробы 8° Bé и $t°$ ок. 40°, для серебра 500 пробы 15° Bé и $t°$ 30°, для бронзы—12° Bé и $t°$ 30° и для меди $1^1/_2$° Bé и $t°$ 15°. Золотые и серебряные кружки в кислотном растворе вращаются около 1 ч., а бронзовые—$^1/_2$ ч.; затем бочка с кружками передвигается при помощи талей в соседнее отделение ящика с проточной водой, где золотые и серебряные кружки промываются в течение $^1/_2$ ч., а бронзовые—$1^1/_2$ ч., после чего отбеленные кружки поступают в сушку. Весь процесс отбела производится под медным колпаком, который плотно закрывает вращающуюся бочку вместе с кислотным ящиком; колпак снабжен вытяжной трубой.

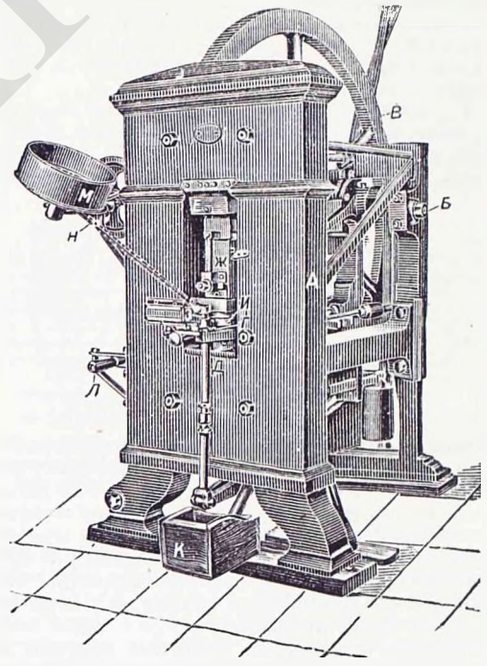
В Италии отбел кружков производится в растворе кремортартара (50 *г* на 1 *л* воды). Серебряные монетные кружки отбеливать рекомендуется в горячем кислотном растворе, потому что в этом случае растворение наружного слоя меди происходит быстрее; вследствие этого образующаяся на поверхности кружка плотная серебряная пленка предохраняет кружок от дальнейшего проникания кислоты внутрь кружка, чем избегается напрасная потеря металла.

Химические процессы, протекающие при отбеле монетных кружков раствором серной кислоты, сводятся к следующим реакциям:

I. $2Cu + 2H_2SO_4 + O_2 \rightarrow 2CuSO_4 + 2H_2O$;
II. $2H_2SO_4 + Cu \rightarrow CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$.

Первая реакция происходит уже при обыкновенной $t°$ в присутствии кислорода воздуха; течение второй реакции обусловливается повышенной темп-рой раствора. В результате процесса отбела монетных кружков раствор обогащается медным купоросом и обедняется свободной серной кислотой. Поэтому, когда содержание медного купороса достигает такой концентрации, при к-рой нарушается процесс отбела, раствор заменяют свежим. Отработанный отбельный раствор на монетных дворах регенерации не подвергается в виду невыгодности этой операции. Серебро в раствор не переходит. На 100 *кг* монетных кружков тратится для отбела ок. 1,5 *кг* серной к-ты или ок. 2,4 *кг* бисульфата. Сушка отбельных монетных кружков в Ленинграде проводится в полой медной чаше, через к-рую пропускается свежий пар при давлении в 1,5 *atm*, причем кружки перемешиваются вручную при помощи полотняных тряпок. В Англии сушка кружков производится в железном вращающемся барабане с древесными опилками лиственных пород, а в Италии кружки сушатся на нагреваемом электрич. током большом медном подносе, покрытом полотном. Употребление древесных опилок при сушке непрактично, т. к. на отбеленных кружках остается мельчайший слой древесной пыли, к-рый при чеканке загрязняет детали штемпеля, и на монете получается не вполне отчетливый оттиск. После отбела монетные кружки поступают в чеканку.

Чеканка монетных кружков на всех монетных дворах производится на рычажных станках, главн. обр. немецкой системы Ульгорна, заимствованной в основных чертах у русского горного инженера Неведомского, который еще в 1811 году опубликовал свое изобретение. Передняя часть этого станка (фиг. 3) представляет собою массивную чугунную раму *А*, в центральном отверстии к-рой сосредоточен весь механизм для чеканки кружков; сзади этой рамы на главном валу *Б* станка находится маховое колесо *В*, благодаря к-рому станок имеет плавный ход; на вал насажен шкив, получающий вращение от общей трансмиссии; механизм для чеканки состоит из 2 стальных патронов *Г* и *Д*, в к-рые закрепляются верхний и нижний монетные штемпеля; при помощи специального соединения *Е* с кривошипом приводится в действие рычажное приспособление *Ж* для передачи верхнему штемпелю вертикального движения. Кружок автоматически захватывается из-под направляющей трубки *З* и кладется на нижний штемпель при помощи особой вилки-«снималки» *И*. Давлением верхнего штемпеля на кружке получаются отпечатки изображения с обеих сторон, из которых лицевой (а в е р с) называется та сторона, где расположен герб, и

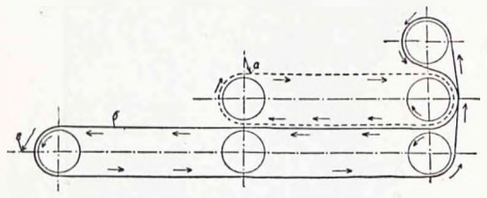


Фиг. 3.

оборотной (р е в е р с)—где указано достоинство монеты. Во избежание расползания металла при чеканке установлено стальное п е ч а т н о е к о л ь ц о с внутренним диам., равным диаметру монеты; печатное кольцо делается цельным, если требуется получить на монете гурт гладкий или с рубчиками; если же необходим какой-нибудь простой рисунок или несложная надпись на гурте, то делают кольцо разборное из трех частей. Из кольца монетный кружок выталкивается нижним штемпелем, который в самый момент чеканки неподвижен, но затем получает движение вверх, когда верхний штемпель начинает двигаться обратно в верхнее положение. Как только монета выйдет из кольца, она подхватывается длинным концом той же вилки-снималки и сбрасывается по трубке в приемный ящик *К* для готовой монеты. Для пуска и остановки станка имеется с левой стороны рамы рычаг *Л*. А в т о м а т - п и т а т е л ь на Ленинградском монетном дворе состоит из установленного наклонно круглого ящика *М*, дно которого вращается; дно снабжено по своей окружности открытыми к центру ячейками с диам., равными диам. соответствующего монетного кружка; кружки засыпаются в нижнюю часть ящика; при вращении дна захватываются вверх только те кружки, которые попали в ячейки; когда соответствующая ячейка достигнет верхнего положения, то монета из нее вылетает, попадает в наклонный желобок *И* направляющей

трубки *3* и движется в ней собственным весом до самой снималки. В 1 мин. станок делает от 80 до 100 ударов и потребляет ок. 1 Нр. При 7-часовом рабочем дне вырабатывают около 33 000 отчеканенной монеты; 1 рабочий обслуживает 2—3 станка. Перед засыпкой кружков в автомат-питатель или перед вкладыванием их вручную в направляющую трубку рабочие отсортировывают дефектные кружки—горбатые и бескрайные. После чеканки монетные кружки поступают в браковку и сводку.

Браковка всей отчеканенной монеты происходит на станке с движущимся полотном шириной 350 *мм* (фиг. 4). На верхнюю часть *а* рабочий постепенно высыпает монету



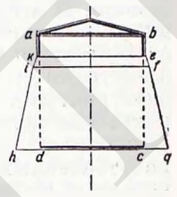
Фиг. 4.

и разравнивает ее в один слой; другой рабочий здесь отбирает дефектные кружки, наблюдая одну сторону монеты, а третий рабочий просматривает другую сторону монеты на нижней части *б* станка; хорошие монеты автоматически скатываются в ящик у *г*. Подобный станок дает больше гарантий, чем при ручной браковке, в том, что обе стороны монеты будут просмотрены. Золотые и полноценные серебряные монетные кружки до чеканки подвергаются кроме того предварительной браковке «по звону»; для этого рабочие-подростки быстро бросают каждый кружок на стальной цилиндр и удаляют кружки без звона или с глухим звоном, так как в этом случае монета имеет наружную едва заметную трещину или пленку внутри металла кружка.

Сводка. После браковки на станке монета поступает на сводку, т. е. все кружки пересчитывают, взвешивают и укупоривают; золотую и полноценную серебряную монету сначала рассортировывают при помощи автоматич. весов Непира на три группы: с нормальным весом и за пределами ремедиума—легкие и тяжелые. Раньше, когда конструкция прокатных станков не давала возможности получать монетную ленту точно требуемой толщины, производилась перед чеканкой еще браковка золотой и полноценной серебряной монеты на автоматических весах Сейса, которые рассортировывали все кружки по весу на пять групп: нормальные, в пределах ремедиума — легкие и тяжелые, слишком легкие и чрезмерно тяжелые. Легкие кружки переплавляются, а тяжелые поступают на специальный строгальный станок для снятия с них тонкой стружки и придания кружку нормального веса.

Пересчет монеты производится различными способами: а) раскладкой кружков на «разгонных» столах; в этом случае известная площадь обыкновенного стола содержит определенную сумму данной монеты (в СССР и в ряде других монетных дворов); б) на деревянных подносах с углублениями по диам. кружка; монета насыпается на поднос, который после встряски наклоняют для сбрасывания лишней монеты (Италия); в) при помощи автоматич. счетной машины (СССР, Англия и Америка). После пересчета монеты (в количестве для одного мешка) ее взвешивают и укупоривают в мешки (в Италии—в железные боченки) для отправки по назначению.

Изготовление штемпелей для чеканки монеты требует особого внимания, так как при плохом штемпеле резко уменьшается скорость чеканки монетных кружков и ухудшается качество самой монеты. Монетные штемпеля везде изготовляют на самих монетных дворах. Употребляют для штемпелей сталь с содержанием углерода 0,9—1,1% разных фирм: в СССР в настоящее время—«Добрыня № 10» завода Красный Путиловец (до революции—англ. фирмы Хентсмена и австр. фирмы Беллера), в Англии—Хентсмена с $t°$ закалки 700 — 800°, а в Италии — «Полди стабиле А (или В)» из Чехо-Словакии с $t°$ закалки 830—840° и Беллера из Австрии с $t°$ закалки 780—790°. Хорошая штемпельная сталь не должна при закалке ни садиться ни трескаться. Формы штемпелей указаны на фиг. 5 (в СССР—*abcd* и за границей—*abefghik*). Конусность нижней части монетного штемпеля необходима для закрепления его в патроне печатного станка. На Ленинградском же монетном дворе штемпель имеет форму правильного цилиндра (эта форма увеличивает его стойкость при закалке и уменьшает расходы на сталь и рабочую силу), вставляемого после этого в отдельное конусное кольцо, которое имеет продольный прорез; благодаря этому кольцу монетный штемпель зажимается гайкой патрона печатного станка; кольцо делают из стали с содержанием углерода 0,6% и закаливают при $t°$ около 700° с отпуском до темносинего цвета, что и дает пружинистость; штемпель закаливается при температуре около 800° и отпускается при светлосинем цвете.



Фиг. 5.

Процесс изготовления самих штемпелей почти везде один и тот же и состоит из следующих операций. Нарезаются куски-цилиндрики прутковой стали соответствующей длины на токарном станке; один конец цилиндрика обтачивают на конус, на котором будет выдавлено изображение одной стороны монеты, и шлифуют этот конус. На фрикционном прессе при помощи т. н. маточника (штемпель с рельефным изображением) переводят изображение на конус цилиндрика; рельефное изображение на стальном маточнике делается или вручную гравером (что требует продолжительного времени) или же, как в Ленинграде, механически при помощи копировально-резальной машины системы Жанвье, к-рая в данном масштабе вырезает быстро на стали, точно копируя изображение установленной на ней модели. Последняя операция—это обточка цилиндрика на токарном станке для придания ему формы штемпеля. Полученные т. о. «сырые» штемпеля после просмотра их гравером и нагрева в нефтяной муфельной печи закаливают (закалка в воду, 15—18°, из к-рой штемпеля д. б. вынуты еще теплыми) и затем отпускают; нагрев для отпуска производят на нагретой докрасна железной плитке до соломенножелтого или светлосинего цвета, в зависимости от сорта стали. Закаленные штемпеля просматриваются гравером и направляются для чеканки монетных кружков. Стойкость штемпелей различна для разных сортов стали—обычно в среднем около 30 000 ударов, и максимально до 200 000.

Монетные сора. Во время производства монет накапливаются монетные сора, которые собирают как в течение всего операционного года, так и в период специальной остановки завода для учета наличия всего металла в целях определения его фактического угара. В сора поступают: наружный слой кирпича после ремонта плавильных печей, очистки от внутренней поверхности вышедших из употребления плавильных тиглей, весь предварительно пережженный мусор из мастерских, износившиеся прозодежда, туфли, рукавицы, половики, о к-рые должен вытирать подошвы сапог каждый выходящий из мастерских. Только на Ленинградском монетном дворе эти сора обрабатываются металлургически для извлечения из них драгоценных металлов; на заграничных же монетных дворах сора передаются для обработки на частные заводы. Контрольные анализы показывают, что на монетных дворах находится драгоценный металл везде; например на монетном дворе в Ленинграде грязь отстойных колодцев канализации содержит ок. 0,58% серебра и ок. 0,1% золота; грязь из колодца прачечной, куда стекает вода после мытья прозодежды, ок. 3,9% серебра и ок. 0,02% золота; пыль из вентиляционной трубы над столом, где происходит разборка старой серебряной монеты, ~15,5% серебра и ~0,03% золота; зола от партии изношенных брезентовых рукавиц ~7,98% серебра и ~0,04% золота, а кожаных туфель ~3,33% серебра и 0,09% золота. Анализ средней пробы от довольно значительной партии соров дал следующий результат в %: 26,86 SiO_2, 9,33 Al_2O_3, 23,45 Fe_3O_4, 9,37 Cu, 11,36 CaO, 1,24 MgO, 7,56 Ag, 0,01 Au, 4,14 CO_2; потеря при прокаливании ~5,6%; на Ленинградском монетном дворе эти сора делятся на две группы: богатые, с содержанием серебра >3%, и бедные, с содержанием его <3%. Богатые сора поступают непосредственно для переплавки в нефтяную вращающуюся отражательную печь «Мечта» системы инж. Зарудного, для получения «верклея»; бедные же сора после измельчения на бегунах и просеивания через соответствующие сита поступают для обогащения на стол Вильфлея, где в результате их промывки получается ок. 30% концентратов с утроенным содержанием серебра против первоначального; просушенные концентраты переплавляют в той же печи.

Полученный «верклей» подвергают трейбованию в нефтяной печи с выдвижным подом для получения бликового серебра, к-рое затем поступает для рафинирования электролизом по способу Мебиуса в слабокислотном растворе азотнокислого серебра. Серебро осаждается на катодах в виде белого неплотно пристающего к ним кристаллического порошка, который затем промывают, сушат и сплавляют в слитки. В результате получается рафинированное серебро пробы 999,8—999,9. Золото, остающееся в шламе в виде черно-бурого осадка, после окончания операции электролиза тщательно промывают, подвергают химической очистке и сплавляют в слитки. Медь, заключенная в бликовом серебре, переходит при электролизе из анода в раствор и затем восстанавливается при помощи железа в виде цементной меди; таким способом извлекают из монетных соров те металлы, которые употребляются при изготовлении монет.

Лит.: Неведомский И., Добропиз-ский А., Европейские монетные дворы, «ГЖ», 1871, т. 4, 1873, т. 1, 1875, т. 1; Фолендорф Н., Современное состояние монетного дела в России и Зап. Европе, СПБ, 1883; Земницкий И. И., Ленинградский монетный двор, «Предприятие», Москва, 1925, 2; «Annual Report of the Deputy Master a. Comptroller of the Royal Mint», London; «Annual Report of the Director of the Mint», Wsh.; «Relatione sui Servizi della Regia Zecca», Roma.

И. Земницкий.

МОНОЗЫ, см. *Моносахариды.*

МОНОЛИН, строкоотливная наборная машина. См. *Набор типографский* и *Наборные машины.*

МОНОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ РЕАКЦИИ, или реакции первого порядка,—те, в которых только одно вещество претерпевает превращение, при условии, что стехиометрич. коэфициент в химич. ур-нии реакции равен единице: $A \to B + C + \ldots$ (реакция $2A \to A_2$ т. о. бимолекулярна). Примеры М. р.: превращения неустойчивых изомеров в устойчивые (ацетохлоранилида в *n*-хлорацетоанилид, синальдоксима в антиальдоксим и др.) и некоторые разложения (карбонила никеля, нитрита аммония, азотного ангидрида, эфиров и т. п.). Если c—концентрация вещества, претерпевающего превращение, в момент времени t, то по основному постулату химической кинетики скорость превращения пропорциональна концентрации в данный момент времени, т. е. $-\frac{dc}{dt} = kc$; после интегрирования этого выражения получаем: $\ln \frac{c_0}{c} = kt$, или $c = c_0 e^{-kt}$; здесь c_0—исходная концентрация вещества (при $t=0$), k—коэфициент скорости реакции. Если a—количество вещества в исходный момент времени, x—количество его, претерпевшее превращение к моменту времени t, v—объем системы, то концентрация вещества в момент t равна $c = \frac{a-x}{v}$, откуда для скорости реакции имеем: $-\frac{dc}{dt} = \frac{1}{v}\frac{dx}{dt}$ и т. о. ур-ие скорости М. р. примет вид $\frac{dx}{dt} = k(a-x)$, из которого вытекает та особенность М. р., что скорость их не зависит от разведения (в ур-ии отсутствует объем v), т. е. какова бы ни была исходная концентрация вещества, определенная доля ее исчезает через один и тот же промежуток времени. После интегрирования это выражение принимает вид:

$$kt = \ln \frac{a}{a-x}, \text{ или } a - x = ae^{-kt},$$

откуда

$$x = a(1 - e^{-kt}).$$

По ур-нию М. р. текут радиоактивные превращения. Приближенно по этому же типу идут реакции, в к-рых принимают участие два или больше веществ ($A + B + C + \ldots \rightarrow A' + B' + \ldots$), но в которых количества всех реагирующих веществ кроме одного настолько велики, что изменениями их концентраций практически можно пренебречь, т. е. влияние их на скорость реакции есть постоянная величина. Пример: инверсия тростникового сахара в водном растворе: ($C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 2C_6H_{12}O_6$), при которой концентрация воды м. б. практически принята за постоянную величину. М. р. в указанных примерах изолированы, но они могут также являться частями или звеньями более сложных реакций: обратимых ($A \rightleftarrows B$), параллельных ($A \overset{\rightarrow B+\ldots}{\underset{\rightarrow C+D+\ldots}{}}$), консекутивных ($A \rightleftarrows B \rightleftarrows C \rightleftarrows D \rightleftarrows \ldots$); по типу $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow \ldots$ протекают радиоактивные процессы. М. р. просты только с формальной точки зрения; с теоретической—они чрезвычайно трудно поддаются объяснению, так как молекула вещества в них претерпевает превращение независимо от воздействия других молекул: в определенный промежуток времени «взрывает» определенная доля имеющихся в наличии молекул.

Применение теории активации (см. *Кинетика химическая*) показывает, что вычисленная скорость М. р. меньше действительной скорости в 10^5 раз (энергия активации в М. р.—от 20 000 до 70 000 cal на моль); очевидно, что их скорость не зависит от числа столкновений молекул. Теория Льюиса-Перрена (в современной форме не выдерживающая критики) считает М. р. результатом воздействия инфракрасной радиации. Теория Линдемана-Хиншельвуда считает, что и в М. р. столкновения молекул ведут к активации, но здесь, в отличие от бимолекулярных реакций, вслед за активацией не наступает немедленное их реагирование; между активацией и реагированием проходит нек-рый срок, в течение которого активная молекула может, столкнувшись с другой молекулой, потерять активность (дезактивация молекул); отсюда понятна независимость скорости М. р. от скорости активации и от давления (объема). Казалось бы, что скорость таких реакций д. б. меньше вычисляемой, так как дезактивация уменьшает число реагирующих молекул. Однако по типу М. р. текут превращения сложных веществ (N_2O_5, эфиры, ацетон и т. п.), а не простых (HCl, HJ и т. д.); в сложных же молекулах имеют место колебания нескольких атомов, т. е. имеется налицо много степеней свободы, что ведет к значительному увеличению числа активирующих столкновений в секунду; путем подбора числа степеней свободы можно подойти к реальным скоростям М. р. Теория Христиансена-Крамерса вводит новый источник активации (кроме столкновений молекул)—переход к молекулам теплоты реакции, выделяющейся при распаде первично активированных молекул. Все эти теории встречают целый ряд серьезных затруднений в своем развитии и ни одна из них не может быть признана окончательной. Трудности здесь так велики, что Дж. Дж. Томсон (в 1927 г.) для объяснения сущности М. р. считает возможным допустить флюктуации внутренней энергии (в отсутствии столкновений и абсорбции радиации), т. е. считает закон сохранения энергии только статистическим законом.

Лит.: Семенов Н. Н., Современное учение о скоростях газовых химических реакций, М.—Л., 1929; «Сообщения о научно-технич. работах в Республике», Л., 1930, вып. 26, Катализ; Hinshelwood C. N., The Kinetics of Chemical Change in Gaseous Systems, Oxford, 1926; Taylor H. S., A Treatise on Physical Chemistry, v. 2, p. 865—1005, L., 1924; Structure et activité chimiques, Rapports et discussions. Deuxième conseil de chimie, P., 1926. **А. Рановский.**

МОНОПОЛЬ-МЫЛО, патентованный продукт типа *ализаринового масла*; получается в промышленности при энергичной обработке касторового масла серной к-той 66° Bé [1]. Продажный продукт представляет мягкую желтоватую, мыловидную массу, к-рая содержит до 80% жирных к-т. М.-м. легко растворяется в теплой воде и имеет слабо щелочную реакцию на лакмус, но фенолфталеиновый раствор показывает кислую реакцию. Подобный же продукт получается при действии 25 *г* серной к-ты 66° Bé на 100 *г* рицинолевой кислоты при $t°$ не выше +5°. Полученный сернокислый эфир рицинолевой к-ты частично нейтрализуют едким натром с таким расчетом, чтобы часть рицинолевой к-ты осталась свободной. Эфир до нейтрализации необходимо нагреть до 100° (ок. 4 часов). После нейтрализации смесь этих двух продуктов по свойствам подобна М.-м. Существенное отличие М.-м. от ализаринового масла в том, что его кальциевые и магниевые соли растворимы в воде; поэтому М.-м. можно применять при мытье жесткой водой. Обладая хорошей смачивающей и эмульсирующей способностью, М.-м. широко применяется при крашении хлопка и искусственного шелка субстантивными красителями как добавка, способствующая лучшей эгализации красителя; кроме того М.-м. применяется в качестве кислой протравы при ситцепечатании и крашении хлопка пунцовым ализарином (вместо ализаринового масла, однако с меньшим успехом). Перед ализариновым маслом М.-м. имеет то преимущество, что товар, пропитанный им, меньше желтеет при лежке, чем при обработке ализариновым маслом, и потому получается очень чистое белое поле.

В химико-текстильной промышленности для той же цели применяется аналогичный продукт — Монополь-масло, жидкость коричневого цвета с содержанием до 95% жирных к-т, легко растворимая в воде при прибавлении едкого натра.

Лит.: [1] Г. П. 113432. — Петров П., Викторов П. и Малютин Н., Химич. технология волокнистых веществ, Ив.-Вознесенск, 1928; «Изв. О-ва для содействия, улучшения и развития мануфактурной промышленности», Москва, 1909, стр. 143, 1913, стр. 422; Erban F., Die Anwendung v. Fettstoffen in d. Textilindustrie, Monographien über chemisch-technische Fabrikationsmethoden, hrsg. v. L. Wohlgemuth, B. 26, Halle a/S., 1911. **В. Абозин.**

МОНОСАХАРИДЫ, моносы, принадлежат к группе органич. веществ, объединяемых в класс *углеводов* (см.). От ди- и полисахаридов моносахариды отличаются тем, что они неспособны к гидролитическому расщеплению и, наоборот, сами образуются при гидролизе (инверсии) полисахаридов.

Природные М. содержат в своих молекулах 5 или 6 атомов углерода; к ним относятся пентозы $C_5H_{10}O_5$ (l-арабиноза, l-ксилоза, d-рибоза), метилпентозы $C_6H_{12}O_5$ (рамноза, фукоза) и гексозы $C_6H_{12}O_6$ (d-глюкоза, d-манноза, d-галактоза, d-фруктоза, d-сорбоза); синтетически получены М. и с другим числом углеродных атомов, напр. с 3 (триозы), 4 (тетрозы), 7 (гептозы) и др. По своим химич. свойствам М. имеют характер альдегидо- или кетоноспиртов; поэтому все М. подразделяют на альдозы и кетозы, соответственно положению карбонильной группы в их молекуле; различают напр. альдо- и кетогексозы, альдо- и кетопентозы и т. д. Согласно новейшим исследованиям М. не содержат фактически карбонильной группы, но имеют строение циклич. полуацеталей; так напр., глюкоза, к-рой прежде приписывалась альдегидная ф-ла

$$CH_2(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot COH,$$

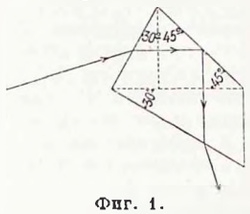
по современным представлениям имеет следующее строение:

$$CH_2(OH) \cdot CH \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH).$$
$$\quad\pu\s\s\s\s\ququad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quu\quad\ Ответ: 1) Г. П. 113432. — Петров П., Викторов П. и Малютин Н., Химич. технология волокнистых веществ, Ив.-Вознесенск, 1928; «Изв. О-ва для содействия, улучшения и развития мануфактурной промышленности», Москва, 1909, стр. 143, 1913, стр. 422; Erban F., Die Anwendung v. Fettstoffen in d. Textilindustrie, Monographien über chemisch-technische Fabrikationsmethoden, hrsg. v. L. Wohlgemuth, B. 26, Halle a/S., 1911.

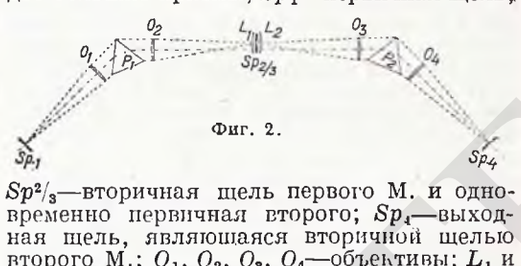
правильным периодом, то все же такая ограниченная во времени синусоида, по теореме Фурье, будет соответствовать целому спектру, т. е. наложению синусоид с различными периодами, амплитудами и фазами. В любом спектральном приборе такое излучение дает линию конечной ширины, т. е. не получается строго М. с. С другой стороны, из непрерывного спектра, полученного в каком-нибудь приборе, принципиально нельзя выделить монохроматич. участок с конечной энергией. Если бы даже спектр был безукоризненно чистым, т. е. одни цвета совершенно не налагались на другие, то для выделения М. с. потребовалась бы бесконечно узкая щель, пропускающая бесконечно малую энергию. Так. обр. в точном смысле слова М. с. получить нельзя. Возможно однако в широких пределах суживать интервал частот $\Delta\nu$ или длин волн $\Delta\lambda$, выделяемых от данного источника. Такой свет, сосредоточенный в б. или м. узком волновом интервале, называют квази-монохроматическим. Проще и удобнее всего квази-монохроматич. свет получается при помощи *светофильтров* (см.), пропускающих определенные спектральные области от источника света. Если источник испускает свет, состоящий из отдельных линий, сравнительно далеко отстоящих одна от другой (напр. ртутная лампа, гейслеровы трубки), то при помощи светофильтров легко выделить одну линию, или же по крайней мере группу линий, весьма близко расположенных одна к другой. Весьма чистый в спектральном отношении квази-монохроматический свет можно получить при помощи *монохроматоров* (см.) с двойным разложением. При некоторых измерениях (напр. поляриметрических) особенно важна высокая степень монохроматичности, наличие же например двух линий в желтом натронном дублете, отстоящих друг от друга на расстоянии в 6 А, уже искажает результаты. В таком случае можно освободиться от одной из линий, пользуясь дисперсией вращательной способности или двойным лучепреломлением в кварце. Кварц толщиной в 32 *мм*, вырезанный параллельно оптической оси, сообщает линии натрия D_2 замедление фазы на $\frac{\lambda}{2}$ большее, чем для линии D_1. Пропуская желтый свет натрия через такой кварц, помещенный между поляризатором и анализатором, можно, поворачивая анализатор на 90°, пропускать либо одну либо другую линию (Вуд и Дюнуайе).

Лит.: Fabr Ch., La lumière monochromatique, sa production et son emploi en optique pratique, P., 1923. **С. Вавилов.**

МОНОХРОМАТОР, прибор для выделения узких однородных спектральных областей из сложного излучения светового источника. Всякий спектральный прибор может быть обращен в монохроматор, если в том месте, где получается действительное изображение спектра, поместить щель, выделяющую и пропускающую только определенную часть спектра. К спектральному прибору, сконструированному специально как М., предъявляются следующие требования. 1) Выпускаемый из прибора квази-монохроматический пучок (см. *Монохроматический свет*) для всех областей спектра должен выходить из одного и того же места (фиксированное положение выходной щели) и в одном и том же направлении, иными словами *коллиматор* (см.) и выходная труба со щелью не должны перемещаться. Это достигается применением призм особых форм с постоянным отклонением. Одна из подобных призм представлена на фиг. 1; ее можно рассматривать как построенную из двух 30-градусных призм и одной прямоугольной, причем в некоторых случаях такие призмы изготовляются сплошными, а иногда из различных сортов стекол. Переход от одной части спектра к другой осуществляется вращением призмы. 2) М. должен быть светосильным прибором, для чего необходимо применение больших призм и линз. 3) Во многих случаях важна максимально возможная чистота выпускаемого спектрального участка, для чего применяются двойные М., или же М. с предварительным разложением. Схема одного из таких М. изображена на фиг. 2: P_1 и P_2—две большие призмы; Sp_1—первичная щель;

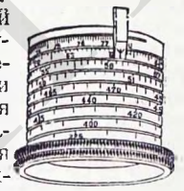


Фиг. 1.



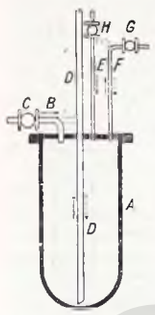
Фиг. 2.

$Sp^2/_3$—вторичная щель первого М. и одновременно первичная второго; Sp_4—выходная щель, являющаяся вторичной щелью второго М.; O_1, O_2, O_3, O_4—объективы; L_1 и L_2 — линзы. Щель $Sp^2/_3$ может перемещаться в своей плоскости при помощи микрометрического винта, соединенного с «волновым барабаном» (фиг. 3). В плоскости $Sp^2/_3$ находится изображение спектра, получаемого от первой призмы. В большинстве случаев М. изготовляются специально для видимой области (стеклянная оптика) или для ультрафиолетовой и инфракрасной (кварц или каменная соль). Имеются однако и универсальные приборы со сменной оптикой. Интенсивность света, пропускаемого через монохроматор, всегда невелика вследствие применения по крайней мере двух щелей, поэтому к М. прибегают только в тех случаях, когда по тем или иным причинам нельзя воспользоваться светофильтрами. **С. Вавилов.**


Фиг. 3.

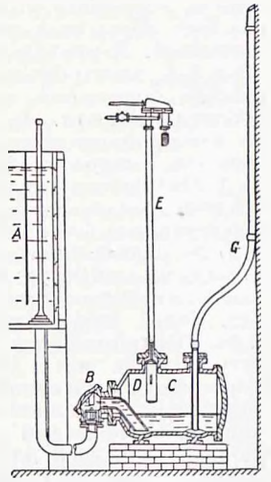
МОНТЕЖЮ, монжю, аппарат для транспортирования к-т, щелочей и прочих жидкостей, накачивания к-т на башни Гловера и Гей-Люссака и других работ, связанных с вертикальным перемещением жидких материалов на химич. з-дах. Один из простых типов М. изображен на фиг. 1. Чугунный, стальной или медный (смотря по назначению) котел A снабжен приспособлением для впуска (труба B с краном C) и выпуска (труба D) транспортируемой жидкости, а также для

впуска и выпуска воздуха (трубы E и F с кранами H и G). Жидкость из сборного чана (не показанного на фиг.) поступает в М. по трубе B, причем воздух вытесняется через трубу F; кран H в это время закрыт. По наполнении аппарата закрывают краны C и G и открывают кран H, через который подается сжатый воздух; последний вытесняет жидкость из аппарата через трубу D. Прибор можно упростить, соединив трубы B и D над крышкой котла, а также трубы E и F (на чертеже показано пунктиром); краны H и G заменяют в этом случае двухходовым краном. Котел снабжается люком для осмотра и чистки аппарата и манометром для контроля давления.



Фиг. 1.

Аппараты, подобные описанному, требуют постоянного наблюдения (открывание и закрывание кранов); гораздо удобнее в заводской практике автоматические М., или пульсометры, один из типов к-рых изображен на фиг. 2. Из сборного чана A жидкость поступает через автоматический клапан B в котел C и, заполняя его, поднимает поплавок D; благодаря этому по трубе E в котел начинает поступать сжатый воздух. Клапан B при этом закрывается, и жидкость вытесняется в трубу G. Как только жидкость удалена, воздух свободно выходит через трубу G, давление падает, поплавок D опускается, и приток воздуха в котел прекращается; далее описанный процесс повторяется снова.



Фиг. 2.

Лит.: Lunge G., Handbuch der Schwefelsäurefabrikation und ihre Nebenzweige, 4 Auflage, B. 1—2, Brschw., 1916.

МОРЕХОДНОСТЬ, совокупность качеств, обусловливающих способность корабля совершать плавание в море и перевозить грузы без опасения их потерять или испортить (подмочить), допуская при этом вероятный риск встречи неблагоприятного состояния погоды и моря. Термин М.—недостаточно определенный и заключает в себе целый ряд отдельных факторов, не могущих быть выявленными достаточно полно и определенно.

Главнейшие факторы М. нижеследующие. 1) Прочность и жесткость корпуса корабля, соответствующие условиям его нагрузки, вероятным условиям плавания как на спокойной воде, так и на волнении. Достаточная в этом смысле М. современных торговых судов достигается постройкой их в соответствии с нормами и правилами, издаваемыми классификационными обществами, у нас—Регистром СССР. 2) Способность корабля противостоять действию волн в смысле защиты от заливания и попадания воды внутрь корабля. При этом преследуется сохранение т. называемой «навигационной платформы», т. е. площади верхней палубы, от непосредственного действия на нее моря. В целях достижения этого служит установление минимальной высоты надводного борта, или, что то же, предельной осадки, допустимой для данного корабля в данных условиях его плавания. По отношению к торговым судам это выражается в определении наименьшей допустимой высоты надводного борта по установленным нормам и правилам (см. *Надводный борт*). 3) Достаточная остойчивость корабля, т. е. способность его возвращаться в свое первоначальное прямое положение после действия на него ветра или волн. 4) Сохранение управляемости корабля, т. е. работы его руля и рулевого привода при всех возможных условиях плавания. Кроме упомянутых условий, для достижения М. необходимо наличие достаточно мощных и надежных главных механизмов, приводящих судно в движение, а также целого ряда вспомогательных устройств, обусловливающих способность корабля безопасно совершать плавание. Квалификация экипажа также немаловажный фактор М. корабля; корабль в море с неквалифицированным экипажем не может быть мореходным.

Следует также отметить, что понятие о М. данного корабля, строго говоря, может относиться только к одному определенному роду грузов на определенных рейсах. Корабль, мореходный при данном роде грузов и на данных рейсах м. б. непригодным при ином грузе и в иных условиях плавания. Кроме того о мореходности корабля можно говорить только вне аварийных условий, т. к. аварийный корабль, вне всякой зависимости от прочих факторов М., может сохранить ее исключительно в зависимости от характера самой аварии.

Лит.: Шершов А. П., Практика кораблестроения, ч. 2, Проектирование, постройка и ремонт корабля, 2 изд., Л., 1931 (печат.); Abell T. B., Stability a. Seaworthiness of Ships, L., 1926. **П. Матвеев.**

М. гидроаэроплана представляет собою сумму качеств, обусловливающих способность гидроаэроплана держаться на воде в любую погоду и быть хорошо управляемым при плавании. Всякий гидроаэроплан должен обладать способностью наибольшей непотопляемости, т. е. поплавки или лодка его д. б. в наибольшей степени водонепроницаемыми, и в случае пробития в каком-либо месте днища гидроаэроплан должен обладать такой плавучестью, к-рая поддерживала бы его на воде. Для этих целей лодка или поплавки разделяются рядом водонепроницаемых перегородок, причем величина этих отсеков делается такой, чтобы при наполнении одного из них водой лодка или поплавок не только могли поддерживать гидроаэроплан, но и не нарушали бы его остойчивости (см. *Гидроаэроплан*). В хвостовой части лодки эти перегородки делают сплошными; там же, где должен проходить экипаж, устанавливают особые люки, закрывающиеся герметически.

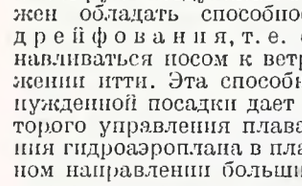
Гидроаэроплан при рулении и при гидропланировании должен обладать способно-

стью хорошо держать курс и не рыскать, что достигается как соответствующими размерами рулей (при гидропланировании), так и формами обводов и длиной лодки или поплавка. При буксировке гидроаэроплана катером он также не должен рыскать. Гидроаэроплан должен обладать хорошей м а н е в р е н н о с т ь ю на воде, т. е. способностью быстро реагировать на рули при плавании как на больших, так и на малых скоростях. Особенно ценно это свойство при малых скоростях, т. к. при больших скоростях на руль направления действуют большие силы от сопротивления воздуха; поэтому для увеличения маневренности на воде у нек-рых лодочных гидроаэропланов в хвостовой части делается водяной руль, действующий от того же ножного управления, как и руль воздушный. Гидроаэроплан должен обладать способностью правильного д р е й ф о в а н и я, т. е. способностью устанавливаться носом к ветру и в таком положении итти. Эта способность в случае вынужденной посадки дает возможность некоторого управления плаванием. Для движения гидроаэроплана в плавании в желательном направлении большие самолеты оборудуются парусными приспособлениями. Чтобы гидроаэроплан мог в бурную погоду держаться на воде, его конструкция должна предотвращать возможность заливания волнами помещения для экипажа, а также перевертывания его при подувании под крыло. Поэтому большие гидроаэропланы открытого моря делаются по возможности высокобортными. Такими конструкциями являются гидроаэропланы Рорбаха (Германия). Для уменьшения лобовой поверхности, подставляемой под ветер, площадь крыльев гидросамолетов делается сравнительно небольшой, отчего увеличивается нагрузка на $м^2$; однако это не противоречит аэродинамич. требованиям, т. к. увеличение посадочной скорости для гидроаэропланов, в противоположность сухопутным аэропланам, вполне возможно. Увеличение же удельной нагрузки вообще улучшает качество аэроплана; поэтому у гидроаэропланов допускается удельная нагрузка 100 $кг/м^2$ и выше. Для того чтобы крыло при больших кренах не касалось воды, нижние крылья бипланов или крылья, низко расположенные в случае монопланов, делаются **V**-образными.

Лит.: Герман Г., Поплавки и лодки гидросамолетов, «Кораблестроитель», Ленинград, 1927—28; Берхен С., Основы гидроавиации, Москва—Ленинград, 1928.

В. Александров.

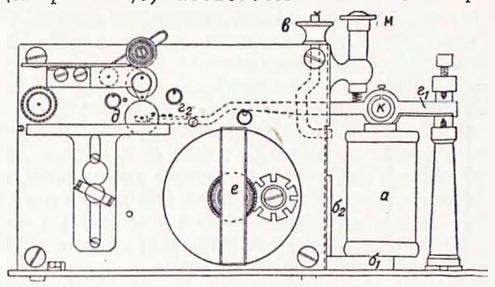
МОРЗЕ АППАРАТ телеграфный, телеграфный аппарат, названный по имени его изобретателя (в 1837 г.), Самуила Морзе.



Фиг. 1.

Аппарат состоит из двух основных частей: передатчика (телеграфного ключа Морзе и источника тока) и приемника (электромагнита с якорем). Ключ представлен на фиг. 1. При нажатии рычага *a* ключа в линию посылается телеграфный сигнал, который воспринимается приемником. Встречаются два типа приемника Морзе: пишущий и слуховой—*клопфер* (см.). В том и другом случае телеграмма передается особыми сигналами—знаками Морзе (см. *Азбука Морзе*).

Пишущий приемный (фиг. 2) аппарат Морзе в настоящем своем виде состоит из следующих частей: 1) электромагнита, 2) пишущего рычага, 3) часового механизма. Электро-



Фиг. 2.

магнитный механизм М. а. состоит из двух электромагнитов *а* с полюсными надставками, поставленных на горизонтальное колено $б_1$ железного угольника $б_1б_2$, вследствие чего образуется подковообразный электромагнит. Вертикальным коленом угольника $б_1б_2$ электромагнит прикрепляется к нижней подвижной части боковой стенки корпуса аппарата. На оба железных стержня электромагнита надеты цилиндрические катушки с намотанной проволокой (от 7 000 до 10 000 витков), диаметром в 0,2 *мм*, так что сопротивление обмоток постоянному току составляет 600—700 Ω. При помощи особого регулировочного винта *в* можно передвигать железный угольник $б_1б_2$, а следовательно и прикрепленный к нему электромагнит. Такое устройство позволяет приближать электромагнит к якорю *к* или же удалять от него, чем и достигается изменение чувствительности системы. Якорь к электромагнита представляет собою полый железный цилиндрический стержень с разрезом вдоль образующей для уничтожения *паразитных токов* (см.). При отсутствии тока в обмотках электромагнита якорь оттягивается кверху спиральной пружиной, регулируемой винтом *м*. Якорь электромагнита охватывается латунным рычагом $г_1г_2$ (пишущим рычагом). На конце $г_2$ рычага прикреплена стальная пружина с выемкой, в которой помещается ось пишущего колесика *д*. Это колесико при работе погружается в сосуд с краской одной своей половиной, а другой—касается ленты, которая движется при помощи особого часового механизма. Часовой механизм состоит из системы шестерен и колес, к-рая приводится в движение пружиной, помещающейся в барабане *е*. Вся система устанавливается на деревянном ящике, внутри которого помещается круг ленты. В настоящее время применение аппарата Морзе сильно ограничено, вследствие его малой производительности.

В с п о м о г а т е л ь н ы е ч а с т и М. а. 1) Г р о м о о т в о д—состоит из двух плоских или с острыми ребрами поверхностей, разделенных тонким (0,15 *мм*) слоем воздуха или другого диэлектрика; один из электродов соединяется с проводом, другой—с заземлением. При действии громоотвода высокое напряжение (> 300 V) пробивает слой диэлектрика, а большая частота тока атмосферного разряда встречает со стороны обмоток электромагнита приемника громадное сопротивление, и таким образом разряд, минуя аппарат, направляется непосредственно в заземление громоотвода (см. *Разрядники*). 2) *Гальваноскоп* (см.) служит для контроля за порядком величины и направлением входящего или исходящего тока.

Лит.: Яблоновский Н. А., Электрический телеграф, М., 1923; Ошовский С. И., Телеграфия и телефония, Киев, 1915.

В. Дубовин.

МОРСКАЯ АВИАЦИЯ обслуживает полеты над водными пространствами на специальных самолетах—*гидроаэропланах* (см.), делающих взлет и посадку на воду. М. а. имеется как в гражданских, так и военных воздушных флотах. В гражданском флоте М. а. обслуживает воздушные линии, пролегающие над водными пространствами; в военном воздушном флоте М. а. представляет особый род оружия и концентрируется вблизи военных морских портов; на театре военных действий она выступает или совместно с морским флотом или самостоятельно. Для обслуживания кораблей, гл. обр. с целью разведки, в М. а. применяются легкие гидроаэропланы, взлетающие или с *катапульты* (см.),—т. н. к а т а п у л ь т н ы е а э р о п л а н ы, или прямо с палубы—к о р а б е л ь н ы е а э р о п л а н ы. Катапультные аэропланы стали применяться также и на пассажирских океанских пароходах для доставки почты. Гидроаэропланы М. а. должны обладать определенными свойствами мореходности (см. *Мореходность* г и д р о а э р о п л а н а), гидроаэропланы же, обслуживающие полеты над реками, могут обладать этими свойствами в меньшей степени. Эти гидроаэропланы относятся к так наз. р е ч н о й а в и а ц и и.

Лит.: Берхен С., Основы гидроавиации, М.—Л., 1928; Александров В. Л., Аэропланы, М.—Л., 1930.

В. Александров.

МОРСКАЯ ВОДА. Из общей поверхности земного шара в 510 млн. $км^2$ только 149 млн. $км^2$ занято сушей, остальные же 361 млн. $км^2$ приходятся на водную поверхность, составляющую так. обр. около 71% всей поверхности земного шара. Распределение всей водной поверхности по отдельным бассейнам характеризуется табл. 1.

Т а б л. 1.—Распределение водной поверхности по бассейнам.

Наименование бассейнов	Площ. в млн. $км^2$	Площ. в % от всей поверхн. М. в.
Тихий океан	166	46
Атлантич. океан	82	23
Индийский океан	73	20
Все три океана	321	89
Междуматериковые и внутриматериковые моря	32	9
Окраинные моря	8	2
Все моря	40	11
Вся поверхность М. в.	361	100

Х и м и ч е с к и й с о с т а в. М. в. представляет водный раствор различных солей. Общее число химических элементов, встречаемых в М. в., достигает 32, однако большинство из них содержится в совершенно ничтожных количествах, а в основном М. в. океанов заключает лишь следующие соли:

	На 1 кг воды в г	В % от всего колич. солей
Хлористый натрий (поваренная соль)	27,2	77,8
Хлористый магний	3,8	10,9
Сернокислый магний	1,7	4,7
Сернокислый кальций	1,2	3,6
Сернокислый калий	0,9	2,5
Углекислый кальций	0,1	0,3
Бромистый магний	0,1	0,2
Итого	35,0	100,0

Многочисленные исследования состава М. в. океанов, взятой с различных мест вдали от берегов, как на поверхности, так и с разных глубин, показали, в пределах точности современных методов исследования, постоянство относительного содержания солей; последнее позволяет определять состав морской воды в океанах по содержанию лишь одного из входящих в нее элементов, например хлора.

С о л е н о с т ь, у д е л ь н ы й в е с и п л о т н о с т ь. С о л е н о с т ь ю М. в. называют общее весовое количество солей, выраженное в промилях (‰); ее принято обозначать знаком S ‰. У д е л ь н ы м в е с о м М. в. в океанографии называют отношение веса объемной единицы М. в. при $t° = +17{,}5°$ к весу той же объемной единицы дистиллированной воды при той же $t°$; уд. вес обозначают знаком $\varrho_{17{,}5°}$ и сокращенно выражают, отбрасывая 1 и перенося занятую десятичного знака на 3 цифры вправо, т. е. вместо $\varrho_{17{,}5°} = 1{,}02641$ пишут $\varrho_{17{,}5°} = 26{,}41$. П л о т н о с т ь ю М. в. называют отношение веса ее объемной единицы в естественном состоянии (при темп-ре, которую она имела в природе—in situ) к весу той же объемной единицы дистиллированной воды при +4°. Плотность М. в. обозначается σ_t; для численного выражения ее принято делать такое же сокращение, как и для удельного веса. Исследованиями Международной комиссии по изучению моря в М. в. установлена следующая функциональная зависимость между соленостью, уд. в., плотностью и содержанием хлора:

$$S = 0{,}030 + 1{,}8050\ Cl.$$
$$\sigma_0 = -0{,}069 + 1{,}1708\ Cl - 0{,}001570\ Cl^2 + 0{,}0000398\ Cl^3.$$
$$\varrho_{17{,}5°} = (0{,}1215 + \sigma_0 - 0{,}0595\ \sigma_0 + 0{,}000155\ \sigma_0^2) \times 1{,}00129.$$
$$\sigma_0 = -0{,}093 + 0{,}8149\ S - 0{,}000182\ S^2 + 0{,}0000068\ S^3.$$

Соотношение величин S, $\varrho_{17{,}5°}$ и σ_t М. в. характеризует табл. 2.

Т а б л. 2.—Соотношения величин S, $\varrho_{17{,}5°}$ и σ_t.

S‰	0,00	10,00	20,00	30,00	35,00	40,00
$\varrho_{17{,}5°}$	0,00	7,69	15,30	22,92	26,74	30,58
σ_0	0,99987*	8,02	16,07	24,11	28,13	32,17
$\sigma_{5°}$	0,99999*	7,97	15,86	23,75	27,70	31,67
$\sigma_{20°}$	0,99823*	5,86	13,42	20,99	21,78	28,60
$\sigma_{30°}$	0,99567*	3,15	10,57	18,01	21,75	25,51

* Данные значения σ_0, $\sigma_{5°}$, $\sigma_{20°}$, $\sigma_{30°}$, меньшие 1, приведены без указанного выше сокращения; остальные значения этих величин, а также и $\varrho_{17{,}5°}$ в таблице и ф-лах имеют указанное ранее условное сокращенное выражение.

В зависимости от интенсивности испарения под действием ветра и нагревания солнеч-

ными лучами, а также от количества атмосферных осадков, от темпа таяния льдов и от объемов пресных вод, выносимых реками, соленость М. в. в различных местах океанов и в разных морях в разное время года бывает весьма различна. Средние и крайние значения солености М. в. в океанах на поверхности определяются табл. 3.

Табл. 3.—Средние и крайние значения солености М. в. в океанах (в ‰).

Соленость между 60° с. и ю. широт	Атлантический	Тихий	Индийский	Весь мировой
Северн. части . . .	35,8	34,6	35,0	—
Южн. » . . .	35,0	35,1	34,7	—
В среднем	35,4	34,9	34,8	35,0
Минимум	35,0	34,0	32,0	32,0
Максимум	37,9	36,9	36,5	37,9

Разница в солености морей более значительна. В Средиземном море средняя соленость колеблется от 37 до 39‰. В Красном море соленость в отдельных местах достигает 41‰. Черное море в с.-в. части имеет соленость ок. 17‰, а в средней и южной частях до 18.5‰. В Мраморном море, которое в отношении солености занимает среднее положение между Средиземным и Черным морями, соленость колеблется от 20—21‰ у Босфора, до 24.5—25.0‰ у Дарданелл. Азовское море имеет относительно весьма малую соленость, варьирующую в разных местах в пределах 9.3—12,0‰ Соленость Балтийского моря еще меньше: в Ботническом заливе—от 5‰ в южной части, до 2‰ в северной; в Финском заливе (по середине) она равняется ок. 4,5‰, а вглубь залива уменьшается до 2,0‰; между Готландом и Аландскими островами—6,0—6,7‰ и наконец как максимум—в Бельтах, в зависимости от направления ветра (с З. или В.), соленость колеблется от 10 до 22‰. Белое море в горле имеет соленость, близкую к океанской, именно около 33‰; в середине—от 25 до 26‰ и в южной части Двинского залива—около 19‰. В Каспийском море вдали от берегов соленость варьирует в разное время года от 10 до 15‰; от Дербента к С. вдоль берега идет полоса солености от 1 до 10‰; в совершенно особом положении находится Карабугазский залив, в котором соленость на поверхности достигает громадной цифры 164‰.

Распределение солености М. в. на глубинах в океанах еще мало изучено. Имеющиеся данные показывают, что заметные колебания солености имеют место только в поверхностном слое воды до глубины не свыше 1 000 *м*.

В морях как правило соленость воды возрастает с глубиной, а именно; в Мраморном море она равняется у дна—до 38.0—38,8‰, в Черном—до 22,5‰, в Азовском—до 16‰. В отдельных случаях однако наблюдается обратная картина, например в восточной части Средиземного моря, где на поверхности соленость выше 39.0‰, а с глубиною она несколько убывает (до 38.7‰).

Плотность М. в. в океанах в разных местах на поверхности варьирует от 1,0220 до 1,0275. С глубиной плотность М. в. возрастает согласно следующим данным, соответствующим поверхностной плотности 1.02810:

Глубина в *м* . . .	100	1 000	3 000	6 000	10 000
Плотность	1,02856	1,03274	1,04222	1,05694	1,07758

В Средиземном море плотность воды возрастает от 1.02568 на поверхности до 1.02908 в придонном слое. Аналогичным образом от поверхности к придонному слою плотность М. в. возрастает и в Мраморном море с 1,01329 до 1,02884 и в Черном—с 1,0080 до 1,0173.

Давление и сжимаемость. С возрастанием глубины давление увеличивается приблизительно на 1 *atm* на каждые 10 *м*. Т. о. на глубине напр. 5 000 *м* М. в. находится под давлением ок. 500 *atm*, а на наибольшей наблюденной в мире глубине, в Тихом океане у Филиппинских островов, 9 778 *м*, М. в. находится под давлением около 1 000 *atm*. Такие значительные давления, несмотря на весьма малую сжимаемость воды (коэф-т сжимаемости дистиллированной воды равняется 0,0000490, а у М. в. этот коэф. понижается с увеличением солености и при $S = 35‰$ он составляет 0,0000442), создают все-таки значительное сжатие всего слоя морской воды в океанах. О величине этого сжатия дает представление следующий примерный расчет. Если принять среднюю глубину всех океанов 3 700 *м*, то при абсолютной несжимаемости М. в. ее общий объем превышал бы фактич. объем этих океанов на 11 000 000 *км*³, что при равномерном распределении по всей поверхности океанов (361 млн. *км*²) повысило бы существующий океанский уровень примерно на 30 *м* и соответственно сократило бы поверхность суши.

Содержание газов. При солености 35‰ и нормальном атмосферном давлении 1 *л* М. в. поглощает в зависимости от *t*° следующие количества кислорода и азота:

t°	−2°	0°	+15°	+30°
O	8,47	8,03	5,84	4,50 *см*³
N	15,00	14,40	11,12	9,26 »

Углекислота в свободном состоянии содержится в М. в. океанов в ничтожном количестве. Вопрос о распределении кислорода и азота по поверхности и глубине океанов еще недостаточно исследован. Имеющиеся данные показывают, что в Атлантическом океане на поверхности М. в. содержит—у экватора на 1 *л* около 4—5 *см*³ кислорода, на 50° с. широты—около 6—7 *см*³ и на 50° южной широты—ок. 7—8 *см*³ кислорода. С увеличением глубины содержание кислорода в М. в. быстро убывает. В разных морях содержание газов весьма различно. На поверхности М. в. поглощает тем больше атмосферного воздуха, чем ниже температура и меньше соленость.

В Средиземном море содержание кислорода в 1 *л* М. в. на поверхности варьирует в разных местах от 4,4 до 5,3 *см*³, а на значительных глубинах от 4,0 до 4,6 *см*³. В Черном море на поверхности М. в. почти насыщена кислородом, а на глубинах от 150 *м* до дна кислород совершенно отсутствует и вместо него там образуется сероводород, содержание которого на глубине 200 *м* составляет ок. 0,4 *см*³ на 1 *л* М. в., а в придонных слоях на больших глубинах (1 000—2 000 *м*) достигает до 5,0 *см*³ на 1 *л* М. в. В Балтийском море содержание кислорода на поверхности близко к насыщенному состоянию, т. е. составляет около 8 *см*³ на 1 *л* воды, а в наиболее глубоких частях моря падает до 4 и даже в отдельных местах до 2 *см*³ на 1 *л* воды. В Каспийском море на поверхности содержание кислорода также близко к насыщенному, а с глубины ок. 300 *м* оно сильно падает и на глубине 600—700 *м* кислород совершенно отсутствует.

Теплоемкость, наибольшая плотность и замерзаемость. Зависимость теплоемкости М. в. от ее солености определяется следующими данными:

Соленость *S*‰ . . .	0,00	20,0	30,0	35,0	40,0
Теплоемкость . . .	1,000	0,951	0,939	0,932	0,926

Сравнение с другими телами, как то: льдом, чугуном, гранитом, воздухом, имеющими теплоемкости соответственно 0,505, 0,130, 0,200 и 0,237, показывает, насколько относительно велика теплоемкость М. в. Запасы тепла, заключающиеся в М. в. океанов и морей, имеют громадное значение для климата земли. При уд. весе М. в. 1,02813 (при 0° и $S = 35‰$) и воздуха 0,00129 охлаждение 1 *см*³ М. в. на 1° может выделяемою при этом теплотою повысить температуру воздуха объемом $(1{,}02813 \times 0{,}932) : (0{,}00129 \times 0{,}237)$, равным 3 134 *см*³, на 1°. Темп-ра замерзания М. в., а также темп-ра наибольшей плотности ее с увеличением солености понижаются, а соответствующие плотности повышаются, как указано в табл. 4.

Табл. 4.—Зависимость *t*° замерзания и плотности М. в. от солености.

Соленость, *S*‰		0	5	10	15	20	24,695	25	30	35	40
Замерзание	Температура	0°	−0,3°	−0,5°	−0,8°	−1,1°	−1,332°	−1,35°	−1,6°	−1,9°	−2,2°
	Плотность (сокращ. выражение)	—	3,94	8,00	12,02	16,07	19,85	20,10	24,14	28,21	32,27
Наибольшая плотность (сокращенное выражение) . . .		—	4,15	8,18	12,13	16,07	19,85	20,10	24,15	28,22	32,32
t° наибольшей плотности . .		+3,98°	+2,9°	+1,9°	+0,8°	−0,3°	−1,332°	−1,4°	−2,5°	−3,5°	−4,5°

При обращении М. в. в лед часть имевшихся в ней солей не переходит в лед, а выделяется в находящуюся под ним М. в., повышая ее соленость; с другой стороны, масса льда всегда заключает в себе пузырьки воздуха; по этим причинам лед из М. в. в массе имеет обычно уд. вес ок. 0,9, вследствие чего, при уд. весе М. в. в полярных странах ок. 1,026, глыба льда правильной призматич. формы имеет соотношение высот надводной и подводной частей порядка 1 : 7.

Температура на поверхности и глубинах океанов и морей. Средние *t*° М. в. на поверхности океанов определяются следующими цифрами:

Атлантический	+16,9°	Тихий	+19,1°
Индийский	+17,0°	Весь мировой океан	+17,4°

Суточные амплитуды *t*° М. в. на поверхности океанов вдали от берегов весьма незначительны, именно в тропиках не превышают 0,5°, в широтах 30—40° составляют около 0,4° и в более высоких широтах ок. 0,1°. Средние годовые амплитуды той же *t*° характеризуются следующими данными:

Средние амплитуды годовой *t*° М. в. на поверхности.

Северное полушарие

Градусы широты . . .	50	40	30	20	10
Годовая амплитуда	8,4°	10,2°	6,7°	3,6°	2,2°

Южное полушарие

Градусы широты . . .	0	10	20	30	40	50
Годовая амплитуда	2,3°	2,6°	3,6°	5,1°	4,8°	2,9°

В отдельных местах на поверхности океанов наблюдались гораздо более значительные годовые колебания *t*°, достигавшие 20° и даже 30°.

Наименьшая *t*°, наблюденная на поверхности океана вдали от берегов (в Атлантическом океане, к востоку от полуострова Новая Шотландия), составляла −3,3°; самая высокая *t*° (в тропич. области Тихого океана) +32°. В морях, вследствие влияния суши, колебания поверхностной *t*° более значительны, чем в океанах. В Черном море бывает t_{max} 22—26° и t_{min} в южной части 8—12°, а в северной 6—8°, где в исключительных случаях она спускается до 0 и даже несколько ниже, так что образуется лед. Наивысшие поверхностные *t*° в Балтийском море колеблются от 10° в северной части до 16—17° в южной; в Азовском—достигают 25—26° и в Каспийском—до 23°.

Суточные колебания *t*° проникают с поверхности на весьма небольшие глубины, порядка 25—30 *м*. Годовые изменения *t*° передаются в глубину до 150—200 *м*. На более значительных глубинах *t*° М. в. не подвергается периодич. колебаниям. Везде в открытых океанах, кроме полярных стран, *t*° М. в. непрерывно уменьшается от поверхности до дна, однако это убывание *t*° идет весьма неравномерно; напр. в тропическом поясе от поверхности до глубины 1 000 *м* *t*° падает с 22—28° до 3,5—4°; далее до 1 500 *м* падение *t*° происходит значительно медленнее и наконец за этим пределом падение температуры происходит настолько медленно, что при переходе с глубины 1 500 *м* до 5 500 *м*, *t*° падает всего на 1—2°.

Придонные *t*° Тихого и Индийского океанов колеблются в пределах от 0 до +2,0, а в Атлантическом океане местами снижаются до −0,9° и даже −1,2°. В полярных областях вертикальное распределение *t*° М. в. несколько иное, именно в верхнем слое *t*° варьирует от +1,0° до −1,0°, ниже лежит слой воды с *t*° выше нуля, и затем до дна идет опять слой холодной воды, имеющий *t*° ок. −0,5°. В морях придонная *t*° весьма различна, именно: в Красном море ок. +21,5°, в Средиземном—ок. +13,0°, в Черном—ок. +9,0°, и Каспийском—ок. +5,0° и в Белом море—ок. −1,5°.

Прозрачность, цвет, распространение звука. Прозрачность М. в. до последнего времени определялась диском Секки, представляющим металлич. диск диаметром 30 *см*, окрашенный в чисто белый цвет. Мерилом прозрачности служила предельная глубина погружения диска, при которой его еще можно различить с поверхности. Прозрачность М. в. в значительной степени зависит от угла падения солнечных лучей, т. е. от высоты солнца над горизонтом, и от количества неорганич. веществ и мельчайших организмов (т. н. планктона), находящихся в ней.

Наибольшая прозрачность наблюдалась в Атлантическом океане (в Саргассовом море), где диск Секки был виден до глубины 66,5 *м*. В Индийском океане наибольшая прозрачность составляет 40 — 50 *м*, а в Тихом океане наблюдалась прозрачность до 59 *м*. В Красном и Средиземном морях прозрачность достигает 50 *м*, в Балтийском составляет 10—13 *м*, а в Белом—всего лишь 6—8 *м*.

В новейшее время глубина проникновения солнечного света в М. в. определялась фотографич. путем, причем установлено, что пределом светопроницаемости М. в. является глубина 1 000—1 700 *м*.

Цвет М. в. определяется сравнением с шкалой Фореля, представляющей набор стеклянных трубок, наполненных особым образом составленными цветными растворами, заключающими серию последовательных тонов от темноголубого цвета до зеленовато-желтого (11 основных тонов) и далее до чисто коричневого цвета (10 дополнительных тонов). Наблюдения над цветом М. в. показа-

ли, что оптически пустая вода, т. е. не содержащая никаких непрозрачных плавающих мельчайших частиц, поглощает красные и желтые лучи солнечного спектра, но пропускает голубые лучи, и потому сама принимает голубой цвет. В природе цвет М. в. всецело зависит от количества и рода взвешенных в ней мельчайших неорганических частиц, а также населяющих ее мелких организмов (планктона).

В открытом океане М. в. по преимуществу имеет темноголубой цвет (номер 0 по шкале Фореля); воды Гольфштрома обладают нежным голубым цветом. В Красном море цвет воды варьирует от голубого (номера 0—2) до голубовато-зеленого (номера 2—5); в Немецком и Балтийском морях—от голубовато-зеленоватого до мутно-зеленого (номера 9—12 по шкале Фореля).

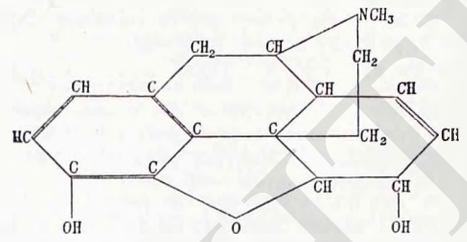
Скорость распространения звука, составляющая для пресной воды 1 435 *м/сек*, увеличивается с повышением солености воды и в условиях океанской солености ее определяют в 1 500 *м/сек*.

Лит.: Книпович Н. М., Основы гидрологии Европейского Ледовитого океана, СПБ, 1906; его же, Экспедиция для научно-промысловых исследований у берегов Мурмана, СПБ, 1902—04; его же, Данные по гидрологии и гидробиологии Черного и Азовского морей, «Труды Азовско-Черноморской научно-промысловой экспедиции», Керчь, 1926, вып. 1; «Известия Центрального гидро-метеорологического бюро», П.—Л., 1923—29, вып. 1—8; «Труды Плавучего морского научного ин-та», М., 1924—29; Макаров С. О., «Витязь» и Тихий океан, СПБ, 1894; Шпиндлер И., Гидрология моря, т. 1, СПБ, 1914; Шокальский Ю., Океанография, II., 1917; Brennecke W., Ozeanographie, B. 3, B., 1909; Knudsen M., Hydrographical Tables, Copenhagen, 1901; Krummel O., Handbuch d. Ozeanographie, 2 Aufl., B. 1—2, Stg., 1907—11; Richard J., L'océanographie, P., 1907; Nansen F., The Waters of the North-eastern, N. Atlantic, 1913; Malmgren F., On the Properties of Sea-ice, Bergen, 1927.

Техническое значение и применение. М. в. используется на морских судах: а) в качестве балласта, для увеличения их остойчивости при совершении рейсов в одну сторону порожняком; б) для изменения диферента путем перекачки М. в. из носовых балластных цистерн в кормовые и обратно; этим пользуются при снятии судов с мели, а также освобождении их из ледяного затора; в) в качестве охладителя при конденсации отработавшего пара (циркуляционная вода); г) для противопожарных и санитарных целей; д) в отдельных случаях, преимущественно на военных судах, для пополнения запасов питательной воды для паровых котлов, а также и питьевой воды после переработки в опреснительных установках (см. *Опреснители*); е) в качестве заземления для судовых радиоустановок, так как соленость М. в. придает ей электропроводность. В промышленности М. в. используется для добычи поваренной соли (NaCl); добыча эта производится преимущественно в местностях с теплым климатом посредством выпаривания М. в. при помощи солнечного тепла в береговых бассейнах значительной площади, но малой глубины (в СССР подобным образом ведется добыча соли из М. в. Карабугазского залива, Каспийского моря, а также из М. в. Черного моря в Крыму). Добыча поваренной соли из М. в. составляет около 18% от всей мировой добычи соли. В строительстве приморских сооружений М. в. используется: а) наравне с пресной водой при изготовлении бетонов и цементных растворов, а также при производстве бетонной и бутовой накладки; б) для разжижения грунта в целях передачи его на расстояние по лоткам и трубопроводам (см. *Землечерпательные снаряды*). Наконец как среда, в которой находятся приморские сооружения, М. в. характеризуется: а) в отношении конструкций деревянных (при отсутствии древоточцев) и металлических—почти полным отсутствием разрушительного влияния, при условии однако постоянного нахождения их в М. в. без периодического выхода на дневную поверхность (напр. при отливе, спаде и т. п.); б) в отношении бетонных и бутовых конструкций — б. или м. разлагающим действием, в зависимости от состава гидравлич. раствора, именно меньшего или большего применения гидравлич. добавок (пуццолан, трасса и т. п.).

Лит.: Каула Р. Д. и Робинсон И. В., Конденсационные установки, пер. с англ., Л., 1929; Максеев В. А., Конденсационные устройства паросиловых установок, М.—Л., 1930; Стриж К. А., Корабельные конденсационные устройства, М., 1926; Гордон И. Л., Вода и ее очистка для питания котлов и промышл. целей и питья, М., 1927; Лукьянов П. М., Курс химич. технологии минеральных веществ, 2 изд., ч. 1, М., 1929. **П. Божич.**

МОРФИН, $C_{17}H_{19}NO_3 \cdot H_2O$, важнейший алкалоид *опия* (см.); первый алкалоид, выделенный (Дерон и Сертюрнер, 1803—1805 гг.) в растительном царстве. Содержание морфина в опии сильно колеблется (от 3 до 23%), но в среднем равняется 10% веса сухого опия. Состав М. установлен Лораном (Laurent) в 1848 г. Строение М. не вполне выяснено, но наиболее вероятной можно считать формулу Робинсона:



Морфин горек на вкус, без запаха, мало растворим в воде, еще менее в эфире, уксусном эфире и бензоле; кристаллизуется с одной молекулой воды, плавится (с разложением) при 230°. Хлористоводородн. соль морфина, $C_{17}H_{18}NO_3 \cdot HCl \cdot 3\,H_2O$, кристаллизуется с 3 молекулами воды; хорошо растворима в горячей воде, трудно—в холодной; при нагревании в HCl М. отщепляет частицу воды и переходит в апоморфин, $C_{17}H_{17}NO_2 \cdot HCl$.

Имеется много способов выделения М. из опия. По способу Робертсона-Грегори к водному экстракту опия прибавляют $CaCl_2$, отфильтровывают выделившийся меконово-кислый кальций, фильтрат упаривают в вакууме и оставляют его в спокойном состоянии на несколько дней в холодном месте; при этом выделяется кристаллич. масса, представляющая смесь хлористоводородных солей М. и кодеина (соль Грегори). Смесь эту очищают путем кристаллизации из воды, вновь растворяют и к раствору прибавляют избыток аммиака; при этом осаждается М., кодеин же остается в растворе. Выделившийся М. отсасывают, промывают холодной водой и перекристаллизовывают из кипящего спирта или очищают, переводя через хлористоводородную соль.

В СССР для получения М. из опия применяют способ Н. Г. Пацукова [1]: водную вытяжку опия упаривают в вакууме до веса взятого опия, разбавляют равным объемом спирта и осаждают аммиаком; при этом выпадают основания М. и отчасти наркотина и папаверина, смолы же остаются в растворе; осадок промывают водным спиртом, затем теплой водой с аммиаком; промытую смесь алкалоидов обрабатывают слабой уксусной к-той, отфильтровывают нерастворившийся осадок наркотина и других алкалоидов, а М. выделяют аммиаком из раствора уксуснокислого М. В 1929—30 гг. в лаборатории КЕПС Академии наук СССР были разработаны методы выделения М. из опия, позволяющие извлекать до 94% всего М., определенного по методу Штубера (Хим.-фарм. ин-т ВСНХ). Выходы М. значительно повышаются при продолжительном встряхивании экстракционной смеси, применении быстроходной мешалки, а также в случае осаждения М. из опийных экстрактов оптимальным количеством аммиака. Последний метод, разработанный О. А. Зейде, отличается тем, что количество аммиака, необходимое для полного осаждения М., определяется экспериментально для каждой партии опия. Вновь разработанный метод очистки технич. М., полученного осаждением аммиаком из опийных экстрактов, заключается в том, что смесь алкалоидов, состоящую гл. обр. из М. и наркотина, растворяют в соляной (или другой минеральной) к-те, выделяют наркотин из раствора уксуснонатриевой солью и из фильтрата выделяют М. обычным методом.

М. в больших количествах идет на получение синтетич. *кодеина* (см.), а также дионина (диэтилморфина), героина (диацетилморфина), аноморфина и других препаратов М., применяемых в медицинской практике. Хлористоводородная соль М. имеет большое применение в медицине как болеутоляющее и снотворное средство; готовится на алкалоидном з-де Госмедторгпрома в Москве. Технич. морфий вырабатывается на з-де Казхимтреста в Чимкенте в количестве 3 500 *кг* в год.

Лит.: 1) Сов. П. 127.—Чичибабин А. Е., Основные начала органич. химии, 2 изд., М.—Л., 1929; Schwyzer J., Die Fabrikation d. Alkaloide, Berlin, 1927; Schmidt E., Ausführliches Lehrbuch der pharmazeutischen Chemie, B. 2, Abt. 2, Braunschweig, 1923. **М. Кацнельсон.**

МОСТИК ВИТСТОНА (Уитстона), схема электрич. *измерений* (см.) при помощи нулевого метода; М. В. представляет собой четырехугольник, сторонами которого являются сопротивления, причем в одну диагональ включен источник тока, а в другую—какой-либо индикатор тока (гальванометр, телефон, реле и т. п.). Если включить источник тока E вместе с четырьмя сопротивлениями R_1, R_2, R_x, R_v и гальванометр G согласно фиг. 1, то будут иметь место отмеченные на схеме токи I и потенциалы V. Отрегулируем сопротивления так, чтобы потенциал V' в точке c был равен потенциалу V'' в точке d, в чем можно убедиться по отсутствию отклонения гальванометра, так как если $V' = V''$, то $I = 0$. При этом в каждой ветви разность потенциалов д. б. равна произведению силы тока на сопротивление:

$$V_1 - V' = I_1 R_1, \quad V_1 - V'' = I_x R_x,$$
$$V' - V_2 = I_2 R_2, \quad V'' - V_2 = I_v R_v.$$

Так как $V' = V''$, то

$$I_1 R_1 = I_x R_x \text{ и } I_2 R_2 = I_v R_v;$$

поэтому

$$\frac{I_1 R_1}{I_2 R_2} = \frac{I_x R_x}{I_v R_v}.$$

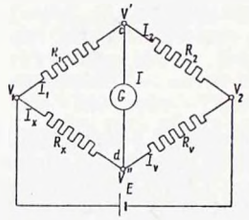
Если $I = 0$, то $I_1 = I_2$ и $I_x = I_v$ и следовательно

$$R_1 R_v = R_2 R_x.$$

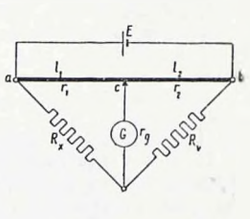
Если известны три из этих четырех сопротивлений или отношение двух соседних, то можно вычислить четвертое:

$$R_x = R_v \frac{R_1}{R_2}.$$

Кирхгоф заменил сопротивления R_1 и R_2 одной прямолинейно натянутой проволокой (температурный коэфициент проволоки должен быть крайне незначительным). В этом случае для измерения неизвестного сопротивления R_x необходимо только одно извест-



Фиг. 1.



Фиг. 2.

ное сопротивление R_v. Точку разветвления c образует подвижной контакт в форме лезвия (так называемая «ползушка»); он служит для того, чтобы иметь возможность постепенно и плавно изменять длины l_1 и l_2 (фиг. 2). Если проволока однородна и калибрована, т. е. по всей длине одинакового материала и одинакового сечения, то сопротивление r_1 между точками a и c пропорционально l_1, и равным образом r_2 (между точками c и b) пропорционально l_2. Устанавливая ползушку так, чтобы ток не протекал через гальванометр, будем иметь соотношение:

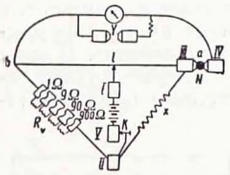
$$\frac{R_x}{R_v} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{l_1}{l_2},$$

или

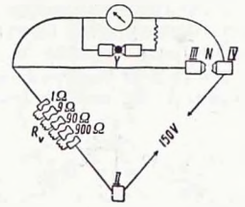
$$R_x = R_v \frac{l_1}{l_2}.$$

Наиболее употребительная форма практического выполнения проволочного мостика — универсальный гальванометр фирмы Сименс и Гальске, посредством к-рого можно производить измерения: 1) сопротивления, 2) изоляции, 3) напряжения батарей, 4) внутреннего сопротивления элементов, 5) силы тока. Схема универсального гальванометра показана на фиг. 3. Прибор укреплен на круглом широком диске, по окружности которого натянута калиброванная проволока. По краю верхней плоскости диска нанесены деления. По проволоке скользит контактный рычаг с роликом, прижимаемым к проволоке особой пружинкой. Реостатная ветвь R_v состоит из четырех сопротивлений: 1 + 9 + 90 + + 900 = 1 000 Ω. Сопротивления в 1, 9 и 90 Ω изготовляются из манганиновой проволоки,

бифилярно намотанной на деревянные катушки. Сопротивление 900 Ω помещено внутри кольца треножника прибора. Гальванометр снабжен шунтом, к-рый включается помощью штепселя Y; ключ K служит для замыкания батареи. Для измерения сопротивлений схема составляется согласно фиг. 3, причем штепсель Y должен быть вынут, а штепсель N вставлен. Напряжение измеряют по схеме, показанной на фиг. 4; штепсель Y вставлен, штепсель N вынут. Сопротивление в 1 Ω в ветви R_v замкнуто. Таким образом прибор превращается в вольтметр с зажимами II и IV для непосредственного измерения напряжения до 150 V. При схеме по фиг. 4 сопротивление прибора (вольтметра) составляет ровно 1 000 Ω, т. к. сопротивление шунтированного гальванометра равно 1 Ω. Поэтому отклонение гальванометра



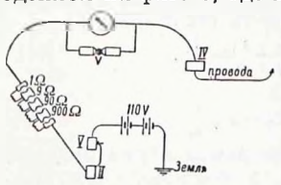
Фиг. 3.



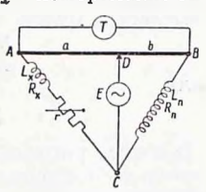
Фиг. 4.

на 1 деление при напряжении у зажимов II и IV в 1 V соответствует силе тока, проходящего через прибор, в 1 mA. Следовательно для измерения силы тока схема отличается от предыдущей схемы тем, что все четыре штепселя ветви R_v вставлены. Прибор дает возможность измерять силу тока до 150 mA. При измерении изоляции (напр. провода по отношению к земле) схема принимает вид фиг. 5. Если применять батарею с напряжением в 100 V, то прибор дает возможность измерить изоляцию до 1 MΩ при отклонении стрелки на 0,1 деления.

М. В. может быть применен для измерения переменным током, тогда он называется мостом Винна. Измерение самоиндукции и сопротивления производятся по схеме, приведенной на фиг. 6, где L_x—измеряемая са-



Фиг. 5.



Фиг. 6.

моиндукция, L_n—эталон самоиндукции; R_x и R_n—соответственно величины сопротивлений постоянному току, AB—калиброванная проволока (безиндукционное сопротивление), r—переменное сопротивление, E—генератор переменного тока, T—телефон. Изменение звука в телефоне достигается одновременным изменением положения ползушки D и изменением сопротивления r. При отсутствии звука в телефоне и в том случае, если в приборе, которым измеряются L_x и R_x, нет потерь на токи Фуко и гистерезис, имеем ($i = \sqrt{-1}$):

$$(R_x + r + i\omega L_x)b = a(R_n + i\omega L_n),$$

или

$$R_x + r + i\omega L_x = \frac{a}{b}(R_n + i\omega L_n),$$

откуда условия равновесия моста будут:

$$R_x = R_n\frac{a}{b} - r \quad \text{и} \quad L_x = L_n\frac{a}{b}.$$

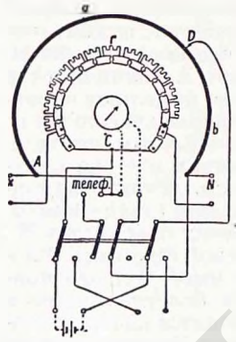
При наличии же потерь на токи Фуко и гистерезис имеем:

$$R'_x = R_n\frac{a}{b} - r \quad \text{и} \quad L'_x = L_n\frac{a}{b}.$$

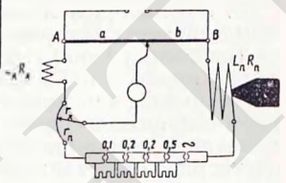
Теперь R'_x не является омическим сопротивлением постоянному току, а больше его, т. е. $R'_x > R_x$. Для определения увеличения омического сопротивления заменяем генератор переменного тока генератором постоянного тока и телефон—гальванометром; затем подбираем r_1, не изменяя места ползушки, так, чтобы в телефоне был достигнут минимум тока; тогда имеем:

$\frac{R_x + r_1}{R_n} = \frac{a}{b}$ и $R'_x + r = R_x + r_1$, т. е. $R'_x - R_x = r_1 - r$.

Чем ближе величины L_x и L_n, а также $R_x + r$ и R_n между собой, тем точнее работа моста; источником ошибок является самоиндукция (хотя и весьма незначительная) сопротивлений a, b и r. Кроме того на точности измерений сказывается емкость всей измерительной установки по отношению к земле. Практически осуществленная схема прибора показана на фиг. 7. К зажимам X присоединяют измеряемый прибор, к зажимам N—эталон. Источником постоянного тока служат два сухих элемента, а источником переменного



Фиг. 7.



Фиг. 8.

тока—зуммер или ламповый генератор, частоту которого можно изменять. В зависимости от того, присоединяется ли r к R_x или R_n, величина R_x определяется по двум различным формулам. Если r присоединено к R_x, то по ф-ле:

$$R_x = R_n\frac{a}{b} - r;$$

если же r присоединено к R_n, то по ф-ле:

$$R_x = \frac{a}{b}(R_n + r).$$

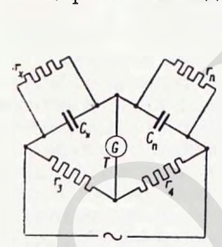
Что касается L_x, то в обоих случаях

$$L_x = \frac{a}{b}L_n.$$

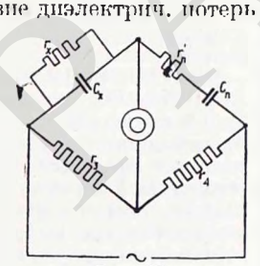
Этим мостом можно измерять самоиндукцию в пределах от 5 до 0,001 H. Для измерений меньших величин самоиндукций применяется специальный мост, схема к-рого изображена на фиг. 8. Он отличается от описанного выше только тем, что самоиндукция эталона может плавно изменяться, что достигается вдвиганием железного сердечника (специальный сплав, практически не вызывающий потерь на токи Фуко). Сопротивление r представляет собой проволоку и изменяется в зависимости от положения ползушки. Отсутствие звука в телефоне обусловливает ур-ие:

$$\frac{L_x}{L_n} = \frac{R_x + r_x}{R_n + r + r_n} = \frac{a}{b}.$$

Измерение проводимости и угла диэлектрических потерь при посредстве М. В. по методу, идентичному с описанным выше способом измерения электрических сопротивлений, производится по схеме фиг. 9. Вследствие диэлектрич. потерь



Фиг. 9.



Фиг. 10.

в конденсаторе емкостью C_x сила тока опережает напряжение не на 90°, а на $90° - \delta_x$; при этом $\operatorname{tg}\delta_x = \frac{A_x}{\omega C_x}$, где A_x — проводимость изоляции — может быть представлена как обратная величина сопротивления r_x, включенного параллельно конденсатору. Поэтому для измерения проводимости изоляции необходимо параллельно эталону емкости C_n включить эталон сопротивления r_n; тогда при отсутствии звуков в телефоне (вернее при минимуме звуков) получим:

$$r_x = \frac{r_3}{r_4}r_n; \quad C_x = \frac{r_4}{r_3}C_n; \quad A_x = \frac{r_4}{r_3 r_n}.$$

Поэтому

$$\operatorname{tg}\delta_x = \operatorname{tg}\delta_n = \frac{1}{\omega C_n r_n}.$$

Эта схема требует очень больших величин сопротивления для r_n (т. к. практически δ невелика); поэтому целесообразнее сопротивление r_n включать последовательно с C_n (фиг. 10). Тогда

$$\frac{r_x}{1 + i\omega r_x C_x} = \frac{r_3}{r_4}\left(r'_n - \frac{i}{\omega C_n}\right);$$

$$A_x = \frac{\omega^2 C_n^2 r'_n}{\frac{r_3}{r_4}\left[1 + \omega^2 C_n^2 r'^2_n\right]}.$$

При $r_3 = r_4$, и пренебрегая величиной $\omega^2 C_n^2 r'^2_n$, будем иметь:

$$C_x = C_n = C \text{ и } A_x = \omega^2 C^2 r'_n.$$

Так как $\operatorname{tg}\delta_x = \omega C_x r'_n$, то и $\operatorname{tg}\delta_x = \frac{1}{\omega}\cdot\frac{A_x}{C_x}$.

В качестве эталона применяется слюдяной конденсатор, параллельно к-рому для точной регулировки включается воздушный конденсатор, — последний диэлектрических потерь не имеет, слюдяной же обладает небольшим углом диэлектрич. потерь; поэтому при измерениях надо вводить поправку. Пусть C_0 — показание слюдяного конденсатора, C'_0—воздушного (т. е. $C_n = C_0 + C'_0$); если δ_0 — угол диэлектрических потерь слюдяного конденсатора, то этот последний м. б. заменен конденсатором C_0 без потерь, если последовательно с ним включить сопротивление $r_0 = \frac{\operatorname{tg}\delta_0}{\omega C_0}$ (фиг. 11). Кажущееся сопротивление z между точками a и b равно

$$z = r'_n + \frac{1 + i\omega C_0 r_0}{i\omega C_n - \omega^2 C_0 C_n r_0}.$$

С большой степенью точности можно написать:

$$z = r'_n + \frac{1 + i\omega C_0 r_0}{i\omega C_n} = r'_n + r_0\frac{C_0}{C_n} - i\frac{1}{\omega C_n} \cong$$
$$\cong r'_n + r_0 - i\frac{1}{\omega C_n}.$$

Таким образом

$$A_x = \frac{\omega^2 C_n^2 (r'_n + r_0)}{\frac{r_3}{r_4}\left[1 + \omega^2 C_n^2 (r'_n + r_0)^2\right]}$$

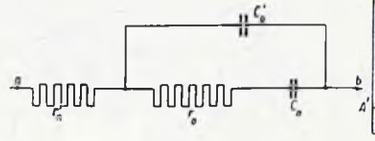
и

$$C_x = \frac{C_n}{\frac{r_3}{r_4}\left[1 + \omega^2 C_n^2 (r'_n + r_0)^2\right]}.$$

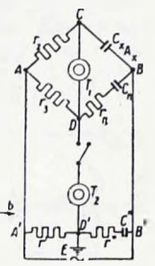
Если $r_3 = r_4$, то

$$C_x = C_n = C \text{ и } A_x = \omega^2 C_n^2 (r'_n + r_0).$$

Зависимость между сопротивлениями в М. В. только тогда справедлива, если мост кроме четырех сторон и двух диагоналей не имеет никаких дополнительных ответвлений. При измерениях переменным током эти дополнительные ответвления всегда могут иметь место, так как части прибора по отношению к земле имеют емкость. Необходимо не только уменьшить эту емкость, но сделать так, чтобы она была постоянной величиной. Для достижения последнего требования отдельные части схемы д. б. экранированы, для чего их помещают в металлические заземленные чехлы. Для устранения влияния емкости Вагнером предложена следующая схема, известная под названием моста Вагнера (фиг. 12). Параллельно главному мосту $ACBD$ включен



Фиг. 11.



Фиг. 12.

дополнительный заземленный мостик $A'D'B'$. Сначала происходит приближенная настройка главного моста при помощи телефона T_1 при замкнутом контакте у точки D; затем регулировкой как главного, так и дополнительного моста добиваются отсутствия звука в телефонах T_1 и T_2. В этом случае диагональ CD имеет потенциал земли; после этого T_2 выключается (у точки D), и главный мост настраивается окончательно. При помощи моста Вагнера возможно измерение частичных емкостей жил кабеля; действительно, присоединив к зажимам C и B две жилы кабеля и соединив все остальные между собой и землей, мы измерим только емкость между этими жилами, так как емкости по отношению к земле вследствие равенства потенциалов (земли и моста) не сказываются при измерении. Разновидностью М. В. является также мост Кюпфмюллера и Томаса, который применяется при производстве измерений емкостей и проводимости изоляции в кабелях.

Двойной мостик Томсона (фиг. 13) служит для измерения весьма малых сопротивлений. Весьма малое в виде проволоки сопротивление x и калиброванная в десятичных долях Ω проволока S соединены между собой через посредство толстой медной полосы M. Подвижные контакты *1*, *2* и *4* и постоянный контакт *3* служат для точного отсчета длины проволоки x и сопротивления проволоки S. Зеркальный гальванометр G включен между точками *5* и *6*. Реостаты r_1, r_2, r_3, r_4 подбирают таким образом, чтобы $\frac{r_1}{r_2}=\frac{r_3}{r_4}=p$. Замыкают ключ K_2, потом K_1 и перемещают контакт *4* до тех пор, пока стрелка гальванометра G не остановится на нуле. Тогда потенциалы точек *5* и *6* равны и $i_1=i_2$; $i_3=i_4$; $i_x=i_s$. Кроме того

$$\frac{V_4-V_6}{r_4}=\frac{V_6-V_1}{r_3};\quad \frac{V_3-V_5}{r_2}=\frac{V_5-V_2}{r_1};$$

отсюда

$$\frac{V_6-V_1}{V_4-V_6}=\frac{r_3}{r_4}=p;\quad \frac{V_5-V_2}{V_3-V_5}=\frac{r_1}{r_2}=p;$$

$$\frac{V_6-V_1}{V_4-V_6}=\frac{V_5-V_2}{V_3-V_5}=p.$$

Из этой пропорции имеем:

$$\frac{V_6-V_1-V_5+V_2}{V_4-V_6-V_3+V_5}=\frac{V_2-V_1}{V_4-V_3}=p.$$

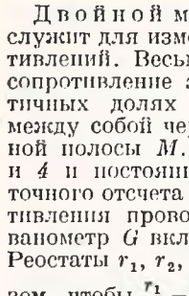
Так как

$$\frac{V_4-V_3}{S}=\frac{V_2-V_1}{x}\quad\text{и}\quad\frac{V_2-V_1}{V_4-V_3}=\frac{x}{S},$$

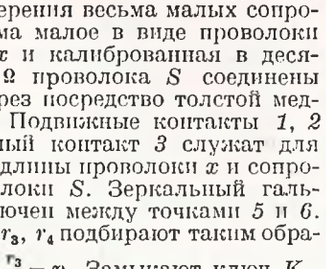
то

$$p=\frac{x}{S},\ \text{или}\ x=S\cdot p.$$

Мостик Кольрауша служит для измерений сопротивления как жидкостей, так и металлов, причем в последнем случае проводники м. б. с самоиндукцией или без нее. Когда рукоятка P (фиг. 14) установлена на контакт T, мостик предназначен для измерения сопротивления металлов; в этом случае пользуются зеркальным гальванометром и шунтом, к-рый приключается к зажимам m_1 и T_1, испытуемый же проводник присоединяется к зажимам X и X. Катушка Румкорфа K выключена из схемы. Если же переключатель P установлен на контакт m, то его поперечная пластинка соединяет контакты a и b, и мостиком можно пользоваться для измерения сопротивления жидкостей, включаемых также между зажимами X и X. В этом случае между зажимами m_1 и T_1 включают телефон. Винты α и β служат для регулирования прерывателя тока катушки Румкорфа. Контакт c скользит по проволоке XT_1. Сопротивления в 0.1, 1, 10, 100 и 1 000 Ω включают при помощи штепселей. К контактам B и B присоединяют батарею элементов.



Фиг. 13.



Фиг. 14.

Лит.: Линкер А., Электрич. измерения, пер. с нем., Москва, 1927; Кампе Л., Электрич. измерения телеграфных и телефонных линий, Москва, 1926; Skirl W., Elektrische Messungen, Siemens Handbücher, hrsg. v. Siemens u. Halske A.-G., B. 4, B.—Lpz., 1928; Kaspareck P., Neuere Geräte für Wechselstrommessungen, «Telegraphen- u. Fernsprechtechnik», Berlin. 1923, Jg. 12; Wagner, «ETZ», 1912, Jg. 33; Küpfmüller und Thomas, «ETZ», 1922. Jg. 43; Klein M., Kabeltechnik, B., 1929; Kelnath G., Die Technik elektrischer Messgeräte, 3 Auflage, B. 1, Mch.—Berlin, 1928; Hund A., Hochfrequenzmesstechnik, 2 Aufl., B., 1928; Drysdall C. and Jolley A., Electrical Measuring Instruments, v. 1—2, London, 1924; Nottag W., The Calculation a. Measurement of Inductance a. Capacity, 2 edition, London, 1925.

М. Юрьев.

МОСТОВОЙ КИРПИЧ, см. *Клинкер.*

МОСТОВЫЕ, устарелый термин, обозначающий такую одежду дороги, к-рая в отличие от щебеночной одежды (шоссе) устраивается из более крупных, чем щебень, материалов (каменные, деревянные и другие бруски и шашки, камни неправильной формы и пр.), укладываемых на дорогу не россыпью, а отдельными штуками (мощение). В настоящее время этот термин постепенно вытесняется термином дорога (асфальтовая дорога, бетонная дорога, клинкерная дорога и др.) или одежда.

Назначение одежды—воспринимать и передавать на основание и земляное полотно усилия, которые развиваются в ней при движении повозок и автомобилей с предельными скоростями и нагрузками. Примерные высшие предельные нагрузки и скорости автомобилей для отдельных типов дорожных

Табл. 1.—Технические нормы эксплоатации, предъявляемые различным типам дорог.

Тип одежды	Максим. вес автом. брутто в *т*	Максим. скорость легков. авт. в км/ч	Напряженность дороги брутто в *т**
Брусчатая М. на бетонном основании	15	>100	>1 000
Бетонная дорога	15	>100	>1 000
Асфальтобетон, тармакадам, песчаный асфальт	15	>100	>1 000
Брусчатая М. на песчаном основании	15	60—100	500—1 000
Клинкерная М.	15	60—100	500—1 000
Булыжная М.	15	60—100	500—1 000

* Количество грузов, перевозимых по дороге за сутки.

одежд приведены в табл. 1. Для одежд применяют материалы, отличающиеся большой прочностью и равномерным износом: естественные каменные породы, искусственные камни (клинкер и др.), бетон, железобетон, асфальтобетон и др. Одежда обычно располагается на т. н. основании, в качестве к-рого может служить песчаный или гравийный слой, каменная мостовая, старое шоссе, бетон и др. Толщина одежды (или основания) д. б. такова, чтобы удельное давление на основание (или земляное полотно) от проезжающих автомобилей или повозок не превосходило допускаемого сопротивления материала основания (или грунта земляного полотна). Принимают, что давление от колеса в одежде и основании передается под некоторым углом α (фиг. 1), т. е. давление распространяется внутри конуса, угол при вершине которого равен 2α. Значение угла α для щебеночной одежды принимают равным 45°. Иногда это положение формулируется так: давление на основание равно грузу, деленному на квадрат удвоенной толщины одежды. В шоссейной практике считают, что давление от колеса передается равномерно в верхней плоскости одежды на прямоугольник bd, где b—ширина обода колеса, d—длина сминаемой колесом площадки, причем обычно $d=5$—10 *см*. В нижней плоскости одежды давление действует на прямоугольник, стороны к-рого $x=b+ch$ и $x_1=d+ch$. Здесь h—толщина одежды, c—некоторый коэф., равный напр. для укатанного щебня примерно 3, для неукатанного 1, для песчаного слоя 2,4. Практически толщина щебеночной и каменной одежды принимается равной в среднем 175 *мм*. При современных условиях движения (тяжелые быстроходные автомобили) роли одежды и основания распределяются т. о., что одежда должна воспринимать и оказывать соответствующее сопротивление горизонтальным силам, возникающим в точках соприкосновения движущих колес автомобиля с поверхностью дороги; основание должно воспринимать и оказывать соответствующее сопротивление вертикальным силам. При выборе конструкций и материалов для одежды и основания руководствуются соображениями об условиях их работы: одежда подвергается истиранию, а потому она д. б. из твердых или эластичных материалов; основание подвергается сжатию, а потому оно д. б. прочной конструкции.

Геометрич. формы поперечного профиля М. практически допускаются следующие: параболическая, очерченная по дуге круга и прямолинейная двускатная с округлением гребня. Очертание поперечного профиля д. б. выпуклым и симметричным, за исключением случаев устройства одежды городских улиц, где профиль м. б. вогнутым или несимметричным. Поперечный уклон М. выбирается в зависимости от рода материала одежды (условия стока воды) и от продольного уклона дороги (условия движения); поперечные и продольные уклоны, принятые в СССР, приведены в табл. 2.

Табл. 2.—Предельные уклоны для мостовых в СССР.

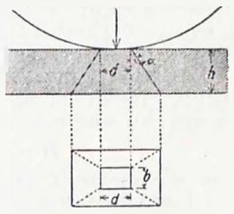
Тип одежды	Продольный уклон	Поперечный уклон	
	норм. (руководящий)	наименьший	наибольший
Шоссе	0,04—0,07	0,030	0,050
Булыжная или из рваного камня	0,01—0,06	0,030	0,050
Брусчатая	0,03—0,01	0,025	0,035
Клинкерная	0,04—0,05	0,015	0,025
Торцовая	0,02—0,03	0,020	0,030
Асфальтовая	0,02—0,03	0,015	0,020
Бетонная и железобетонная	0,01—0,06	0,010	0,020

Чем больше продольный уклон дороги, тем меньший может быть придан ей поперечный уклон. В табл. 3 приведена зависимость поперечного уклона от продольного для различного рода одежд (по проекту Государственного института сооружений ВСНХ).

Табл. 3.—Поперечные уклоны в зависимости от величины продольных.

Род одежды	Продольные уклоны		
	0—0,01	0,01—0,03	0,03 и выше
Шоссе	0,05	0,04	0,03
Булыжная	0,05	0,04	0,03
Брусчатая	0,035	0,030	0,025
Торцовая	0,030	0,025	0,020
Клинкерная	0,025	0,020	0,015
Асфальтовая	0,020	0,015	0,010

Ширина проезжей части М. технически определяется необходимостью пропустить по дороге определенное число экипажей одновременно (2, 3 и более линий движения), причем в основание расчета принимается ширина типичного экипажа, обращающегося на данной дороге. К этому добавляют полосы для велосипедистов, пешеходов, трамваев, стоянки автомобилей и пр. Для улиц ширина М. рассчитывается кроме того по условиям освещения, посадке древесных насаждений, объему воздуха и пр. Ширина существующих М. колеблется от 2 до 300 *м*. В Париже например имеется М. шириной 1,7 *м*; в Вашингтоне—шириной до 300 *м*. Можно принять как правило, что ширина городского проезда должна быть не менее 6 *м*, и таким образом иметь по крайней мере две линии движения, по 3 *м* каждая. Для дорог междугородных проект классификации дорог по Цудортрансу НКПС устанавливает следующие нормальные ширины (в *м*) проезжей части (шоссированной или мощеной) в зависимости от топографич. условий и класса дорог по значению (табл. 4).



Фиг. 1.

Табл. 4.—Ширина проезжей части дорог различных классов (в *м*).

Класс дорог	Местность		
	равнин. и слабо холмистая	сильно холмистая и гористая	горная
Дороги усиленного типа	9; 7,5; 5,5	7,5; 5,5	7,5; 5,5
Дороги нормального типа	5,5; 4,5; 3,5	5,5; 4,5; 3,5	5,5; 4,5; 3,5

Материал для мощения должен отвечать определенным технич. условиям. Каменные материалы должны испытываться и проверяться в отношении: а) удельн. веса, б) однородности и мелкозернистости структуры, в) сопротивления сжатию, г) сопротивления истиранию, д) водопоглощения, е) морозостойкости, ж) шлифования (отсутствие скользкости), з) удобства и легкости обработки. Таким требованиям в большинстве случаев удовлетворяют изверженные кристаллич. породы, как то: граниты, порфиры, базальты, диабазы и др., а также наиболее прочные осадочные породы: кварциты и песчаники. Известняки и другие слабые породы для устройства дорог в настоящее время избегают применять. Сопротив-

ление (в *кг/см²*) сжатию, уд. в. и твердость некоторых употребляемых в дорожном строительстве каменных пород следующие:

Порода	Уд. вес	Твердость по Мосу	Сопрот. сжатию
Базальт . . .	2,8—3,3	6—8	3 000—3 500
Гранит	2,5—3,0	6—8	1 600—2 000
Диабаз	2,7—3,0	5—8	1 800—2 000
Сиенит	2,5—3,0	7—8	1 350—1 500
Порфир . . .	2,4—2,8	6—8	1 700—1 900
Песчаник . .	1,9—2,9	4—7	850—950
Известняк . .	1,5—3,0	3—8	750—850

Испытание материала на истирание производится или на вращающихся кругах истирания (системы Боме, Баушингера, Дорри и др.) или на пескоструйном аппарате Гари. Испытывают на кругах истирания при средней скорости рабочей поверхности в 1 *м/сек*; потери определяются после прохождения пути истирания в 1 *км* и выражаются в *см³* или в *г* на 1 *см²* истираемой поверхности. Эти потери (называемые коэф-тами истирания) для главнейших пород заключаются в следующих пределах: для гранита 0,12—0,15; порфира 0,15—0,22; базальта 0,10—0,19; диабаза 0,13—0,17; песчаника 0,32—0,41 *г/см²*.

В США принято делать испытания преимущественно на круге Дорри (Dorry). Коэф. твердости или сопротивляемости истиранию

$$H = 20 - \tfrac{1}{3}W,$$

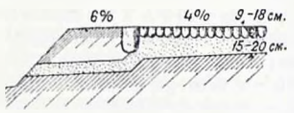
где W—средняя потеря в весе образца в *г* на 1 000 оборотов круга. Данные испытаний на истирание главных каменных пород, выраженные в коэф. сопротивления истиранию или в коэф. твердости, приведены в табл. 5.

Табл. 5.—Данные испытаний на истирание каменных пород.

Каменные породы	Blanchard	Harger and Bonney	Office of Public Roods U. S. A. (Bull. № 31)
Базальт	5,7—19,3	—	15,6—17,1
Гранит	13,6—19,7	17,9—18,9	18,1
Диабаз	10,7—19,4	—	17,5—18,2
Известняк . .	0,0—19,2	13,1—16,8	12,7—14,8
Доломит . .			
Кварцит	15,3—19,7	18,3—18,9	18,4
Песчаник . . .	0,0—19,5	5,1—18,5	17,4
Сиенит	16,4—19,2	6,7—14,5	18,4

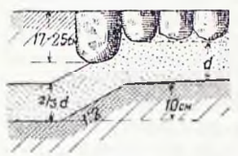
Породы твердые имеют коэф. твердости > 17, средние 14—17, слабые < 14.

Чем меньше истираемость, тем камень тверже, но и тем скорее он будет шлифоваться, вследствие чего М. делается скользкой. Валунный камень, из которого устраиваются булыжные М., должен быть твердых пород; слоистый, хрупкий, дресвяный, раковистый и выветрившийся камень употребляться не должен. Валунный камень применяется в двух видах: в виде *кругляка*, с частично околотой поверхностью, и в виде *шашки*, выработанной из валуна-сырца колкой. Оба вида употребляются в дело после сортировки по размерам и качеству.

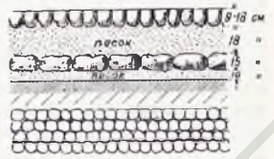


Фиг. 2.

Булыжная М. устраивается преимущественно на песчаном основании; ее преимущества по сравнению с другими каменными одеждами—меньшая стоимость устройства и ремонта, но для проезда вследствие своей неровной поверхности она представляет большие неудобства. Булыжную М. устраивают следующим образом (фиг. 2). По спланированному и уплотненному земляному полотну насыпают песок слоем 15—20 *см*, а в случае слабых грунтов—до 30 *см*. По краю М. устанавливают по шнуру в один ряд т. н. *версту* из крупных булыг, размерами 17—25 *см* (фиг. 3). Минимальный продольный уклон лотков булыжной мостовой 0,002. Мощение производится по всей ширине сразу; камни сажаются тычком, насухо, без прижима к ним песка, без навала, с перевязкой швов и так плотно, чтобы промежутки между камнями были минимальными. Размеры булыжного камня: высота 9—18 *см*, в поперечнике 6—9 *см*. Размеры шашек 1-го сорта: высота 13—18 *см*, по лицу мощения 7—15 *см*; 2-го сорта: высота 9—13 *см*, по лицу мощения не менее 6 *см*. Чем тяжелее движение, тем крупнее должен быть камень. До утрамбовки М. расщебенивают хорошей щебенкой (ок. 25 *мм*). Для равномерной осадки М. утрамбовывают ручными трамбовками, весом 25—30 *кг*, затем вновь засыпают



Фиг. 3.



Фиг. 4.

мелкой щебенкой, разметая последнюю метлою в швы, вновь трамбуют, а иногда и укатывают катком весом 6—8 *т*. Готовую булыжную М. для заполнения швов засыпают слоем песка в объеме не более 0,015 *м³* на 1 *м²*. Засыпанный песок поливают водою; по истечении 7 дней излишек песка удаляют. При тяжелом грузовом движении или при плохом грунте М. устраивают в два слоя (фиг. 4). На слой песка в 10—12 *см* укладывают плашмя крупные камни, без расщебенки, трамбуют тяжелыми трамбовками, затем насыпают второй слой песка в 18 *см* и по последнему устраивают М. вышеописанным порядком.

Брусчатая М. — наиболее прочный, хотя и дорогой вид каменной одежды. Она устраивается из брусков твердых каменных пород параллелепипедальной формы с несколько скошенными боковыми гранями. Наиболее распространенные и отвечающие климатич. и грунтовым условиям средней полосы СССР, а также условиям движения, сорта брусчатки приведены ниже в табл. 6. Боковые поверхности брусчатки имеют скос от вертикали книзу—в нормальной брусчатке не более 1 *см*, а в облегченной—0,5 *см*. Бруски укладываются правильными рядами, длинной стороной перпендикулярно к оси дороги, с перевязкою швов, или под углом 45° (фиг. 5). Для образования лотков брусчатку укладывают в 2—3 ряда, длинной стороной параллельно оси дороги; лотковые ряды укладывают ниже поверхности М. на

Табл. 6.—Размеры брусчаток, наиболее распространенных в СССР (в *см*).

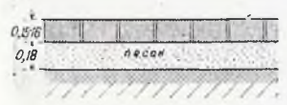
Сорта брусчатки	Высота	Верхний лицевая грань	
		Длина	Ширина
Нормальная . .	15—16	15—25	12—15
Облегченная . .	10—14	15—25	8—14
Клейнпфластер (мозаика)	8—10	Площадь лица 64—100 *см²*	

В Москве принят еще один сорт брусчатки—брюкенштейн — размерами: длина 15—25 *см*, ширина 8—13 *см* и высота 10—11 *см*.

1 *см*. Продольные и поперечные швы в брусчатой М. не д. б. шире 0,8—1 *см*. После укладки М. трамбуют трамбовками весом в

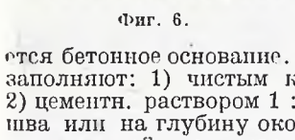
Фиг. 5.

30 *кг* и 120—125 *кг* (для 4 человек), поливают водою и посыпают два раза песком, излишек которого после 15 дней сметают. Брусчатая М. устраивается на основаниях: 1) песчаном, толщиною слоя не менее 18 *см* (фиг. 6), 2) щебеночном, покрытом слоем песка, 3) каменном (*пакеляж*), покрытом слоем щебня и песка (фиг. 7), и 4) бетонном толщиной 15—25 *см* с тонким (2—5 *см*) слоем песка поверху (фиг. 8). Песчаное и щебеночное основания не удовлетворяют санитарным требованиям, т. к. пропитываются грязью, проникающей в швы мостовой. Наиболее прочным и совершенным являются бетонное основание. Швы брусчатой М. заполняют: 1) чистым кварцевым песком, 2) цементн. раствором 1 : 10, во всю высоту шва или на глубину около 8 *см*, с заполнением нижней части шва песком, 3) битуминозными материалами на глубину ок. 8 *см*.

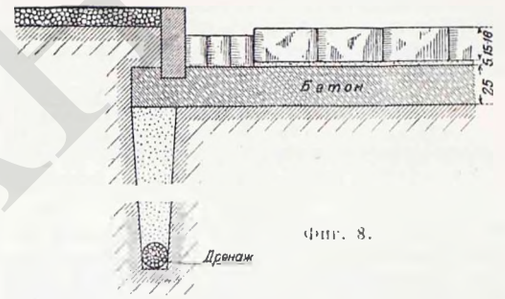


Фиг. 6.

Мозаичная М. (*клейнпфластер*) является разновидностью брусчатой М. Особенностью мозаичной М. является сравнительно мелкий, но околотый в б. или м. правильные кубики камень указанных в табл. 6 размеров. Основанием для мозаичной М. может служить: 1) слой песка толщиной ≮ 15 *см*, 2) щебеночное основание или старое шоссе, 3) каменное (пакеляж) толщиною 15—25 *см*, к-рое покрывается щебнем и затем песком на высоту 2—5 *см*, 4) бетонное толщиною 15 *см*, с песчаным прослойком в 3—4 *см*. Камни тщательно подбирают по размерам (более крупные к лоткам) и укладывают или веерообразно (фиг. 9) или по дугам полуокружностей с обращением выпуклости полуокружности по направлению движения (фиг. 10). Толщина швов не более 1 *см*. М. тщательно трамбуют ручными



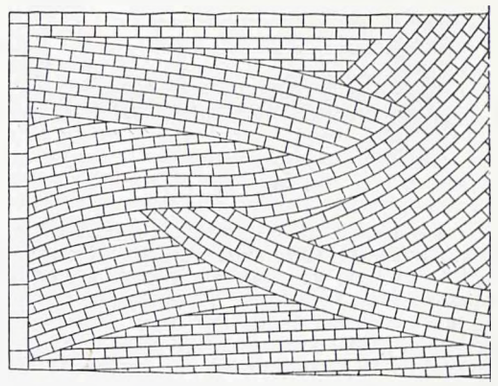
Фиг. 7.



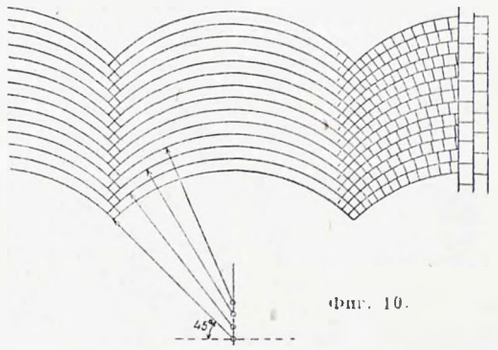
Фиг. 8.

трамбовками, обильно поливают водою и засыпают слоем песка в 1—2 *см*. Излишек песка после 7—10 дней удаляют. Швы между камнями заполняют песком, цементным раствором 1 : 10 или асфальтом.

Клинкерная М. принадлежит к типам дорог усовершенствованных и сравнительно дорогих. Основаниями для клинкерной М. могут служить: а) бетон 1 : 3 : 5—1 : 5 : 7 толщиною 10—15 *см* с песчаным прослойком в 2,5—5,0 *см*; б) щебеночное


Фиг. 9.

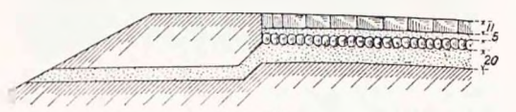
(старое или новое) шоссе или М. толщиною 10—15 *см* на песчаном слое толщиной 15—20 *см* и с песчаным прослойком между шоссе и клинкером (фиг. 11); в) слой песка толщ. 20—30 *см*. Клинкер укладывают на длинное



Фиг. 10.

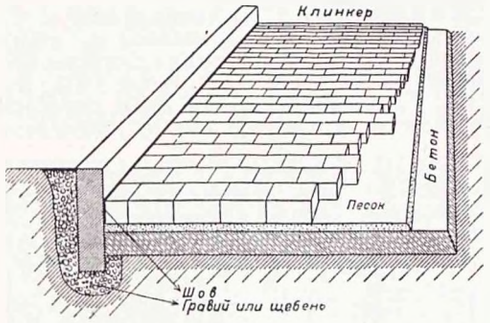
ребро или (фиг. 12) перпендикулярными к оси дороги правильными рядами или диагональными под углом в 45° рядами, а также в елку—поперечную, вперевязку, как

показано на фиг. 13, или продольную. По краям М. укладывают два ряда клинкера, длинным ребром параллельно оси дороги, и затем бордюры из бетона, естественного камня или двух рядов клинкера. Уплотнение производят легким катком (3—5 *т*).



Фиг. 11.

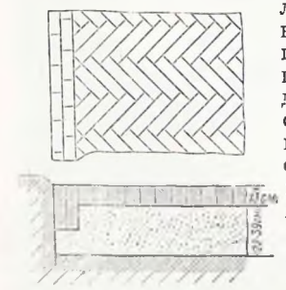
М. засыпают сверху слоем (2 *см*) песка, который загоняют метлами в швы, поливая водою. Применяется также заполнение швов битуминозными веществами и цементным раствором. Клинкерную М. в Америке строят и по типу монолита, для чего вместо песчаного прослойка наносят цементный раствор 1 : 4 (в сухом либо в приготовленном виде)



Фиг. 12.

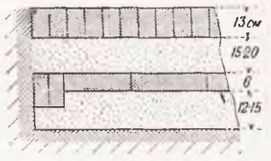
слоем в 4 *см* и после укладки клинкера М. поливают водою для схватывания. Клинкерную мостовую устраивают иногда в 2 слоя; нижний ряд клинкера укладывают плашмя на песчаный слой, насыпая затем второй слой песка для верхнего ряда клинкера (фиг. 14). К клинкерным М. относятся керамиковые М. Керамиковые бруски обладают большим сопротивлением износу и сжатию. В последнее время в Германии вместо естественного камня применяют камни из литого *доменного шлака* (см.).

Деревянная (торцовая) М. устраивается из торцов или шашек, к-рые располагают на М. волокнами вертикально в целях уменьшения износа. Материалом для выделки торцов служит гл. обр. мелкослойная сосна, лиственница, реже ель, кедр, кипарис, бук, дуб и некоторые деревья тропич. стран, например эвкалипт, ярра, карри и др. Сопротивление сжатию дерева вдоль волокон д. б. не менее 300 *кг/см*². В целях предохранения от гниения торцы пропитываются противогнилостными веществами, напр. креозотом. Употребительными являются торцы параллелепипедальной или шестигранной



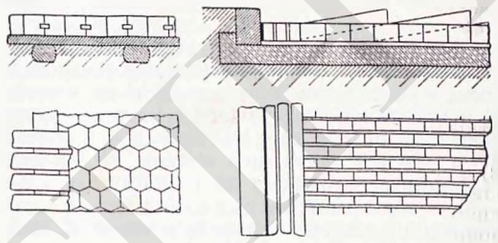
Фиг. 13.

формы следующих размеров: первые имеют ширину 9—10 *см*, длину 13—25 *см* и высоту 10—15 *см*, вторые—высоту 12—18 *см*, диаметр 20—26 *см*. Основанием для торцовой М. служит бетон 1 : 4 : 6 толщиною 15—20 *см*. Основание покрывают цементной смазкой толщиной ок. 2 *см* с оставлением в ней желобков для стока воды. Торцы шестигранной формы укладывают вплотную друг к другу и соединяют металлич. шпильками. При прямоугольной форме торцы укладывают правильными рядами нормально к оси дороги, с перевязкой швов. Швы между рядами устраивают в 6—8 *мм*; в поперечном направлении торцы укладывают вплотную друг к другу (фиг. 15).



Фиг. 14.

Швы заливают цементным раствором 1 : 2 асфальтом или смесью вара с антраценовым маслом. Торцы укладывают на бетонное основание с прокладкой промежуточного слоя: 1) из песка толщиною 5 *см* и 2) из асфальта толщиною 1—3 *см*, причем торцы укладывают в асфальт пока он находится еще в мягком состоянии. Для образования лотка устанавливаются 2—3 ряда торцов на 1 *см* ниже остальных, параллельно оси улицы. Между торцами и бордюром тротуара оставляют зазор шириною 4—6 *см*, к-рый заполняется сухим песком. Эти зазоры допускают расширение рядов торцов при разбухании их от сырости. По окончании кладки торцов М. покрываются слоем мелкого щебня или гравия толщиной до 3 *см*, который постоянно разметают для образования равномерной корки. Торцовая М. считается лучшим типом одежды; продолжительность ее службы на улицах Лондона и Парижа достигает 12 лет; недостатками ее являются: негигиеничность (вследствие загрязнения).



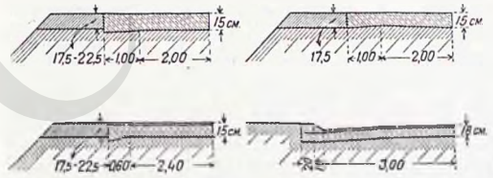
Фиг. 15.

скользкость при гололедице и дожде и наконец способность рассыхаться в сухую погоду и разбухать в сырую.

Резиновые, или каучуковые, М. применяются с конца прошлого века в Англии, Америке и Австралии. Значительным препятствием распространению каучуковых М. служит их дороговизна; основные преимущества их: долговечность (20—50 лет), большое сопротивление деформированию, упругость, водонепроницаемость, легкость очистки без промывания, отсутствие скользкости при дожде без посыпки песком и бесшумность. Мощение производится при помощи шашек или кубиков по подготовленному

основанию. Поперечный профиль имеет стрелу подъема на оси в $^1/_{24}$ ширины проезжей части дороги; для большей прочности применяют Т-образные железные полосы.

Бетонные и железобетонные М. (бетонные дороги) за границей, особенно в США, получили широкое распространение. Их преимущества: твердость, прочность, ровная и гладкая поверхность, водонепроницаемость и малое сопротивление движению. Бетонные дороги состоят из слоя бетона толщиной 15—30 *см*; в тех случаях когда они армированы металлич. сетками или отдельными стержнями, они получают название железобетонных. Особенностью устройства бетонных дорог являются швы расширения и сжатия, устраиваемые в продольном и поперечном направлениях дороги через каждые 10—40 *м*, а на городских улицах и вдоль краев дороги в местах расположения бордюров. Толщина бетонной плиты по краям делается обычно больше, чем посередине (фиг. 16). Применяемые для устройства бетонной одежды—щебень, гравий и песок д. б. однородны по качеству и размерам. Величина щебенок не должна превосходить 38—40 *мм*. Пропорции составных частей бетона—1 : 2 : 4, или 1 : 2 : 3,5, или



Фиг. 16.

1 : 2,5 : 4 и т. п. Устройство бетонных М. за границей механизировано: по краям дороги укладывают металлич. формы, служащие вместе с тем рельсами, по которым передвигается т. н. финишер—машина, разравнивающая, уплотняющая и выглаживающая бетон. Чтобы дать бетону схватиться, его покрывают на 21 день брезентами, землей или травой и смачивают водою. Бетонный слой в большинстве случаев укладывают непосредственно на земляное полотно, уплотненное щебнем и песком и укатанное катком в 10 *т*. Основанием бетонной М. может служить также старое шоссе. Приготовление и укладка бетона на место производится обычно машиною типа бетономешалок. Для увеличения прочности и воспрепятствования образованию трещин бетон армируют. Вес арматуры составляет от 3 до 15 *кг* на *м*² дороги. Арматуру обычно помещают или в верхней части плиты (на 5 *см* от поверхности) или в нижней части ее. В швах расширения заделывают соединительные стержни, один конец к-рых заделывают в одной плите, а другой оставляют свободным в другой плите. Швы расширения м. б. защищенные и незащищенные; они заполняются асфальтом, смолою, просмоленной бумагою, асфальтированным войлоком или деревом мягких пород; в защищенных швах в верхней части укладывают фасонное железо. Швы расширения изготовляются шириною примерно в 5 *мм*. Железобетонные плиты рассчитывают по формуле Олдера:

$$d = \sqrt{\frac{3P}{R}},$$

где d—искомая толщина плиты, P—груз, передаваемый колесом, и R—допускаемое напряжение на растяжение. Если арматура проходит через поперечный шов и при нагрузке отгибаются сразу два угла, то

$$d = \sqrt{\frac{3P}{2R}};$$

если арматура проходит и через продольный шов и отгибаются сразу 4 угла, то

$$d = \sqrt{\frac{3P}{4R}}.$$

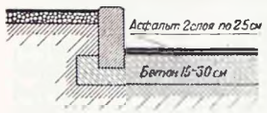
Асфальтовая М. устраивается на бетонном основании или на каменном (из битого кирпича, щебня, мелкого камня, шлака и др.), уплотненном укаткою тяжелым катком. Каменное основание обычно требует устройства промежуточного (между основанием и покрытием) связующего слоя из асфальтобетона. При бетонном основании связующий слой не является необходимым. Бортовые (бордюрные) камни укладывают из естественных каменных пород (фиг. 17) или из бетона; бордюрные камни из бетона иногда снабжают арматурой.

Трамбованный, или прессованный, асфальт является старейшим видом асфальтовой одежды. Материалом в этом случае служит естественный асфальтовый порошок или размолотая асфальтовая порода. Содержание чистого битума в асфальтовом порошке д. б. 6—14% по весу. На качество асфальта влияет тонкость помола; на сите с отверстиями в 2,5 *мм* не должно оставаться никакого остатка. Содержание в асфальте летучих масел д. б. минимальным; при нагревании сухого порошка в течение 6 ч. до 225° потеря в весе не должна превышать 2%; удельный вес трамбованного асфальта д. б. не менее 2,05. Нормальный срок службы покрытия из трамбованного асфальта толщиной в 5 *см* — около 20 лет. Скользкость М. из трамбованного асфальта — основной ее недостаток.

Литой асфальт представляет собою искусственную смесь асфальтового или минерального порошка с битумом. Покрытие из литого асфальта устраивают на бетонном или на щебеночном укатанном основании. Бетонное основание делают толщиной 15—20 *см*. При щебеночном основании устраивают связующий слой из асфальтобетона. Толщина слоя литого асфальта 4—5 *см*; при применении связующего слоя в 5 *см* толщина м. б. уменьшена до 2,5 *см*. Асфальтовая масса приготовляется путем смешения при постоянном нагревании: асфальтовой мастики, битума, песка и гравия в следующей весовой пропорции: 53,5% мастики асфальтовой, 4% битума (50% естественного и 50% нефтяного или 25% естественного и 75% нефтяного) и 42,5% гравия и песка. Практически для покрытия 1 *м*² асфальтовым слоем толщиною 2,5 *см* требуется при указанной пропорции: 36 *кг* мастики асфальтовой, 2,8 *кг* битума и 28 *кг* гравия и песка. Асфальтовую массу варят в особых котлах с ручным или механическим перемешиванием. Необходимо тщательное перемешивание массы; пере-

грев ее свыше 170—180° не допускается, так как он вызывает улетучивание битума и так. обр. ухудшает качество асфальта. Горячую асфальтовую массу укладывают на чистое и совершенно сухое основание в 2 слоя, толщиною по 2,5 *см* каждый, разглаживают деревянными вальками и затирают мелким сухим речным песком при помощи гладилки. На фиг. 17 показан поперечный разрез асфальтовой М.

Мостовая из асфальтовых плит применяется в тех случаях, когда устройство сплошного асфальтового покрытия является невозможным. Преимущество плит заключается в том, что их укладка возможна в любую погоду и производство работ проще, чем при устройстве покрытий из сплошной асфальтовой массы. Плиты изготовляют из асфальтового порошка или литого асфальта; размеры плит $10\times12 \div 25\times25$ *см*, толщина 4—5 *см*. Иногда вместо плит укладывают шашки из асфальтобетона. Основание для асфальтовых плит и шашек обычно применяют бетонное. Плиты и шашки укладываются на слой цементного раствора или асфальта толщиной 1 *см*, служащий как для связи плит между собою, так и для выравнивания их поверхности. Швы между плитами заполняются обычно асфальтовым порошком или цементом.



Фиг. 17.

Песчаный асфальт представляет собой смесь из песка, наполнителя (минерального или асфальтового порошка) и битума. Заменой 25—50% песка мелким щебнем размером от 2 до 12 *мм* получается асфальтовая масса, т. наз. топика (topeka), служащая переходной формой к асфальтобетону. Основание для песчаного асфальта делают бетонное, каменное или щебеночное; им могут служить также шоссе и М. Поверх каменной М. и шоссе укладывают связующий слой асфальтобетона. Вместо связующего слоя асфальтобетона укладывают песчаный асфальт с более крупным каменным материалом. Связующий слой после укатки имеет толщину 3,5—4 *см*. Асфальтобетонную массу нагревают до 170°, перемешивают, укладывают в горячем состоянии на сухое основание, разравнивают горячими граблями и укатывают тяжелым катком. Приготовление асфальтовой смеси производится при помощи специальных машин, имеющих сушильные барабаны (для нагревания минеральных материалов), весы (для дозировки составных частей смеси) и мешалки. Битум нагревают отдельно в котлах до 190—195°. Покрытие укатывается сначала ручным катком и затем катком в 7—8 *т*, предпочтительно с двумя вальцами (тандем).

Асфальтобетон является наиболее прочным типом покрытия городских улиц и пригородных дорог. Основными материалами в асфальтобетоне являются: щебень различной крупности, наполнитель (асфальтовый или минеральный порошок) и битум. В зависимости от размеров минеральных частиц асфальтобетон разделяется на тонкий (12—15 *мм*) и грубый (30—40 *мм*). Битум берется в количестве 5—11% по весу. Приготовление смеси и производство работ такое же, как при песчаном асфальте. Поверхность асфальтобетона при тощем составе подвергается обработке битумом при $t°$ 177° в количестве 3 *кг* на 1 *м*²; затем поверхность посыпается тонким слоем мелких высевок и прикатывается катком.

Дегтебетон (тармакадам)—покрытие из щебня, предварительно перемешанного с дегтем (черный щебень). Основное отличие от асфальтобетона заключается в том, что укладка тармакадамом может выполняться в холодном виде. Тармакадам приготовляется на з-дах или стационарных машинных установках, выдерживается в течение нескольких недель и на постройку доставляется и укладывается уже в холодном состоянии. Для улучшения вяжущих свойств к дегтю прибавляют 10—30% битума. Нормальный состав дегтебетона: 94% щебня, 6% дегтя, составленного из 20% битума и 80% каменноугольного дегтя, отогнанного до 250°. Покрытие делают толщиной 5—10 *см* и устраивают в два слоя. Рекомендуется поверхностная обработка тармакадама нефтяным битумом.

Лит.: Крынин Д. П., Курс дорожного дела, 2 изд., М.—Л., 1929; Дубелир Г., Городские улицы и мостовые, Киев, 1912; его же, Дорожное дело, М.—Л., 1928; Скрыбин И. Е., Шоссейные и мощеные дороги, Москва, 1929; Гельфер А. А., Каменный материал на шоссе, СПБ, 1914; Бутескул В., Асфальтовые дороги и мостовые, Москва, 1928; Постройка усовершенствованных дорог по данным инж. Клугге, М., 1930; Материалы по сооружению усовершенствованных типов дорог (по данным герм. практики), Ленинград, 1928; Временная инструкция по устройству усовершенствованных дорог, Ленинград, 1928; Schneider E., Moderner Strassenbau, 2 Aufl., Berlin, 1928; Funk L., Das Kunststrassenwesen, Halle a/S., 1928; Der neuzeitliche Strassenbau, hrsg. von H. Hentrich, B. 3—7, Halle a/S., 1927—28; Reiner W., Handbuch d. neuen Strassenbauwesens mit Bitumen, Teer u. Portlandzement als Bindmittel, Berlin, 1929; Stueck H. C., Taschenbuch f. d. gesammten Strassen- und Wegebau, Jg. 20, Berlin, 1929; Harger W., Rural Highway Pavements, New York, 1924; Agg T., The Construction of Roads a. Pavements, 2 edition, New York, 1924; Harger W. a. Bonney E., Handbook for Highway Engineers, v. 1—2, New York, 1927; Blanchard A., American Highway Engineers' Handbook, New York, 1919; «Good Roads», London, 1929, May.

П. Шестанов и Л. Гольденберг.

МОСТОВЬЕ, всякая мягкая кожа, идущая преимущественно на верх обуви, выделанная методом растительного (красного) дубления или комбинированного (растительно-минерального); неотделанная, слегка прожированная или смазанная дегтем, спиленная по толщине кожи или строганая; разведенная вручную или на тянульной машине и отмятая на машине или на «беляках». Сырьем, дающим товар, который определяет самый характер понятия М., являются главн. обр. коровьи и бычковые шкуры (а также конские—«конское мостовье», «конина»). В прошлом веке под понятие «мостовье» подводился также и легкий подошвенный товар—«полувальное мостовье», но это понятие утратилось. Кроме коровьих, бычковых и конских шкур на выделку М. идут теперь в значительном количестве также шкуры свиней (в 1931 году предполагается до 1 млн. штук), шкуры морских зверей (тюлень) и в незначительном количестве дельфиньи, верблюжьи, ослиные и др. До последнего времени почти все М., идущее на обувь, раскраивалось на

части верха обуви (иногда даже в невысушенном виде) и в виде «кроя» подвергалось в «посадных мастерских» дальнейшей обработке—«посадке» и «отделке», после чего готовый крой поступал уже на обувную ф-ку. Часть М. отделывалась в целых кожах. М. из шкур рогатого скота, отделанное в целых кожах путем дополнительной жировки, отмынки и отделки «лица» и «бахтармы» носит название «юфти». В настоящее время промышленность в целях лучшего использования площади кожи и избежания повторения ряда операций переходит на выделку всего обувного М. до «юфти» и раскрой уже готовой юфти, получая из нее сразу крой, идущий без дополнительных операций на обувную ф-ку. Исключение делается лишь для специальной вытяжной обуви, для которой операция посадки сохраняется. Помимо обуви М. лишь в небольших количествах идет на изготовление частей седел, упряжи, людского снаряжения (пояса, ремни, кобуры и др.) и галантерейных изделий (чемоданная кожа, мебельная и пр.). Особенностью мостовьевой кожи является способность ее принимать и сохранять в дальнейшем приданную ей во влажном состоянии форму (форму изгиба ноги), что позволяет изготовлять из нее обувь только с одним задним швом (вытяжная обувь). Малая возможность проникновения влаги через швы, в связи с тем, что сама мостовьевая кожа, способная поглотить значительное количество жира, гораздо меньше водопроницаема, чем другие виды кожи, делает обувь из М. (яловую обувь) наиболее водонепроницаемой. Мостовьевая кожа менее теплопроводна и площадь ее примерно в три раза меньше изменяет свой размер в зависимости от влажности воздуха (при изменении относительной влажности воздуха от 0 до 100% площадь мостовьевой кожи растет на 6,2%, в то время как хромовой на 18,2%, и дает те же значения сокращений площади при обратном процессе уменьшения влажности воздуха). Эти особенности М., в условиях подавляющей массы крестьянского населения, делают у нас яловую обувь наиболее излюбленным типом, в то время как в З. Европе и Америке она давно вытеснена более изящной и легкой хромовой обувью, удержавшись лишь для особо тяжелых условий работы (рыбные промыслы, шахты и т. д.).

Из 131 учитываемых ЦОС'ом кожевенных предприятий в 1929/30 г. 79 работало М., давши за год около 8 млн. кож, общей площадью 2 180 млн. *дм*². Крупнейшими районами, занятыми выделкой мостовья, являются: Вятский район—600 тыс. кож в год, Сибирь—570 тыс. кож, Украина—500 тыс. кож, Урал—440 тыс. кож, Ленинградская область—400 тыс. кож, Центр.-Черноземная область—370 тыс. кож, Северный Кавказ—300 тыс. кож, Нижегородский край—300 тыс. кож, Казакстан—270 тыс. кож, Н. Волга—275 тыс. кож, Ср. Волга—200 тыс. кож, В. Волга—190 тыс. кож. Яловой обуви было пошито за этот год 15 млн. пар. К яловочному М. (из шкур рогатого скота) утвержденный СТО стандарт предъявляет следующие требования: М. изготовляется в виде целых кож и по обработке бахтармы делится на нестроганое, строганое и спиленное; по качеству—на 1-й, 2-й и 3-й сорт; по площади (при сдаче М. по площади)—на мелкое (140—200 *дм*² площади одной кожи), среднее (>200—300 *дм*²) и крупное (>300 *дм*²) и по весу (при сдаче на вес)—на легкое, среднее и тяжелое. Деление это определяется величинами, указанными в таблице.

Деление мостовья.

Мостовье	Вес одной кожи в *кг*			Толщина в огузочной части в *мм*
	Легкое	Средн.	Тяжел.	
Пиленое . . .	3—4	4—6	6—8	⩽2,5—⩾3,0
Строганое . .	3—4	4—6	—	⩾3
Нестроганое .	2,5—4,5	>4,5—7	>7—10,5	⩽2—⩾4

Всякое пиленое мостовье свыше 6 *кг* в коже относится к нестроганому мостовью.

М. яловочное д. б. нормально продублено, хорошо промыто, нормально прожировано и выделано без утяжеления; нормально высушено, отмято, разведено и плотно (не рыхло). Лицо М. д. б. чистым, не стянутым и не отдушистым. М. нестроганое д. б. чисто омездрено; М. строганое—чисто и ровно выстругано по всей площади кожи. М. пиленое д. б. равномерно спилено на площади не менее 25% всей поверхности кожи, причем остальная часть ее д. б. чисто и равномерно подстругана. Лицо М. не д. б. отдушистым, т. е. не должно образовывать морщин при сгибании образца на 180° лицом внутрь на валике диам. 25 *мм*, а также не давать садки, т. е. разрывов и трещин при сгибании кожи вчетверо лицом наружу и при сжимании ее пальцами на 50 *мм* ниже внутреннего края сгиба. Все пороки кожи, как имевшиеся на сырой шкуре, так и полученные во время выделки, оцениваются в зависимости от их влияния на качество кожи баллами; сумма баллов всех пороков кожи определяет ее сортность. По химич. составу М. должно удовлетворять нормам:

Влаги	⩾ 18%	Вымываемых водой*	⩾ 8%
Жира*	⩾ 10%		
Золы*	⩾ 0,8%		

Среднее по партии сопротивления разрыву д. б. ⩽ 1,75 *кг*/*мм*² для М. пиленого и строганого и ⩽ 2 *кг*/*мм*² для М. нестроганого. Наиболее употребляемым сырьем для М. являются коровьи шкуры весом от 10 до 20 *кг* в парном виде (только что снятые с туши) и бычковые до 16 *кг*. Лучшим видом консервировки сырья служит засолка его. В прошлом однако было много мороженого сырья и пресно-сухого.

Установившаяся сейчас практика работы М. сводится к следующему. Сырье, очищенное еще до консервировки (засолки) от рогов, хвостов, прирезей мяса и навала (навоза и грязи на волосяной стороне) подбирается по видам, весу и плотности отдельных шкур в возможно более однородную производственную партию, размером от 120 до 200 кож или от 2 000 *кг* до 3 500 *кг* парного веса (нормальный размер партий установлен в 2 500 *кг*) и поступает на первую операцию—отмоку, которая преследует цели: 1) отмыть шкуру от оставшейся на ней грязи, крови и лимфы и смыть с поверхности шкуры соль (часть соли, оставшейся в шкуре, способствует проведению следующей операции—золению); 2) достаточно обводнить волокна кожевой ткани (коллагена) и 3) удалить из шкуры растворимые белки. Вся эта операция д. б. проведена без значительного гидролиза кожевой ткани. Главной опасностью отмоки являются гнилостные бак-

* В пересчете на кожу с влажностью в 18%.

терии, заносимые в отмочные воды шкурами, и выделяемые ими энзимы, вызывающие целый ряд пороков в готовой коже, как то: безличины, прелины и даже полное разрушение кожи. Растворы солей в небольших концентрациях (за исключением $CaCl_2$, который при концентрации свыше 0,4 *г* на *л* вызывает уже усиленный гидролиз кожевого вещества) влияния на отмоку не оказывают. Лучшим условием правильного проведения отмоки является пользование холодной, не свыше *t°* 15°, свежей водой при количественном отношении кожи к воде 1 : 3 или 1 : 4. Время нахождения в воде в общей сложности для мокросоленого сырья не должно превышать 2 суток. Сырье обычно промывается около получаса в проточной холодной воде в барабане или гашпиле и закидывается целой партией на ночь или на сутки на холодную воду в железобетонный подпольный чан (размером от 4 до 5 $м^3$ на *т* парного сырья). Этим достигается промывка сырья и обводнение волокон, после чего становится возможным правильное проведение процесса мездрения (снятия нижнего слоя кожи) подкожной клетчатки, состоящей из жировых клеток, мускулов и т. д. Операция эта производится в большинстве случаев на особой машине. Снятая мездра идет на выварку сала и получение мездрового клея. В парном состоянии шкуры волокна кожевой ткани параллельны поверхности кожи, при достаточном высыхании волокон параллельность эта нарушается и не восстанавливается до полного обводнения их, в силу чего недостаточно обводненная кожа не м. б. правильно омездрена, нож будет захватывать и часть кожевой ткани, ослабляя прочность кожи. В нормальном состоянии шкуры кожевая ткань закрыта сверху сетью эпителиальных клеток эпидермиса и снизу слоем жировых клеток, непроницаемых для растворимых белков; вымывание последних может быть произведено лишь после удаления жирового слоя мездрением, для чего после мездрения шкуры вновь забрасываются на сутки опять в такие же чаны на воду. В случаях сильно засушенного сырья употребляются в качестве ускорителей процесса обводнения волокон кожи к-ты и щелочи, являющиеся в то же время и антисептиками; при пользовании теплой водой необходимо сокращать продолжительность отмоки. Влажность размоченного сырья—около 70%. После всех операций отмоки сырье обычно выстилается на козлах, не менее чем на 2 ч. после чего определяют отмочный вес его. Следующая операция—золка, задачей к-рой является разрушение клеток эпидермиса и волосяных сумок (мальпигиева слоя). В целях получения достаточной степени раззола кожи, преследуя одновременно и задачу сохранения шерсти, очень ценной в мостовьевом сырье (в количестве до 1 *кг* сухой мытой шерсти с одной шкуры), при выделке М. употребляют медленную золку, до 8—10 дней чистой известью, без обострителей, с *t°* зольной жидкости до 25° и отношением кожи к жидкости 1 : 3, 1 : 4. Наиболее рациональная система золки—ход из 3 зольников: старого, более свежего и вновь заправленного. Кожи завешиваются в зольник (такой же, как и отмочный чан) или, чаще, просто закидываются на хорошо размешанный раствор. Для равномерности прозола, кожи несколько раз перебирают, причем кожи идут в чан в обратном порядке. Из зольников кожи идут на сгонку волоса—дернение, которое производится на большинстве заводов обычно вручную на наклонных колодах, хотя машины для этой цели имеются; снимаемая шерсть сортируется по цвету и сейчас же идет в мойку и сушку (на мелких заводах до сих пор еще шерсть замораживается и лежит до весны, когда промывается в реках или озерах и сушится на солнце). Одновременно с волосом сходит частично и эпидермис. Для достижения полной очистки лица от эпидермиса, получения равномерного нажора волокон кожевой ткани и частичного гидролиза межклеточного вещества, необходимого для придания коже мягкости, дается еще зольный обжор—2-суточная золка в свежем зольнике, с добавлением кальцинированной соды и *t°* ок. 15°. Далее кожи забрасываются для промывки от извести в чан на воду (обычно на ночь), промываются в барабане и идут на ручную работу, опять на такие же колоды, для подчистки острым ножом краев кожи с мездряной стороны—кантовку и чистку лица (снятие остатка эпидермиса и мелкого волоса—подседа), после чего опять забрасываются в чан на холодную воду. Кожи поднимаются из воды, развешиваются без складок на деревянные козлы или выстилаются на столах и идут на двоение (спиловку), производимую машиной с бесконечно движущимся ножом (см. *Двоение кожи* и *Двоильная машина*). Для успешного проведения двоения необходимо, чтобы волокна ткани были равномерно разбучены (нажраны), в противном случае в коже получаются выхваты и прорези. С этого момента получается два вида продукции: лицевой спилок, дающий мостовье, и мездровый спилок или просто спилок, до последнего времени используемый лишь как подкладочный товар, теперь же с успехом идущий на верх яловой обуви. Количество получаемого спилка зависит от вида и веса кож и колеблется от 15 до 25% от готового веса кожи. Лицевой спилок промывается (в гашпиле, барабане или чанах) в теплой (25—30°) воде и идет на *мягчение* (см.). Эта операция состоит из двух процессов: 1) «обеззоливания», преследующего цель удалить из кожи остатки извести, произвести опадение нажора и создать в коже постепенный переход от сильно щелочного значения при золке $P_н$ (около 12,5) до оптимального для процесса дубления значения (около 5); 2) собственно мягчения.

Достигнутое путем мягчения структурное изменение кожи фиксируется последующим процессом дубления, что дает необходимую для верхнего товара мягкость и пластичность кожи. Благодаря этому своеобразному действию для выделки М. чаще всего процесс мягчения проводится киселями из ржаной и овсяной муки, заваренной горячей водой. Кожи поступают сначала на старый кисель, где была уже одна партия кож, на 8—12 ч. и потом на свежий, сладкий кисель. Об-

щая продолжительность мягчения не превышает суток, при *t°* в 30°. Мягчение проводится в гашпилях или в деревянных чанах, в последнем случае с ручными переборками кож. Между двумя киселями кожи промываются теплой водой и фасонируются вручную на колодах, т. е. из опавшей мягкой кожи выжимаются тупым ножом грязь и разрушенные луковички волоса. Иногда и после второго киселя кожа промывается или только отжимается. Кроме киселей для мягчения М. употребляют оропон и шакпу (см. *Мягчение*). Приготовленная таким обр. к дублению кожа называется гольем. Выход голья (с мездровым спилком) от отмоченного веса шкуры—70—73%; влажность — около 75%. Наиболее употребительным дубителем для М. является ивовая кора или смесь ивовой и еловой (до 50%) коры. Сока из этих кор получают выварокой их в «соковарках», состоящих из батарей от 6 до 12 обычно деревянных диффузоров. Экстракция идет при заливке последних, хвостовых чанов горячей до 70° (редко выше) водой и падении *t°* сока с переходом к более свежим диффузорам. Сока снимают от 2 до 4 *л* на *кг* корья, крепостью до 3,5° Bé и редко до 6—7° Bé. Продолжительность экстрагирования колеблется от 2 до 6 сут. Количество таннидов в соках—от 20 *г* на *л* до 45 *г* и выше, при содержании нетаннидов от 25 до 60 *г*. $P_н$ соков при получении их обычно держится ~4. При экстрагировании начинают применять сульфитирование соков, что повышает выход таннидов и предохраняет их от закисания. Использование таннидов корья при соковарении редко поднимается выше 80%. Процесс дубления, претерпевший наибольшие изменения за последнее время, складывается теперь так: голью дается 2-суточная заличка в гашпилях водой с ивовым корьем (иногда отходящими из сокового хода соками или промывными водами). Здесь голье получает не более 10% от всех вводимых в кожу таннидов. Далее следует 14-чанный (иногда меньше, до 6) соковой ход (обычно из железобетонных подпольных чанов), емкостью из расчета отношения кожи к соку 1:8—1:10. Кожи завешивают на шестах и переносят из чана в чан в направлении к самому крепкому головному раз или два раза в сутки. Сок в свою очередь имеет движение, обратное кожам: раз в сутки около трети или больше последнего, хвостового чана спускается в канализацию (иногда на заличку), и все сока постепенно передавливаются из более крепкого в более слабый чан. В головной чан добавляется более свежий сок из барабанов или из соковарки. Кожи должны в соковом ходу прокраситься насквозь, т. е. должны быть захвачены процессом дубления во всю толщину. Правильность и скорость протекающего процесса дубления прежде всего зависит от подготовки голья; голье с невымытыми растворимыми белками, плохо прозоленное и промягченное, замедляет процесс дубления и дает излишне плотный товар. Самый процесс дубления в основном регулируется: 1) дисперсностью таннидов в дубильных растворах, предопределяемой природой дубителя и методом получения из него соков (*t°*, сульфитирование и пр.); 2) соотношением таннидов и нетаннидов (доброкачественность соков), зависящих от дубителя и способов использования соков; 3) $P_н$ соков, регулируемый нейтрализацией (едкий натр, мел) или буффированием (поваренная соль, сульфит, бисульфит); 4) *t°* соков и крепостью соков, вернее содержанием таннидов на *л* сока. Низкая *t°* выварки соков и сульфитирование их ускоряют процесс дубления; большая кислотность соков вызывает *нажор* (см.) и дает грубый товар (полувалистый); обычно $P_н$ держится в пределах от 4 до 5. Повышение *t°* (до 30—35°) ускоряет процесс, но опасно для малозадубленной кожи. Крепость сокового хода держится обычно от 0,5° до 2—2,5° Bé. Дубление в соковом ходу проходит на 50—90%, при полном прокрасе голья. Из сокового хода кожа поступает в дубной барабан, где додубливается 1—2 суток при крепости соков от 2,5 до 4° Bé. В барабан идут свежие сока из соковарки. После барабанов кожам дают полежать (1—2 сут.)—«созреть», т. е. усилить процесс связывания таннидов с кожевым веществом, промывают сначала в чанах, потом в барабане теплой водой, отжимают на гидравлич. прессе и жируют в жировальных барабанах, лучше смесью ворвани и дегтя (сульфитированная ворвань и другие жиры). Подвяленные кожи разводятся на машинах и сушатся 1—2 сут. при *t°* в 30—35° в вентилируемых сушилках. Высушенные кожи отволаживаются обрызгиванием водой, тянутся на тянульных машинах, и этим заканчивается процесс выделки М. Мездряной спилок выделывается или методом хромового дубления или так же, как и М., проходя ускоренный процесс дубления в барабане или гашпиле. Выход готового товара с мездряным спилком от размоченного сырья колеблется от 36 до 40%. Анализ М. выдубленного таким соково-барабанным методом:

Влаги фактической	16,00%	Гольевого вещества*	47,00%
Золы*	0,50 »	Связанных дубящих	26,00 »
Жира*	7,50 »	Коэфициент продуба	55,0 »
Вымываемых*	3,00 »	Коэф. выхода	210,0 »
Кожевого вещества*	73,00 »		

Прежние методы дубления М. сводились к тому, что танниды не извлекались предварительно из кор, а кожи закладывались в чан и пересыпались корьем, и все это заливалось слабым соком от прежних партий (сыпня). Для полного продубливания кожи таких сыпен надо было дать 4—5, и продолжительность дубления была 3—4 месяца. В целях ускорения этого сыпного метода кожи стали продубливать в сыпнях не полностью, давая только 2—3 короткие сыпни и додубливая их потом в барабанах квебраховым экстрактом. Этот комбинированный (сыпно-барабанный) метод давал возможность свести дубление к 30—40 дням, тогда как соково-барабанный метод дает возможность закончить все дубление в 10—15 дней. Вновь строящиеся заводы для выделки мостовья по описанному соково-барабанному методу рассчитываются на пропускную способность каждым ок. 1 000 кож в день. Здание з-да осуществляется в виде одноэтажной квадратной коробки, где ход процесса производства идет развернутым фронтом (движутся одновременно параллельно все пускаемые в день партии товара). Стоимость строительства мостовьевых заводов на одну годовую кожу с отделкой ее на юфть (выражается в настоящее время в сумме 10 руб. 30 коп.) слагается из стоимости производственного строительства (42%), производственных машин (26%), паросиловой стан-

* В пересчете на кожу с влажностью в 18%.

ции (20%) и прочего оборудования (12%). Площадь пола цехов на одну дневную кожу:

Отмочное отделение	1,03 м²
Зольное »	1,33 »
Мягчильное »	1,50 »
Заличное »	0,80 »
Соковое »	1,65 »
Дубно-барабанное отделение	1,46 »
Сушка и отделка	5,85 »
Всего	13,62 м²

Расход на 1 дневную кожу (без отделки):

Рабочей силы	1,560 чв-ч.	Пара	86 кг
Энергии	8,4 сило-ч.	Воды	1 230 л

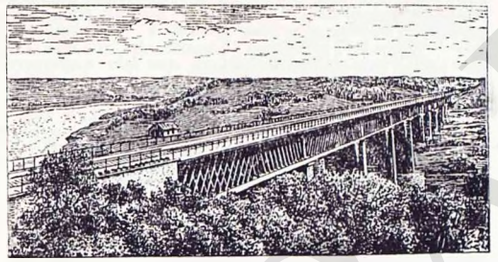
Лит.: см. *Кожевенное производство.* **Ю. Кавказов.**

МОСТЫ, инженерные сооружения, служащие для перехода через водные потоки, овраги, дороги и т. п. М., предназначенные для перехода над дорогой, иногда называются путепроводами, а заменяющие земляную насыпь (напр. на глубоких оврагах или над улицами городов, при проведении ж. д. вдоль них)—*виадуками* (см.) и *эстакадами* (см.). Совокупность всех частей М., за исключением опор, называется пролетным строением. Расстояние в свету (просвет) между устоями в однопролетных М., имеющих только две концевые опоры—устои, и сумма расстояний в свету между всеми опорами в многопролетных М., имеющих кроме устоев еще промежуточные опоры—быки (см. *Опоры мостов*), называется отверстием М.

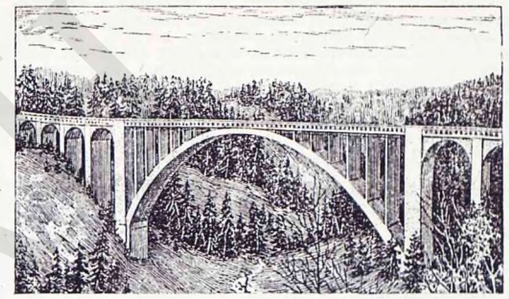
Классификация М. По своему назначению М. разделяются на: 1) железнодорожные; 2) экипажные—под шоссейные и грунтовые дороги, улицы городов и т. п.; 3) пешеходные и 4) акведуки—для проведения воды (водопроводов, каналов). По материалу различают М.: деревянные, металлические (чугунные, стальные), железобетонные и каменные (кирпичные, из бутовой кладки, бетонные). По роду опор и пролетного строения мосты бывают: постоянные (с неподвижными опорами и пролетным строением) и подвижные, в свою очередь подразделяющиеся на разводные, в к-рых подвижной является только часть пролетного строения, и наплавные, в к-рых подвижны как пролетное строение, так и опоры. По расположению езды различают: М. с ездой поверху, ездой понизу и ездой посредине. По роду воздействия на опоры М. делят на балочные, вертикальная нагрузка на к-рые вызывает только вертикальные реакции опор; висячие, в которых воздействие на опоры наклонно и направлено внутрь пролетов; арочные и подкосные, в к-рых воздействие на опоры тоже наклонно, но направлено наружу пролетов. По отношению к перекрываемым пролетам М. бывают: разрезные, имеющие отдельные пролетные строения для каждого пролета; неразрезные—с пролетным строением, продолжающимся непрерывно через два или более пролетов; консольные, пролетное строение к-рых перекрывает полностью один и более пролетов и кроме того имеет свешивающиеся в соседние пролеты части, так называемые консоли, на концы которых опирается соседнее балочное пролетное строение.

История. Начало постройки М. теряется во временах доисторических. Первые М. были наплавные и деревянные. Наплавные М. были построены: Киром персидским (в 538 г. до хр. эры) через Евфрат; Мандроклом из Самоса в 513 году через Босфор и Дунай во время его скифского похода; Ксерксом в 481 году через Геллеспонт (Дарданеллы) на лодках, во время его похода против греков. Сохранившееся описание конструкции последнего моста, длиной около 1 250 м, показывает уже на относительно высокую степень совершенства инженерного искусства в эту эпоху. Древнейший постоянный М., о котором имеются исторические сведения, был деревянный балочный М. на кирпичных опорах через Евфрат в Вавилоне, построенный в 8—7 в. до хр. э. Приблизительно в это же время (конец 7 в.) был построен первый постоянный деревянный М. на свайных опорах через р. Тибр в Риме. Образцами М. императорской эпохи Рима могут служить деревянный свайный М. через Рейн около Бонна длиною около 600 м, построенный Юлием Цезарем в 56 г., и М., построенный Аполлодором из Дамаска, через Дунай у Орсовы в 103 г., арочный деревянный, на каменных опорах, длиной около 1 км. После падения Рима, вплоть до эпохи Возрождения, прогресса в постройке деревянных М. не было почти никакого. В 16 в. итальянский инж. Палладио предложил ряд типов деревянных балочных шпренгельных и подвесных ферм, по конструкции близко напоминающих современные системы. В половине 18 века обращают на себя внимание М. подкосно-балочной системы через Рейн у Шафгаузена постройки плотников-самоучек бр. Грубенман, с пролетами 52 и 59 м, и через р. Лиммат у Веттингена с пролетом 119 м—наибольшим по настоящее время осуществленном в деревянном М. Однако решительный поворот в деле постройки деревянных М. наступил только с появлением балочных систем мостов, созданных в Америке. В первой половине 19 в. таких систем было предложено множество, но из них только две—Тауна (1820 г.), послужившая впоследствии прототипом металлических многорешетчатых ферм, и Гау (1835 г.)—завоевали себе прочное положение. Они быстро проникли в Европу, в частности в Россию, где фермы Гау в улучшенном инж. Журавским виде получили широкое применение на строившейся в 40-х гг. 19 в. Московско-Петербургской (ныне Октябрьской) ж. д. [многопролетные неразрезные М. через р. Мсту 9×61 м (фиг. 1), Веребьинский овраг и мн. др.]. Во второй половине 19 в. деревянные М. были однако вытеснены железными, вследствие чего развитие первых приостановилось. Лишь в последние годы, гл. обр. после войны 1914—18 гг., замечается некоторое оживление в этой области, преимущественно в странах бедных металлом.

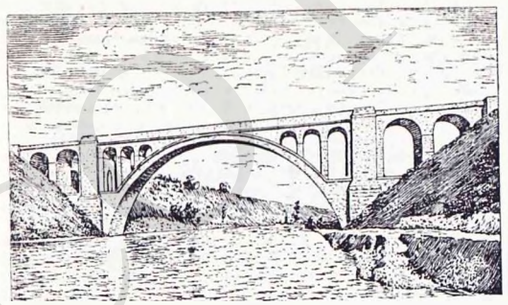
Первые каменные мосты, как и деревянные, устраивались балочными, но по самому свойству материала каменной плитой можно перекрыть только сравнительно небольшие пролеты. Для персидских М. позднейшей постройки, сохранившихся до нашего времени, типичными являются стрельчатые своды, что обусловливалось необходимостью, вследствие недостатка дерева, по возможности ограничивать применение кружал; по этой же причине пролеты персидских мостов не превосходили 30 м. Характерными чертами римских М. являются полуциркульные своды и весьма значительная толщина опор. Своды часто устраивались насухо, с точной притеской камней. Для избежания устройства опор со сложными основаниями на больших реках заметна тенденция к увеличению пролетов (однако не свыше 34 м). Сохранившиеся мосты эпохи Римской империи и их остатки рассеяны по всему ее пространству—от Испании и Франции до Малой Азии, Сирии и Африки. Число их весьма велико. Через один только Тибр в Риме и его окрестностях было построено 8 мостов и 14 акведуков. Из замечательных сооружений этой эпохи можно назвать трехъярусный Нимский акведук с пролетом до 24,5 м, высотой 49 м и длиной 260 м (50 г.); двухъярусный Сеговийский акведук (Испания) длиной 1 600 м, высотой 34 м (98 год), Антиохийский акведук (Сирия) длиной 6 700 м и высотой 62 м, и мн. др. После распадения Римской империи в строительстве М. наступает застой; новые М., в особенности более значительные, насчитываются только единицами. Некоторое оживление в постройке М. наступило в 12 в., после образования общества (впоследствии монашеского ордена) «Мостовых братчиков», построивших ряд замечательных М.: через Рону в Авиньоне (1177—85 гг.) в 18 пролетов по 33 м, перекрытых эллиптич. сводами (сохранилось 4 пролета), и через р. Дунай в Регенсбурге (1135—45 гг.). Стремление уменьшить крутизну въездов на мост при сохранении больших пролетов вызывало переход от римской полуциркульной арки к пологим и коробовым сводам, что приписывается тем же мостовым братчикам. Из М. этой группы обращает на себя внимание М. через р. Адду в Трецко, с пологой аркой (1 : 3,5) пролетом в 72 м (1377 г.),



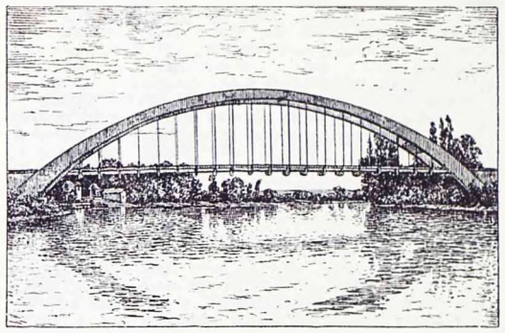
Фиг. 1.



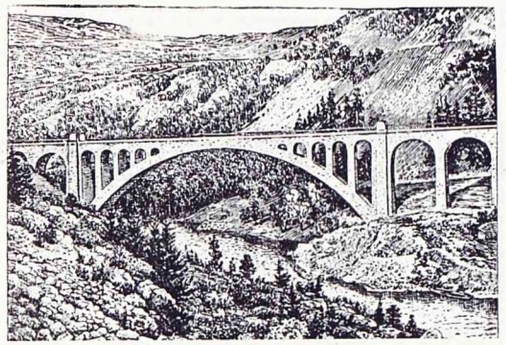
Фиг. 4.



Фиг. 2.

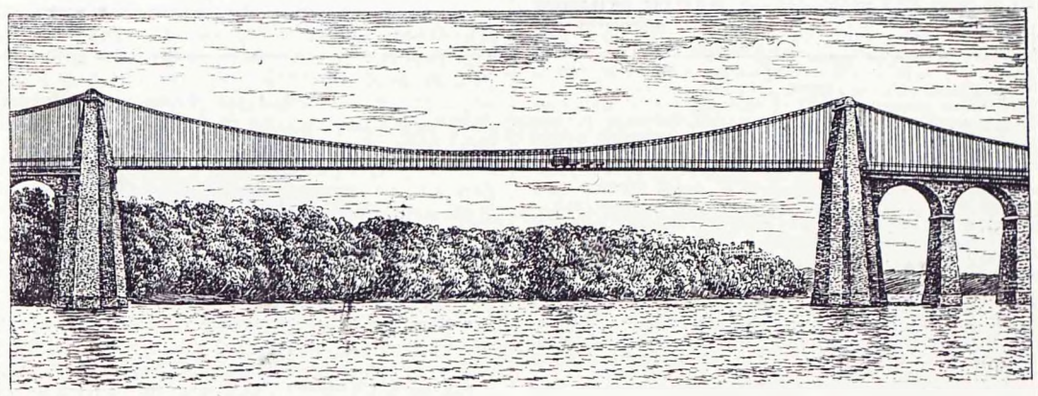


Фиг. 5.



Фиг. 3.

Фиг. 6.



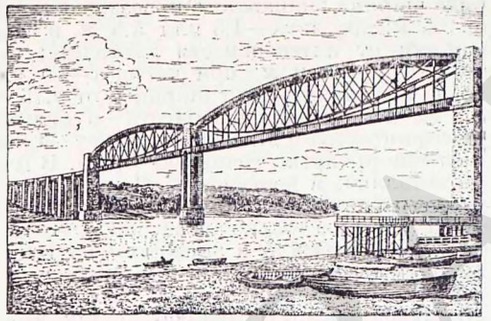
Фиг. 7.

превзойденным только в самое последнее время. В следующую эпоху, несмотря на отдельные улучшения в деле постройки каменных М., конструкция их в целом остается неизменной вплоть до 18 в. С начала этого века Франция первая начинает теоретич. изучение вопросов строительного искусства. Казавшиеся неразрешимыми вопросы о толщине сводов, опор М. и т. п. получают надлежащее освещение, и усовершенствования в постройке М. быстро принимают размеры, о к-рых раньше нельзя было и мечтать. Ряд М., построенных в эту эпоху по проектам знаменитого франц. инженера Перроне, в которых подъем доведен до $^1/_{12}$ и даже до $^1/_{11}$, а отношение толщины быков к пролету до $^1/_7$—$^1/_{10}$ вместо прежних $^1/_4$—$^1/_3$ и даже $^1/_2$, ярко рисует достигнутые успехи. Таков например, считавшийся в свое время образцовым, мост через Сену в Нейльи (1768—74 гг.) с 5 коробовыми сводами по 39 м, с подъемом $^1/_4$ и толщиной быков 1:9,2. Девятнадцатый век, несмотря на развитие мостостроения в связи гл. обр. с постройкой ж. д., в области постройки каменных М. дал мало нового. Лишь в конце 19 в. в связи с деятельностью знаменитого франц. инженера Сежурне начинается новый расцвет каменного мостостроения. Период этот, продолжающийся и по настоящее время, уже дал такие замечательные М., как например мост Лавор через р. Агу (Франция) пролетом 62 м (1884 г., фиг. 2). Школе Сежурне принадлежит М. через р. Изонцо возле Салькано (Италия), пролетом 85 м (1904 г., фиг. 3). В самые последние годы, в связи с нек-рыми новыми приемами постройки больших сводов, введенными французским инженером Фрейсине, удалось значительно увеличить предельную величину пролета каменного свода, и сейчас уже имеется осуществленный свод пролетом в 98 м в М. через р. Ло в Виленеве (Франция, 1919 г.).

Параллельно прогрессу каменного мостостроения шло развитие другой отрасли массивного мостового строительства—ж е л е з о б е т о н н о г о. Хотя последнее насчитывает едва 40 лет, успехи его весьма значительны. Если в области балочных М. успехи железобетона не столь эффектны, то арочные железобетонные М. как по величине пролетов, так и общей грандиозности сооружений быстро догнали каменные М. Уже в 1908 г. был построен Гмюндертобельский виадук (Швейцария) пролетом 79 м (фиг. 4), в 1910 г.—Ауклендский М. (Новая Зеландия) пролетом 97,5 м, а в 1911 г.—мост Возрождения через Тибр в Риме пролетом 100 м, чем железобетонные М. перешагнули через предел, достигнутый к тому времени каменными М.; в настоящее время наибольшие пролеты железобетонных М. уже достигли 132 м в М. через Сену у С.-Пьер дю Воврей (1923 г., фиг. 5) и в М. у Бреста пролетом 180 м.

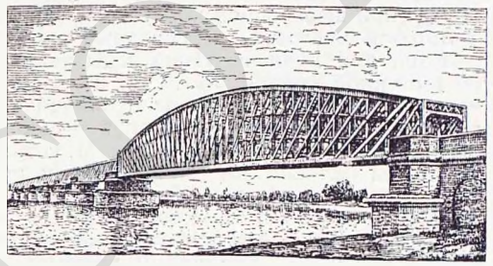
Первым ж е л е з н ы м М. (если не считать китайских, древность к-рых по нек-рым данным восходит к 1-му в. до хр. э. и даже еще раньше, по другим же лишь к 17 в.) был переходный висячий цепной М. через р. Тиз в Англии (1741 г.). С начала 19 в. началось быстрое развитие постройки висячих М. Техника этого дела скоро настолько усовершенствовалась, что уже в 1826 г. известным строителем Тельфордом мог быть построен цепной М. пролетом 177 м через Менийский морской пролив в Англии (фиг. 7). В 1840 г. был построен М. через Дунай в Будапеште пролетом 200 м и в 1865 г. Клифтонский М. через р. Авон возле Бристоля (Англия) пролетом 214 м, долгое время бывший рекордным для цепных М. и лишь в первые годы 20 в. превзойденный новым М. в Будапеште через реку Дунай пролетом 316 м (фиг. 6). Постройка висячих М. с проволочными канатами началась с 1815 г., но уже в 30-х гг. пролеты проволочных висячих М. дают цифру 308 м (М. через Огайо), а ниагарские М. имеют пролеты 317 м (1850 г.) и 385 м (1869 г.); в 1870—76 гг. пролеты достигают 486 м (в Бруклинском М. через Ист-Ривер, Нью Йорк)—величины, только в 1903 г. превзойденной Вильямсбургским М. (пролет 488 м) в том же Нью Йорке. В настоящее время первое место принадлежит законченному в 1926 г. М. через р. Делавар в Филадельфии (США) с наибольшим в мире пролетом 533 м (проект инж. Моисеева) и строящийся М. через Гудзон пролетом 1027 м. В Европе наибольший пролет (310 м) имеет М. через р. Рейн у Кельна. Наиболее широкое применение получил металл в области балочных М. Период искательства в этой области (1825—60 гг.) отмечен появлением ряда таких оригинальных форм, как сплошные трубчатые стенки Трентского моста инж. Фоулера (1849 г.), сплошная полая железная труба четырехпролетного неразрезного моста «Британия» через Менийский пролив с наибольшими пролетами 140 м (1844—50 гг.) Р. Стефенсона-сына и соединение арки с цепью в ферме Сальташского моста через Тамар пролетом 139 м Брюнеля, с общим для обеих ферм верхним поясом (1854 г., фиг. 8). Однако все эти формы оказались нежизненными. Будущее имели: простая треугольная решетка, осуществленная впервые французом Невиллем (1845 г.), многорешетчатые М., родоначальником которых является мост Бертона через Бойну Дрогеды возле Дублина (Ирландия) пролетом 43 м (1845 г.) и американские раскосные формы Уиппля-Мёрфи (50-е гг.), быстро распространившиеся в Европе и уже в 1863 г. достигшие в М. через Лек у Квиленбурга (Голландия) пролета 154 м (фиг. 9). Стремление избегнуть нек-рых недостатков неразрезных ферм, сохранив их экономические преимущества, привело к применению консольных ферм, предложенных нем. инженером Гербером в 1866 г. В 1882—89 гг. этими фермами перекрыт в знаменитом Фортском М. рекордный пролет в 521 м (фиг. 10), а в 1917 г. этот рекорд был даже несколько превзойден в однотипном квебекском М. через р. Св. Лаврентия в Канаде (549 м, фиг. 11). Теоретико-расчетный подход к мостовой ферме, расцвет к-рого начинается с 80-х гг., привел к постепенному упрощению решетки и широкому распространению треугольных и шпренгельных систем, впервые появившихся в Америке и перешедших в Европу в 1896 году (мост через Енисей, проект Проскурикова). Первым металлическим арочным М. был чугунный М. через реку Северн (Англия) пролетом 32 м (1776 год). После ряда улучшений и усовершенствований, введенных в конструкцию арок последующими строителями, уже в 1814 г. в Саутверском М. через Темзу в Лондоне известным строителем Ренни осуществлен наибольший до сего времени пролет чугунного арочного моста, а именно 73 м (фиг. 12). До 50-х гг. 19 в. чугун безраздельно господствовал в области арочных М. как под обыкновенную, так и под железную дорогу. С этого времени его и здесь начинает вытеснять железо, в особенности в ж.-д. мостах, и окончательно чугун уступает место железу в 70—80-х гг., в период расцвета постройки больших арочных М.: серповидные двушарнирные арки Эйфеля; мост в Опорто (Португалия) пролетом 160 м, виадук Гараби (Франция) пролетом 165 м (1887 г., фиг. 13). В 1900 г. появилась первая арка с затяжкой (М. через Рейн в Вормсе), что позволило применять арку повсеместно и как безраспорную систему. В настоящее время пролеты арочных М. достигли: 256 м в Клифтонском М. через Ниагарский водопад (1901 год, фиг. 14), 298 м в недавно законченном (1917 год) Хелльгетском М. через Ист-Ривер в Нью Йорке (проект Линденталя) и рекордной цифры 503 м—в строящемся М. через гавань в Сиднее (Австралия).

Выбор места перехода. Важнейшим вопросом при проектировании М. является выбор места перехода. При пересечении малых рек вопрос этот решается просто: дорога, в особенности железная, а также улицы городов пересекают реку, не изменяя своего направления, река же затем, путем устройства искусственного русла и других регуляционных работ, направляется под М.; такое решение и технически и экономически в значительном большинстве случаев наиболее правильно. Пересечение большой реки городским М. представляет наибольшие трудности с точки зрения одновременного удовлетворения требованиям движения по М. и судоходства, гидравлич. факторам и наконец эстетики. Удобство движения по М., обычно очень интенсивного, требует обязательного устройства прямого съезда, который по возможности вдвигают в пойму в виде насыпи или эстакады. Если мост примыкает непосредственно к набережной, съезд этот располагают вдоль улицы по продолжению М., а поперечные съезды—вдоль набережных, иногда в подпорных стенках. Для сокращения длины съездов и упрощения их устройства и для возможности вместе с тем дать М. достаточное возвышение для пропуска судов, городские М. обычно устраивают с подъемом. Все эти трудности вынуждают иногда выносить мост на окраину, куда город обычно быстро подтягивается. Место пересечения большой реки ж.-д. М., а также мостом для экипажной езды вне городов, выбирается наиболее выгодное с точки зрения гидрологической, геологической и

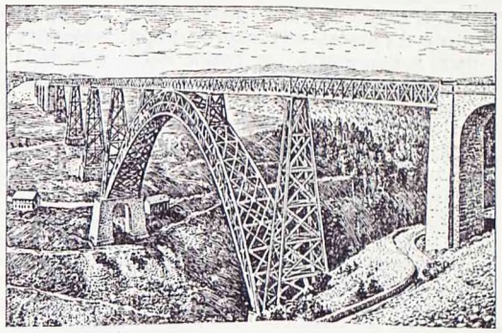


Фиг. 8.

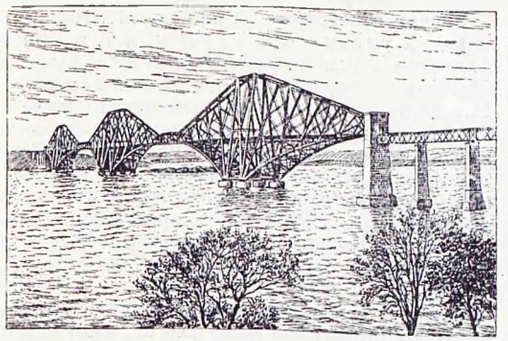
Фиг. 12.



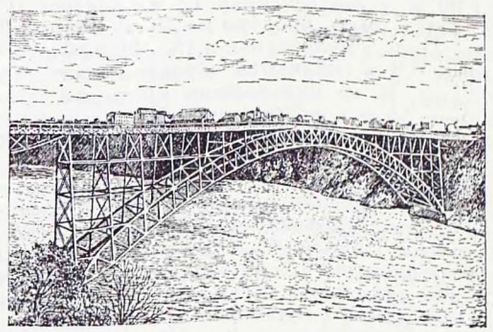
Фиг. 9.



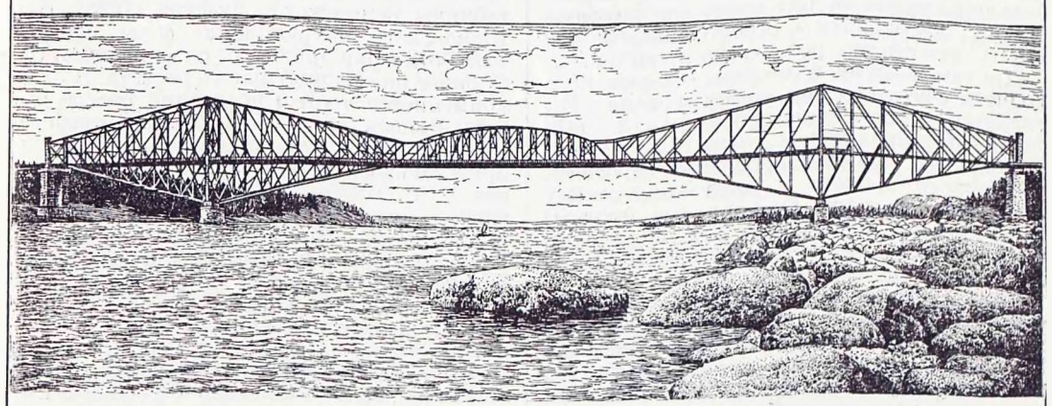
Фиг. 13.



Фиг. 10.



Фиг. 14.



Фиг. 11.

судоходной: по возможности на прямом участке реки в месте с устойчивым руслом и направлением течения, нормальным к линии перехода как в межень, так и в высокую воду, чему удовлетворяют обычно пересечения в плёсах; ширина пойм по линии перехода д. б. по возможности меньшей; скорости течения не должны препятствовать судоходству; судовой ход вблизи моста должен быть прямолинейным, а геологич. условия должны обеспечивать от возможности сплывов, оползней и давать возможность закладки опор на приемлемых (технически и экономически) глубинах.

Очень серьезно влияют на условия проектирования М. требования судоходства в отношении величины пролетов и возвышения низа ферм над горизонтом воды. С судоходной точки зрения реки СССР распределяются на шесть категорий, характеристика к-рых в основном сводится к следующему. Реки 1-й категории имеют половодье свыше 30 дней, глубину в низкую воду ок. 1,4 *м*; по ним производятся перевозки к портам, станциям, важнейшим промышленным центрам; мосты на таких реках должны иметь не менее двух пролетов по 130 *м*, с возвышением низа ферм над горизонтом высокой воды 14 *м* (эта цифра может быть уменьшена до 12 *м* там, где не ходят 3-этажные пароходы); остальные пролеты по 60 *м*, с возвышением 5,5 *м*. Реки 2-й категории имеют половодье не меньше 30 дней, наименьшую глубину 0,9 *м* и являются транзитными путями; М. на них должны иметь два пролета по 80 *м*, с возвышением 10 *м* (деревянные М. могут иметь пролеты по 50 *м*). Реки 3-й категории, с половодьем в 15—30 дней, глубиной 0,9 *м*, являются важными местными путями; М. на них должны иметь два пролета по 50 *м*, с возвышением 8,5 *м*; деревянные М.—30 *м*, с возвышением 7 *м*. Реки 4-й категории преимущественно сплавные; М. имеют два пролета по 30 *м* (деревянные—по 20 *м*), с возвышением 4 *м*. Реки 5-й категории—не судоходные; сплав—на плотах; М. имеют 1 пролет 20 *м* (деревянные—12 *м*) с возвышением 2,5 *м*. Реки 6-й категории служат для сплава только россыпью; мосты на них имеют 1 пролет 10 *м* (деревянные—6 *м*), с возвышением 1 *м*. На всех реках, за исключением рек 1-й категории, в случае большой трудности дать мосту необходимую высоту, допускается с особого разрешения НКПС устройство разводных пролетов.

Другим важным фактором, с к-рым приходится считаться при проектировании М., является недавно проведенная в СССР стандартизация пролетов М., пока только ж.-д., и основных размеров пролетных строений: рассчетного пролета и расстояния между главными фермами. Стандартные пролеты изменяются в пределах от 2 до 20 *м* через каждые 2 *м*, далее следуют пролеты 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100, 150 и 200 *м*.

Ширина М. под ж. д. определяется *габаритом* (см.) приближения строений к пути, а также условиями устойчивости и жесткости М. в поперечном направлении. Ширина М. под экипажную езду в СССР с 1927 г., так же как и в ряде европейских стран и в Америке, стандартизована. Мосты различаются по числу рядов езды на них; при одном ряде ширина экипажного проезда составляет 3,5 *м*; при двух—4,5 или 5,5 *м*, в зависимости от интенсивности движения; при трех—7,5 или 9 *м*; при четырех—10 или 12 *м*. Тротуары делают шириной от 0,75 до 1,5 *м*, а в случае надобности—и больше. Высота проезда в М. сездой понизу—4,5 *м*; в случае пропуска трамваев—5,5 *м*. В плане металлич. и деревянные М. по возможности располагают на прямой; на кривой М. устраивают только тогда, когда это технически неизбежно и экономически выгодно. Отдельные пролеты в этом случае располагают по хордам, а ж.-д. путь на М.—по кривой, которую располагают так, чтобы необходимое уширение М. было наименьшим. М. под экипажную езду, как уже указано, устраиваются с подъемами к середине М. Уклоны въездов на М. зависят от типа одежды полотна и колеблются в пределах от $^1/_{30}$ (при щебеночной коре) до $^1/_{10}$ (при асфальтовой мостовой). Поперечный профиль полотна для лучшего стока воды делается по выпуклой кривой. Ж.-д. М. по возможности располагают на горизонтальной площадке; в случае же технической необходимости, напр. на горных дорогах, М. устраивают и на уклонах, иногда даже очень крутых. В СССР такое устройство допущено с недавнего времени. Железобетонные и каменные М. могут без затруднений устраиваться на любых уклонах и кривых; это является одним из крупных преимуществ этих мостов.

Расчет отверстия. Отверстие М., перекрывающих улицу, дорогу, канал и т. п., определяется наименьшей шириной, к-рую необходимо оставить свободной для движения; М., перекрывающие водный поток, изменяют его режим (скорость течения, направление), создают подпор, повышая горизонт потока; определение условий безопасного пропуска потока через отверстие М. достигается его расчетом. Наибольшее количество воды, могущей притекать к отверстию М., м. б. определено двумя способами: а) по эмпирич. формулам и таблицам, дающим непосредственно в зависимости от площади бассейна наибольший расход воды для М., иногда площадь живого сечения потока под мостом или прямо величину отверстия моста; таковы таблицы Белинского, Дюфура (1922), ф-ла Ишковского, американские ф-лы Мейерса, Тальбота и ряд других; б) по формулам, требующим последовательного расчета. В СССР применяется только последний способ расчета, причем М. и трубы малых отверстий рассчитываются на пропуск наибольшего притекающего к ним количества ливневых вод, а М. большого отверстия—на пропуск наибольшего расхода весенних снеговых вод.

1. М. и трубы малого отверстия. Наибольший возможный расход воды малых сооружений на дорогах СССР определяется по эмпирической формуле $Q = C \cdot \alpha \cdot F$, предложенной австрийским инженером Кёстлиным в 1868 г. и принятой в России в 1884 г. Здесь Q—количество притекающей к мосту воды в *м³/сек*, F—площадь бассейна в *км²*, C—число, выражающее количество воды в *м³/сек*, притекающей с одного квадратного километра при коэфициенте $\alpha = 1$; α—коэфициент, зависящий от длины бассейна L и его продольного уклона i. Величина C до 1928 года принималась, вообще говоря, для всего пространства СССР одинаковой и равной 16 *м³/сек*; лишь в нек-рых случаях для отдельных дорог вводились иногда поправочные коэф-ты (от $^1/_3$ до 2). В 1928 г. НКПС изданы новые нормы, согласно которым C является переменным и определяется по специальной карте изолиний. Величина его колеблется в пределах от 6 до 24 *м³/сек* (для Кавказа даже 32 *м³/сек*). Величина коэфициента α определяется по таблицам, а величины L, i и F — непосредственным измерением. Применение указанной формулы ограничивается бассейнами, имеющими площадь не более $4C$ *км²*; если же C менее 15, то—бассейнами площадью не свыше 60 *км²*. В зависимости от местных условий почвы и растительного покрова допускается или уменьшение расчетной величины Q до 50% или предписывается увеличение ее до 30%. В случае расположения выше по тальвегу потока плотины, к определенному выше расходу добавляется расход Q_1 на случай возможного прорыва плотины, определяемый по следующей ф-ле:

$$Q_1 = c \cdot \omega \sqrt{R\frac{h}{l}},$$

где ω—площадь (в *м²*) живого сечения прорыва, возможная величина к-рого определяется на месте, R—подводный радиус (в *м*) в месте прорыва, h—подпор (в *м*) плотины, l—расстояние (в *м*) от плотины до М., c—коэфициент, характеризующий сопротивление русла протеканию по нему воды и определяемый по одной из существующих для этого эмпирич. ф-л (Базена или Гангилье-Куттера). По найденному расходу Q, непосредственно измеренным в натуре—площади ω поперечного сечения русла водотока на месте перехода и уклону тальвега i перед М. на протяжении 150—200 *м*—и по рассчитанной по ф-ле Шези $v = c\sqrt{R \cdot i}$ бытовой скорости v нестесненного водного потока (R—подводный радиус, равный $\frac{\omega}{p}$, где p—смачиваемый периметр)—ощупью, путем последовательных приближений подбирают наивысший горизонт воды нестесненного потока перед М.

Экономические соображения заставляют назначать отверстия сооружений меньшими, чем они требуются шириной нестесненного потока. Такое стеснение потока создает у сооружения подпор и увеличивает скорость протекания воды через его отверстие. Подпор не должен вызывать недопустимого затопления окружающей местности, а увеличение скорости воды—опасные размывы русла. Отверстие b открытого мостика или трубы, работающей без напора, определяется по следующим ф-лам:

$$b = \frac{Q \cdot g}{\mu \cdot v^2}; \quad \eta = \frac{v^2}{g}; \quad y = 1{,}5\,\eta - k.$$

Здесь g—ускорение силы тяжести, 9,81 *м/сек²*; v—средняя скорость в отверстии сооружения ($v = 0{,}15 \div 6{,}60$ *м/сек* в зависимости от рода грунта русла или типа его укрепления); μ—коэф-т расхода, зависящий от формы и конструкции входных частей сооружения ($\mu = 0{,}75 \div 0{,}90$); η — глубина потока в отверстии сооружения в *м*; y—глубина потока перед входом в сооружение в *м*; $k = \frac{v_0^2}{2g}$ — высота, соответствующая скорости v_0 подхода воды к сооружению. Подпор перед сооружением определяют из ф-лы (в *м*):

$$z = y - a,$$

где a—наибольшая бытовая глубина нестесненного потока в *м*. Вычисленное отверстие признается приемлемым, если величины v и z не превосходят допускаемых пределов. Кроме того д. б. соблюдены установленные нормы возвышения подпорного горизонта относительно бровки насыпи, низа ферм М. и пят сводов в трубах, а также предельного заполнения сечения труб. Отверстия труб круглого сечения, работающих под напором, рассчитываются по ф-ле:

$$h = \left(1{,}5 + 0{,}02\,\frac{l}{d}\right) \cdot \frac{v^2}{2g},$$

где h — высота напора над центром выходного отверстия трубы в *м*, l—длина трубы в *м*, d—диаметр трубы в *м*, v—допускаемая скорость в выходном конце трубы в *м/сек*. Величина h д. б. рассчитана из условий: а) обеспечения скопления перед трубой воды за 2-часовую продолжительность ливня, дающего максимальный расход потока, до горизонта, не превышающего h; б) непревышения в выходном русле заданной скорости; в) затопления окружающей местности не свыше назначенных пределов; г) недостижения горизонтом скопившейся воды установленных норм до бровки насыпи.

2. М. большого отверстия. Наиболее сложную и ответственную часть общей задачи расчета отверстия большого М. представляет установление наибольшего расхода реки. Применяемые для этого средства можно распределить на 3 группы. а) Формулы и таблицы, дающие непосредственно наибольший расход реки или же площадь живого сечения под М.,—это упомянутые выше ф-лы Ишковского, таблицы Белинского, Дюфура и т. п.; все они б. или м. справедливы для тех районов и условий, для к-рых они выведены, но в общем могут служить лишь для предварительных подсчетов. К этой же группе относится получивший в последнее время в СССР популярность предложенный инж. Каншиным расчет по так наз. способу гидравлических эквивалентов. б) Ф-лы, построенные на установленной опытом зависимости между расходом Q и соответствующим ему горизонтом h воды в реке. Эта зависимость выражается обычно ф-лой параболического вида:

$$Q \cdot p = (h - b)^2$$

или более сложной:

$$Q = a + bh + ch^2.$$

Численные коэф-ты a, b, c и p определяются из непосредственных измерений расхода на месте (о способах измерения—см. *Гидрометрия*). Точность этих формул зависит от точности определения входящих в них постоянных коэф-тов, для чего необходимо измерение возможно большего числа расходов реки при различных горизонтах, в том числе обя-

зательно при горизонтах, близких к наивысшему. Численная величина коэф-тов вычисляется из данных наблюдений по методу наименьших квадратов. Наибольший расход определяется по приведенным формулам путем подстановки в них значений коэфициентов и наивысшего наблюденного когда-либо (так наз. «исторического») горизонта воды в реке; этот метод в настоящее время признается наиболее точным, и применение его для больших рек считается обязательным. в) Третья группа ф-л имеет целью определение средней скорости течения воды в реке; зная эту скорость, можно умножением ее на измеренную в натуре площадь поперечного сечения реки определить расход воды в последней. Средняя скорость при наивысшем историч. горизонте определяется по приводившейся выше ф-ле Шези: $v = c\sqrt{Ri}$. Величины R и i определяются непосредственным измерением на месте, причем для последнего по данным наблюдений устанавливается закон изменения уклона в зависимости от горизонта воды в реке. Наибольшую трудность представляет определение коэф-та c—сопротивления русла движению воды. Формул для этого предложено множество: таковы напр. ф-лы Маннинга, Гангилье и Куттера, Базена, Сидека, Германека, Матакевича, универсальная формула Биля и ряд других. Наилучшими и наиболее оправданными практикой в настоящее время являются:
ф-ла Базена

$$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

и ф-ла Гангилье-Куттера

$$c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right)\cdot\frac{n}{\sqrt{R}}}.$$

Величины γ и n (коэф-ты шероховатости русла) определяются по специальным таблицам; в зависимости от степени гладкости стенок русла, правильности его, чистоты и т. п. они берутся: $\gamma = 0{,}06 \div 1{,}75$ и $n = 0{,}010 \div 0{,}050$. Для возможно более точного определения γ и n величины их вычисляются по данным непосредственных измерений на месте, по возможности при нескольких горизонтах. Описанный способ определения наибольшего расхода для больших рек применяется только в виде исключения, когда для применения второго метода нехватает данных от наблюдений и нет времени эти данные пополнить. Для рек средних и малых применение его обычно.

Задача определения отверстия М. сводится к установлению такого минимального отверстия, к-рое, с одной стороны, потребовало бы минимум затрат на постройку самого сооружения, а с другой—беспрепятственно пропускало бы максимальный расход реки, не вызывая ни чрезмерных поверхностных скоростей, препятствующих судоходству (нормально 1,5 и как предел 2,00 *м/сек*), ни чрезмерных скоростей по дну, могущих вызвать опасный размыв дна, ни величины подпора, могущей вызвать чрезмерное затопление окружающей местности. Отверстие М. определяется из уравнения $Q = \mu \cdot v \cdot \omega$, где Q—наибольший расход и v—средняя скорость в отверстии моста, μ—коэфициент расхода (от 0,75 до 0,90), зависящий от формы речных быков и величины пролетов моста, и ω—необходимая площадь живого сечения под М. Так как величины ω и v являются неизвестными, зависящими друг от друга, то решение уравнения производят методом последовательных приближений; обычно задаются размерами отверстия и проверяют допустимость получающихся скоростей, подпора и размывов. Размеры отверстия моста могут назначаться в предположении: а) размыв дна русла недопустим и б) размыв этот допустим. Первый случай может иметь место, когда грунт русла водотока настолько прочен, что размыв невозможен, или когда опоры сооружения не имеют глубоких оснований. В отсутствии размыва предел уменьшения живого сечения определяется величиной получающихся скоростей и подпора. Второй случай имеет место обычно при слабых, легко размываемых грунтах русла. Глубина размыва назначается, с одной стороны, из расчета не слишком глубокого и потому неэкономного заложения опор, которые в этом случае, вообще говоря, устраиваются на дорогих искусственных основаниях (кессоны, опускные колодцы), а с другой—такая, чтобы подпор перед М. не вызывал до образования размыва чрезмерных скоростей. Расчет в этом случае основан на предположении, что размыв будет продолжаться до тех пор, пока средняя бытовая скорость потока после размыва не сравняется со скоростью в нестесненном потоке, и на том, что величина размыва пропорциональна глубине. Предел стеснения реки М. ограничивается здесь величиной допускаемого размыва, к-рая, во избежание чрезмерного искажения режима реки вследствие постройки М., обычно не д. б. более 50—60% первоначальной глубины реки; на судоходных реках предел этот снижается до 30%. Для уменьшения размыва грунт под М. также на некотором протяжении выше и ниже его обычно срезается до горизонта межени.

Выбор системы М. Система М. в первую очередь зависит от его материала, выбор которого определяется назначением М., величиной перекрываемых пролетов, местными условиями (высоты М., свойства грунта и пр.), эстетич. требованиями и общей экономичностью сооружения. Дерево лучше всего сопротивляется изгибу, затем сжатию и хуже всего растяжению. Этим определяются наивыгоднейшие формы деревянных М.—простые балочные, подкосные, отчасти подкосно-арочные системы. Деревянные балочные М. со сквозными фермами больших пролетов применяются на ж. д. гл. обр. как временные; на обыкновенных дорогах они, в силу необходимости, при недостатке более подходящих материалов, еще довольно широко распространены. Практически предельная величина их пролета определяется конструктивной возможностью создания хорошего узла; выше 40 *м* это уже затруднительно. Камень и бетон хорошо сопротивляются только сжатию; этим всецело определяется свойственная им область применения

в арочных М. До недавнего сравнительно времени тормозом к увеличению пролета каменных М. служило в сущности неуменье рассчитывать своды. До конца 19 в. всякий б. или м. значительный каменный М. был подлинным произведением искусства и таланта его строителя. Только с введением в расчет представления о своде как об упругом теле и с введением новых приемов постройки больших сводов предельный пролет свода ограничивается теоретически—прочным сопротивлением камня раздроблению, а практически—стоимостью кружал и подмостей, непомерно растущей с увеличением пролета свода, а также возможностью устройства не очень сложных фундаментов опор. Область применения железобетона, благодаря его способности сопротивляться кроме сжатия также изгибу и отчасти растяжению, охватывает кроме арочных также балочные мосты, правда, практически в массе только малых пролетов. Главной сферой применения железобетона остаются арки и своды, в к-рых благодаря его специфич. особенностям м. б. осуществлены конструкции, недоступные для камня и бетона (напр. арка с затяжкой), и созданы совершенно новые, свойственные только железобетону формы (напр. коробчатые своды). Наибольшую область применения имеет железо (сталь), одинаково хорошо сопротивляющееся как сжатию, так и изгибу. Только железу свойственна такая форма, как висячие М., и только оно позволило во всех типах М. осуществить наибольшие пролеты.

Балочные системы имеют то серьезное преимущество перед распорными (арочными и висячими), что они жестки сами по себе, независимо от опор, что напр. для ж.-д. М. имеет важное значение, на зато балочные системы всегда несколько тяжелее распорных. Из балочных систем разрезная балка тяжелее всех других, но работа ее наиболее определенна, она проще других и лучше всего приспособлена к восприятию тяжелой ж.-д. нагрузки. Неразрезные балки легче разрезных, требуют менее толстых опор, не имеют неизбежного в разрезных балках резкого перегиба линии прогиба на опоре, что вызывает удары при проходе колес, особенно резко сказывающиеся на ж.-д. М.; но неразрезные балки весьма чувствительны к влиянию $t°$ и к осадкам опор, почему требуют хорошего грунта в основании. Консольные М. легче разрезных, требуют менее толстых опор, но имеют перегиб линии прогиба в шарнирах, особенно вредный, т. к. он имеет место в пролете; консолям в металлических М. трудно придать нужную жесткость, столь необходимую в ж.-д. М. Недостатки эти уменьшаются с увеличением пролета, почему при больших пролетах консольные М. рациональны и для железных дорог. Жесткость распорных систем зависит от неизменяемости расстояния между точками их опоры; отсюда ясна вся важность действительного осуществления этой неизменяемости. Наиболее жесткими и следовательно наиболее пригодными для ж.-д. М. являются бесшарнирные арки; но зато они наиболее чувствительны к осадкам опор и изменению $t°$, что при таком материале, как металл, может иногда сделать их невыгодными; настоящая область их применения—каменные и железобетонные М. Двухшарнирные арки тяжелее бесшарнирных, но менее чувствительны к осадкам опор и колебаниям t; чаще всего двухшарнирные арки устраивают металлическими. Трехшарнирные арки—наиболее тяжелые и имеют перегиб линии прогиба в среднем шарнире—недостаток, отсутствующий в двух предыдущих системах; поэтому трехшарнирные арки являются нерациональными для ж.-д. М; зато они совершенно нечувствительны к осадкам опор и воздействиям $t°$. В М. под обыкновенную дорогу, где недостатки трехшарнирных арок менее существенны, они применяются широко. Висячие М. наиболее экономичны, так как металл в главных элементах ферм, а в вантовых фермах даже во всех элементах, работает наиболее выгодно—только на растяжение. Но зато они наименее жестки, что делает их для ж. д. непригодными. Типичная область их применения—городские М. больших пролетов. Комбинированные системы, вообще говоря, всегда тяжелее простых. В большинстве случаев появление их объясняется эстетическими соображениями, почему они и применяются гл. обр. в городских М., но в ряде случаев существование их оправдывается и технически, как напр.—арка с затяжкой, цепь с балкой (современный тип громадного большинства висячих М.) и нек-рые другие.

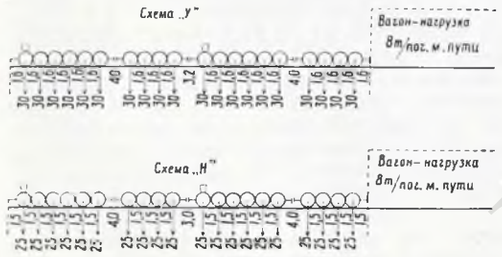
Лит.: Николаи Л., Мосты, вып. 1, СПБ, 1901; его же, Краткие историч. данные о развитии мостового дела в России, СПБ, 1893; Черепашинский М., Очерк истории мостов, ч. 1, деревянные и каменные мосты, М., 1898; Стрелецкий И., Ж.-д. мост за сто лет, «Труды Научно-техн. комитета НКПС», М., 1925, вып. 20; его же, Курс мостов, Москва, 1925; Mehrtens G., Eisenbrückenbau, B. 1—3, Lpz., 1908—1923; Hartmann J., Aesthetik im Brückenbau, Wien—Leipzig, 1928; Resal J., Ponts métalliques, t. 1, Paris, 1923; Melan J., Der Brückenbau, B. 1—3, W.—Lpz., 1922; Schaper G., Eiserne Brücken, 5 Aufl., B., 1922; Bernhard K., Eiserne Brücken, B., 1911; Godard M., Ponts et combles métalliques, Paris, 1924; Handb. Ing. T. 2—Der Brückenbau, 1907—25; Wadell J. A., Bridge Engineering, v. 1—2, New York, 1916—21; Kunz F., Design of Steel Bridge, New York, 1915; Merriman M., American Civil Engineers Handbook, N. Y., 1920; Kersten C., Brücken in Eisenbeton, T. 1, 3, Berlin, 1908—1928; Handb. f. Eisenbetonbau, hrsg. v. F. Emperger, B. 7, B., 1921; Spangenberg H., Eisenbeton-Bogenbrücken f. grosse Spannweiten, B., 1924; Gay, Ponts en maçonnerie, P., 1925. **М. Холшевников.**

Внешние силы в М. Внешние силы, или нагрузки, на действие к-рых рассчитывается М., разделяются на постоянные и временные. Постоянной нагрузкой являются напр. собственный вес моста, давление земли на устои и т. д. Величина постоянной нагрузки м. б. точно определена по готовому проекту; при предварительном расчете она назначается по приблизительным ф-лам или из примеров существующих сходных М. Наоборот, временная нагрузка не м. б. установлена сколько-нибудь точно, а потому величина ее нормируется технич. условиями, обязательными для расчета. Во всех странах кроме США нормы временных нагрузок устанавливаются правительственными распоряжениями. Временными нагрузками являются: а) полезная нагрузка, для пропуска которой строится М., б) нагрузка от ветра, в) действие $t°$ и г) нагрузка от де-

формации М. (усадка бетона, осадка опор и т. д.). Все виды временной нагрузки кроме первой м. б. установлены на основе метеорологич. наблюдений [(б) и (в)] и технич. экспериментов (г); полезная же нагрузка определяется преимущественно экономич. предпосылками развития транспорта на предстоящий период службы М., т. к. М. должен

Фиг. 15.

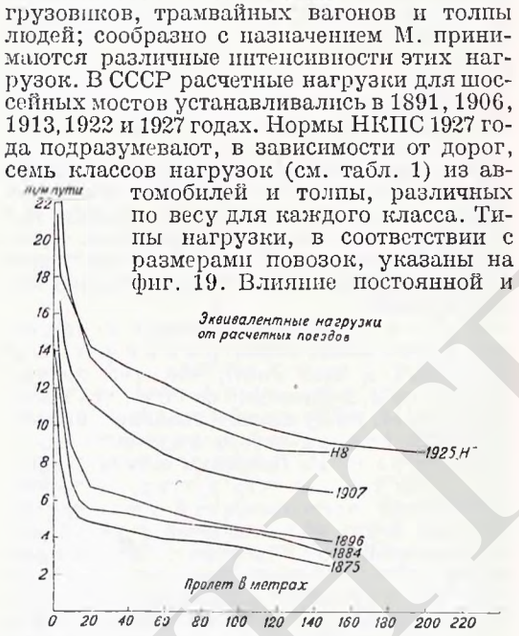
выдерживать всякую нагрузку, могущую появиться за нормальный срок его существования. Поэтому полезная расчетная нагрузка должна содержать известный запас на случай роста действительных нагрузок, причем величина этого запаса диктуется экономическими соображениями и в свою очередь определяет собой срок службы моста. В США запас вносится не в величину нагрузки, а в величину допускаемых напряжений: расчет ведется там на нагрузку, близкую к существующей, но под пониженные напряжения (что по существу равноценно). При назначении расчетной полезной нагрузки следует стремиться: 1) к реальности выбранного типа паровоза, автомобиля и т. д., 2) к простоте расчетной схемы нагрузки (округленные длины и веса грузов и т. д.) и 3) к созданию сравнимых между собой стандартных схем, позволяющих классифицировать М. по их подъемной силе. Это последнее требование всего удобнее выполнить, приняв единую геометрич. схему нагрузки и меняя для разных классов М. лишь величины нагрузок в определенном постоянном соотношении. Такой принцип принят в США, где еще в 90-х гг. прошлого столетия была установлена единая схема нагрузок (т. н. схема Купера). Ныне эта схема устарела и заменяется более современной, но также стандартной (фиг. 15). В этих схемах номера соответствуют числу тысяч англ. фн. в цифре осевой нагрузки паровоза. В связи с ростом нагрузок расчетные нормы периодически заменяются новыми. У нас нормы



Фиг. 16.

нагрузки для ж.-д. М. впервые были установлены в 1875 г. и сменялись новыми в 1884, 1896. 1907, 1921, 1925 и 1930 гг. (временные). Новейшие нормы подразумевают обычно несколько схем нагрузок для различных типов дорог. Нормы 1925 г. предлагали несколько схем, а именно (фиг. 16): схему «У» для сверхмагистралей, схему «Н» для магистралей обычного типа, схему «О» для второстепенных линий. Временные нормы 1930 г. (фиг. 17) дают только одну схему, но предусматривают несколько пропорциональных нагрузок, т. е. отвечают тому же принципу, к-рый принят в стандартных американских нормах. В основу норм 1930 г. положена прежняя америк. схема Купера. Коэф-т пропорциональности в этих схемах выражается индексом при названии схемы: H_6, H_7, H_8 и т. д. Схема H_7 по интенсивности близка к схеме «Н» 1925 г.

Сравнение расчетных нагрузок обычно производится по эквивалентным нагрузкам (см. *Линии влияния*), откладываемым в функции пролета на графике (фиг. 18); при этом эквивалентные нагрузки подсчитываются для наибольших изгибающих моментов в середине пролета. Расчетными нагрузками для шоссейных М. являются веса грузовиков, трамвайных вагонов и толпы людей; сообразно с назначением М. принимаются различные интенсивности этих нагрузок. В СССР расчетные нагрузки для шоссейных мостов устанавливались в 1891, 1906, 1913, 1922 и 1927 годах. Нормы НКПС 1927 года подразумевают, в зависимости от дорог, семь классов нагрузок (см. табл. 1) из автомобилей и толпы, различных по весу для каждого класса. Типы нагрузки, в соответствии с размерами повозок, указаны на фиг. 19. Влияние постоянной и

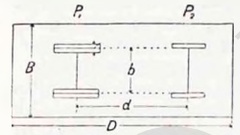


Фиг. 18.

временной полезной нагрузки на М. различно и по величине и по природе. С ростом пролета М. погонная постоянная нагрузка увеличивается, а погонная временная уменьшается, стремясь к некоторому пределу. Для каждого материала существует поэтому граница для величины пролета, за которой постоянная нагрузка получает преобладающее значение для расчета и работы мостов. Так как характер воздействия постоянной нагрузки более благоприятен, чем временной (см. ниже напряжения в М.), то это обстоятельство сильно облегчает проектирование мостов больших пролетов и их работу.

Ветровая нагрузка на М. назначается по наибольшему урагану, могущему иметь место в данной области. В СССР ветровые нагрузки назначаются по единым нормам строительного проектирования в зависимости от положения моста, т. е. возвышения моста над уровнем реки и укрытости местности от

действующих ветров. Для типового проектирования практикуются прежние нормы ветровой нагрузки, а именно 150 и 250 *кг/м²*. Меньшая цифра принимается для случая загружения М. подвижной нагрузкой, а большая—в отсутствии подвижной нагрузки, так как при давлении ветра выше 150 *кг/м²* движение поездов и экипажей становится невозможным. Цифры эти соответствуют урагану исключительной силы; необходимость принимать в расчет такие ураганы оправдывается рядом катастроф: так например М. через Тэйский пролив в Шотландии в 1879 г. обрушился во время прохода поезда при давлении ветра 210 *кг/м²*. Такой же силы ветер наблюдался в СССР в 1929 г. Действие ветра на мосту учитывается приближенным способом, причем определение ветровой поверхности М. ведется по условным коэф-там, определяемым из опыта. Действие снега на М. по нашим нормам вовсе не учитывается; однако в горных местностях, как показывает опыт Швейцарии, с ним приходится считаться. Температурные воздействия следует учитывать: 1) для всех М., статически неопределимых относительно опор, и 2) для случая неравномерного нагрева отдельных частей для М., внутренне статически неопределимых. Колебания $t°$ принимаются по нашим нормам в пределах от $+40°$ до $-40°$; неравномерный нагрев принимается в 15°. Осадка опор учитывается в М., статически неопределимых относительно опорных реакций. Производными нагрузками являются силы, вызываемые условиями прохождения подвижной нагрузки, как то: 1) сила торможения, принимаемая в 0,15 веса нагрузки, причем учитывается $^1/_4$ общего числа вагонов на мосту; 2) центробежная сила на мостах, расположенных в кривых, принимаемая в 10% веса нагрузки; 3) горизонтальные удары подвижного состава, принимаемые по нашим нормам для ж.-д. М. в 7 *т*.



Фиг. 19.

Табл. 1.—Классы нагрузки, в соответствии с размерами автомобилей.

Обозначения	Классы нагрузки								
	0	0	1	1	2	3	4	5	6
B . .	3,0	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,4
D . .	8,6	7,6	7,6	7,6	7,0	7,0	7,0	6,0	5,0
d . .	4 3	3,8	3,8	3,8	3,5	3,5	3,5	3,0	2,5
r . .	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4
P_1*1 .	14	11	11	7	5,6	4,2	2,8	1,9	0,9
P_2*1 .	6	4	4	3	2,4	1,8	1,2	0,8	0,6
n*2. .	1	2	1	2	2	2	2	2	2
m*3 .	1	3	1	3	3	2	2	3	1
q_1*4 .	400—300		400—300		400—300	350—250	300—250	200	200

*1 Давление осей. *2 Число рядов автомобилей. *3 Число автомобилей в ряду. *4 Нагрузка от толпы в *кг/м²*.

Напряжения в М. А. Классификация напряжений. М., как и другие инженерные сооружения, рассчитывают, исходя из величин напряжений, появляющихся в их частях под действием внешних сил. С точки зрения расчета можно различать три рода напряжений: 1) Напряжения основные имеют место в расчетной статич. схеме (плоской стержневой ферме с шарнирными узлами, сплошной балке, пространственном рамном каркасе и т. д.). При расчете основных напряжений учитываются только нормальная сила в стержнях ферм, изгиб в балках и рамах и т. д. Эти напряжения обусловливают основные деформации стержней, являющиеся для работы М. наиболее важными. 2) Напряжения дополнительные учитывают добавочное действие изгибающих либо крутящих моментов в стержнях, работающих на продольную силу, и действие продольной силы в балках, работающих на изгиб стержней от жесткости клепаных узлов, напряжения в продольных балках проезжей части от удлинения поясов фермы и т. д. 3) Напряжения местные обусловливаются действительной, а не схематич. работой М. и появляются в отдельных точках М. вследствие местного несоответствия работы части М. с расчетом; они возникают напр. от наличия отверстий в металле (в металлич. М.), входящих углов, местных пороков, сучков, болтов и т. д. Базой для проектирования М. служат только основные напряжения; остальные виды напряжений обычно не учитываются при расчете, покрываясь запасом прочности (см. ниже). Упомянутое разделение напряжений является условным, так как определяется степенью точности расчета. Более логична классификация напряжений по характеру воздействия на сооружение внешних сил. В М. различают: 1) напряжения постоянные, действующие в М. без изменения с момента постройки и до момента разборки или перестройки; таковы напряжения от действия собственного веса М.; 2) напряжения временные, возникающие в М. при действии временной нагрузки (поезд, автомобиль и т. д.); 3) напряжения повторные, имеющие временную природу, но характеризующиеся многократностью их появления; таковы напряжения, вызываемые колебаниями моста (см. ниже) в целом или отдельной его части. Если полуамплитуда таких колебаний напряжений больше, чем напряжений от постоянной нагрузки, то полные напряжения принимают характер знакопеременных. Повторные напряжения появляются при действии на М. периодич. нагрузки (бегущая лошадь, неуравновешенный паровоз, удары вагонных колес по рельсовым стыкам и т. д.).

Б. Действительные напряжения. Расчет М. по напряжениям возможен только в том случае, если расчетные величины напряжений мало отличаются от действительных. Опыты исследования М. показывают, что действительные основные напряжения почти всегда несколько ниже расчетных; последнее объясняется существованием в мостах так наз. областей пониженного напряжения, т. е. частей, не учтенных при расчете, но разгружающе влияющих на основные напряжения. Таковы напр. накладки в металлич. М., поперечные ребра в железобетонных М. и т. д. Далее, разгружающей причиной являются соучастие пространственных связей и проезжей части, не учтенных расчетом плоской схе-

мы, и влияние жесткости узлов. Отношение действительных основных напряжений к расчетным называется конструктивной поправкой; название подчеркивает природу этого коэф-та. В табл. 2 приведены средние типичные значения конструктивных поправок для различных частей М.

Табл. 2.—Конструктивные поправки для различных частей М.

Тип М.	Материал М.	Часть М.	Поправка
Балочные, с ездой понизу, спроектированные до 1910 г.	Железо	Нижний пояс	0,75
		Верхний »	0,85
		Раскосы	0,6—1,0
То же, спроектированные после 1920 г.	»	Нижний пояс	0,90
		Верхний »	1,0
		Раскосы	0,9—1,1
Балочные	Железобетон	Ребра	0,3—0,5

Поправки эти в новых металлич. М. заметно выше, чем в старых; это объясняется тем, что в новых М. мощность отдельных стержней настолько велика, что работа ферм почти точно соответствует шарнирной схеме. В старых М. со слабыми и часто расположенными стержнями влияние жесткости узлов и пространственная разгрузка сильно понижают напряженность стержней. Пониженная напряженность нижних поясов сравнительно с верхними в мостах с ездой понизу объясняется разгружающим влиянием проезжей части. В М. с ездой поверху это явление носит обратный характер. В железобетонных М. конструктивные поправки гораздо ниже; в них неточность теории и неизбежная неоднородность материала заставляют вводить запас прочности не только в напряжения, но и в расчет и конструкцию. Однако наличие 2—3-кратного конструктивного запаса мало оправдано технически и экономически; поэтому производство опытных исследований железобетонных М. обещает привести к изменению конструкций в сторону более полного использования материала. Действительные дополнительные напряжения в металлич. М. обычно составляют не более 20—40% основных напряжений; местные же напряжения могут превосходить основные в несколько раз. Действительные дополнительные и местные напряжения в массивных и деревянных М. еще недостаточно изучены.

В. Допускаемые напряжения и коэфициент безопасности. Допускаемые напряжения зависят помимо упругих свойств материала и от рода работы, к-рую несет данная часть М., и от экономич. условий. Основное стремление при назначении допускаемых напряжений состоит в придании всем частям М. равной прочности, т. е. в соблюдении равенства запаса безопасности. Поэтому при одном и том же материале допускаемые напряжения м. б. различны для разных частей М. и для разных случаев загружения. Если бы было возможно установить полную тождественность между расчетным и действительным М., т. е. вполне точно учесть: 1) все возможные действующие на М. в каждый момент комбинации внешних сил, 2) распределение внутренних усилий и напряжений в частях М. и 3) все отклонения материала от предполагаемого расчетом вполне однородного упругого материала, следующего закону Гука, то оставление запаса было бы излишним и допускаемые напряжения могли бы назначаться равными пределу пропорциональности или даже пределу текучести. В действительности все три обстоятельства м. б. учтены лишь приближенно, а потому и приходится оставлять запас прочности, служащий для покрытия расхождения между расчетом и действительностью. Этот запас зависит от способа расчета: чем точнее метод расчета и чем большее число обстоятельств принято им во внимание, тем меньший нужен запас. Коэф-т запаса иногда неправильно называют коэф-том незнания; в действительности вполне известно, что именно призван покрывать запас безопасности, и он назначается сознательно — для облегчения расчетной работы, так как точный учет всех обстоятельств работы М. очень труден, а подчас и невозможен.

Величины допускаемых напряжений в М., а следовательно и коэфициента безопасности определяются: 1) факторами, зависящими от внешней нагрузки, и 2) факторами, зависящими от характера работы данной части М. Чем большее число внешних сил учтено расчетом М., тем меньший запас нужен для покрытия сил, оставшихся не учтенными. При расчете М. задаются тремя прогрессивно возрастающими числами допускаемых напряжений для случаев действия: 1) вертикальной нагрузки (постоянной и временной); 2) вертикальной нагрузки и силы ветра и 3) вертикальной нагрузки, силы ветра и действия $t°$. В наших нормах приняты две градации: меньшая цифра назначается для действия т. н. основных нагрузок, а бо́льшая—для нагрузок основных и дополнительных, причем разделение нагрузок по типам проведено для разных частей моста поразному. Факторами, зависящими от работы М. и влияющими на понижение допускаемого напряжения, т. е. на увеличение запаса, являются: гибкость стержней, работающих на продольное сжатие, восприимчивость М. в целом и отдельных его частей к динамич. воздействию подвижной нагрузки и амплитуда колебания повторных напряжений. Первый фактор учитывается введением коэфициента гибкости, определяемого по ф-лам (для продольного изгиба) Эйлера, Тетмайера, Навье и др., второй—введением динамич. (ударного) коэф-та, третий—применением одной из формул усталости материала (см. ниже): Велера, Вейрауха, Лаунгарта и др. Учет последнего фактора распространяется только на металлические М. Эти факторы могут учитываться и одновременно. Собственно говоря, второй и третий факторы должны приниматься во внимание при расчете каждой части М. Понижение допускаемых напряжений, обусловленное учетом этих факторов, может производиться одним из двух способов, к-рые впрочем практически эквивалентны: 1) понижающий множитель вводится в величину основного допускаемого напряжения, а внешние силы предполагаются приложенными статически

и однократно; 2) при сохранении постоянного значения допускаемого напряжения, в действующие усилия вводится множитель, обратный предыдущему. Второй способ логичнее и удобнее первого, так как дает возможность непосредственного сравнения запаса прочности в различных частях М. и сравнения расчетных напряжений с действительными; этот способ принят в СССР.

Величина запаса прочности или безопасности в М. определяется как отношение нек-рого естественного предельного напряжения к допускаемому. За такой естественный предел можно принять временное сопротивление материала моста. Отношение этого временного сопротивления к наибольшему основному напряжению М. называют коэфициентом прочности. Запас прочности покрывает дополнительные и местные напряжения. За этот предел можно принять и предел текучести, как такое напряжение, при к-ром часть М. выбывает из работы от чрезмерных ее деформаций. Отношение предела текучести к расчетному напряжению называется коэф-том безопасности. Введение в расчет коэф-та безопасности возможно только в материалах, где имеется определенно выраженный предел текучести (литое железо и сталь). В отличие от коэф-та прочности, коэф-т безопасности покрывает только дополнительные напряжения, т. к. местные перенапряжения часто превосходят предел текучести, что не отражается на общей работе стержня, обусловленной основными напряжениями. В статически неопределимых системах даже дополнительные напряжения могут превосходить предел текучести, т. к. это ведет только к перенапряжению волокон наиболее сильно работающих частей, благодаря чему происходит перераспределение усилий, в результате которого напряжения в перегруженной части понижаются (это относится только к такому вязкому материалу, как литое железо и др.). Коэф-т безопасности слагается из двух частей: 1) коэф-та общей безопасности, покрывающего неточность расчета и расхождение его с действительной работой М., и 2) коэфициента специальной безопасности, учитывающего особые категории опасности для различных частей М. с целью придания им равнопрочности. Средние обычные значения коэфициента прочности в М. из разных материалов следующие: металлич. М. 3—3,5 (коэф. безопасности обычно 2), деревянных М. 5—8, каменных 15—20, бетонных 5—8. К величине запаса прочности или безопасности М. возможен также чисто экономич. подход: ее можно считать стоящей в прямой связи с предполагаемым остающимся сроком службы М. С сокращением его возможно уменьшение запаса, т. е. повышение риска. Этот подход теоретически дает возможность более полного использования материала, практически же встречается с затруднениями в определении как остающегося срока службы, так и степени возможного увеличения риска при эксплоатации М.

Г. Факторы понижения допускаемых напряжений, зависящие от работы самого М. а) Продольное сжатие. Опасность продольного сжатия особенно велика для стержневых М. и прежде всего для металлических, т. к. сжатые стержни получают сравнительно небольшие поперечные размеры. Расчетные ф-лы продольного сжатия имеют место для двух случаев: 1) Критическое напряжение на продольное сжатие ниже предела упругости. Этот случай возможен для гибких стержней с большой величиной $l:r$— отношения длины l к радиусу инерции сечения r; ему вполне отвечает ф-ла Эйлера:

$$\sigma_{кр.} = \frac{\pi^2 E r^2}{\mu l^2}, \qquad (1)$$

где E—модуль упругости материала, а μ—коэф-т, учитывающий концевые условия закрепления стержня. 2) Критич. напряжение выше предела упругости. Это имеет место у мощных стержней, при низких значениях $l:r$ (для железа и дерева при $l:r<100$); этому случаю б. или м. удовлетворяют эмпирич. ф-лы Тетмайера, Ясинского и др., дающие линейную зависимость критич. напряжения от величины $l:r$. Ф-ла Ясинского для железных стержней имеет вид:

$$\sigma_{кр.} = 33{,}8 - 0{,}14\,\frac{l}{r}\ кг/мм^2. \qquad (2)$$

Более логично в металлич. М. за критич. напряжение в этом случае принимать предел текучести, т. к. при пределе текучести стержни получают резкие деформации, т. е. выбывают из строя. На этой точке зрения стоят наши и герм. нормы. Переход от случая 1 к случаю 2, совершается, по нашим нормам, при помощи параболич. переходной кривой. Следует отметить, что явление продольного изгиба у мощных стержней происходит почти исключительно путем выпучивания отдельных частей сечения в отличие от тонких стержней, испытывающих общую деформацию, поэтому запас безопасности характеризуется здесь коэф-том безопасности. Сообразно с уменьшением критич. напряжения, в зависимости от $l:r$, следует для сохранения равенства запаса безопасности во всех случаях понизить и допускаемые напряжения. Понижение это устанавливается коэф-том $\varphi' < 1$, на к-рый надо умножить допускаемое напряжение или, что то же, делить расчетное усилие. Коэф-т φ' определяют из условия равенства запаса безопасности для случаев растяжения и сжатия, т. е.

$$\sigma_{доп.} = \sigma_{кр.}\,\frac{R_0}{R},$$

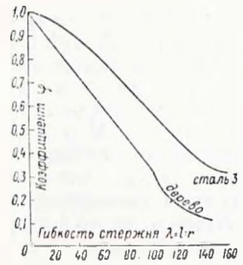
и

$$\varphi' = \frac{\sigma_{кр.}}{R}. \qquad (3)$$

Здесь $\sigma_{доп.}$—допускаемое напряжение на сжатие, R_0—основное допускаемое напряжение на растяжение, R—предел текучести при растяжении. Судя по опытам, продольное сжатие, вследствие наличия различных эксцентриситетов и дополнительных влияний, не одинаково опасно для стержней различной гибкости; это учитывается дополнительным коэфициентом φ'', взятым из опыта. В наших нормах, в соответствии с новейшими опытными исследованиями, φ'' имеет наименьшее значение для средних гибкостей. В результате $\sigma_{доп.}$ определяется из следующей формулы:

$$\sigma_{доп.} = \frac{\sigma_{кр.}}{R} R_0 \varphi'' = R_0 \varphi' \varphi'' = R_0 \varphi. \qquad (4)$$

Значения величин φ приведены на графике фиг. 20. Явление продольного сжатия в стержневых М. заслуживает тем большего внимания, что известен ряд серьезных катастроф, происшедших из-за продольного изгиба сжатых стержней. В первую очередь следует упомянуть о катастрофе при постройке первого Квебекского М. через р. Св. Лаврентия в Канаде в 1907 г., приведшей к обрушению всего собранного металла в результате продольного изгиба сжатого нижнего пояса и потребовавшей коренной переработки проекта. б) Усталость материала. Это явление, как и предыдущее, имеет преимущественное значение для металлических М. и характеризуется тем, что при повторной нагрузке разрушение может произойти ранее достижения временного сопротивления. Разрушающее напряжение зависит при этом от амплитуды колебания напряжения, т. е. от величины и знака отношения $S_{min} : S_{max}$, где S_{min} и S_{max}—минимальное и максимальное усилия, вызываемые нагрузкой (продольная сила, момент и т. д.). При этом разрушение происходит тем ранее, т. е. после тем меньшего числа смен напряжений, чем выше максимальное напряжение. Зависимость числа колебаний нагрузки при симметричном цикле, т. е. при $S_{min} : S_{max} = 1$, от максимального напряжения, при котором образец выдерживает данное число колебаний, имеет гиперболич. характер, асимптотически приближаясь к так называемому пределу усталости при весьма большом числе колебаний. Если максимальное напряжение ниже предела усталости, то никакое число колебаний нагрузки не доведет образец до разрушения. Предел усталости (выносливости) представляет собою такую же определенную физич. характеристику материала, как предел текучести, предел упругости и т. д. Обычно он $\cong 0{,}5$ временного сопротивления. Т. к. предел усталости лежит ниже предела текучести, то коэф-т безопасности при явлении усталости д. б. отнесен к меньшему из этих двух пределов, вследствие чего приходится идти на дальнейшее снижение допускаемого напряжения. Как правило М. работают на нагрузку переменного повторного характера, но с небольшой величиной амплитуд, вследствие чего влияние усталости может у них проявляться только в отдельных случайно перенапряженных точках. С другой стороны, благодаря существованию постоянной нагрузки, все части М. работают несимметричными циклами, т. е. в условиях $S_{min} : S_{max} > 0$, что еще более затрудняет проявление усталости. В силу этих соображений новые нормы в СССР не вводят специального коэф-та безопасности на усталость металла, в отличие от прежних норм и от норм нек-рых других стран (США, Германия). Последнее, точно так же как пренебрежение местными перенапряжениями, возможно только в вязком материале; между тем металл главн. обр. от дефектов изготовления и влияния нагрузки с течением времени теряет свою вязкость и становится более хрупким (явление старения). Поэтому в старых М. следовало бы вводить еще дополнительный коэф-т безопасности на старение. Однако это обстоятельство нормами не учитывается, имея в виду меньший срок службы старых мостов и меньшее вероятие появления в течение этого срока аварийных событий. Очень часто, в виду последнего обстоятельства, допускаемые напряжения в старых М. даже повышаются. в) Динамическое воздействие нагрузки учитывается введением в расчет коэфициента, определяющего реальное превышение воздействия движущейся нагрузки над ее статич. воздействием; поэтому этот коэф-т только условно может рассматриваться как коэфициент уменьшения напряжения. Следует различать 2 рода динамич. воздействия: 1) ударное и 2) резонаторное. Первое происходит от однократных ударов нагрузки по М.: удары колес подвижного состава по рельсовым стыкам, толчки от неровностей пути или неправильного очертания колес экипажей, наконец конструктивные особенности М., напр. проход нагрузки над шарниром в консольном М. и т. д. Ударное воздействие растет со скоростью и массой нагрузки и падает с увеличением массы М.; поэтому оно имеет преимущественное значение для металлич. М. и может быть оставлено без учета в массивных М. Устройство пути на балласте сильно уменьшает ударное воздействие и в металлических М. Резонаторное воздействие имеет место тогда, когда нагрузка производит ряд периодически повторяющихся ударов, частота которых совпадает с частотой собственных колебаний М. Это возможно например при проходе в ногу группы людей или лошадей, при движении паровоза с неуравновешенными движущимися частями, или при ритмич. ударах равноотстоящих колес поезда по рельсовым стыкам. Скорость движения нагрузки, при к-рой происходит явление резонанса, называется критической. Основными факторами, влияющими на величину резонаторного воздействия, являются: величина периодич. силы, жесткость М. и скорость затухания колебаний (см. выше, колебания М.). Два последние фактора своим увеличением влияют на резонаторное воздействие понижающим образом и зависят от материала, системы и пролета М.: они падают с ростом пролета и значительно выше для массивных, чем для металлич. и деревянных М. Для массивных М. скорость затухания можно считать мгновенной. При неточном совпадении частот внешней силы и собственных колебаний резонанс не имеет места и с увеличением разности частот амплитуды быстро падают. В виду многообразия причин, определяющих динамич. воздействие, точный учет его возможен только путем индивидуального расчета для каждого отдельного М. нагрузки и условий ее прохода по М. Поэтому нормы всех стран рассматривают динамич. воздействие для каждого материала только как функцию пролета. С изменением проле-



Фиг. 20.

та динамич. воздействие изменяется след. образом. 1) В металлич. ж.-д. М. ударное воздействие с ростом пролета резко падает, резонаторное же постепенно увеличивается, давая относительный максимум для средних пролетов (50—100 м), так как для них явление резонанса становится возможным при нормальных скоростях движения. Общая зависимость выражается обыкновенно убывающей кривой. Нормативные кривые динамического коэф-та для металлич. ж.-д. М. указаны на графике фиг. 21. В шоссейных М. преобладающее значение имеет резонанс, при к-ром динамич. воздействие может превосходить статическое в несколько десятков раз. Невозможность проектировать М. с таким огромным статич. запасом заставляет запрещать пропуск по М. крупных масс людей или лошадей в ногу, что существенно снижает динамич. коэф-т. 2) Для массивных М. имеет значение только ударная часть воздействия, но и она обычно мала вследствие большой массы М. и наличия балластного слоя. В виду этого вполне возможно было бы вообще не учитывать динамичности нагрузки при расчете массивных М. Наши нормы дают однако и для таких М. (см. ниже) значения динамического коэф-та, падающего с ростом пролета и с увеличением толщины балластного слоя. 3) В деревянных М. динамич. воздействие вообще не учитывают вследствие мягкости дерева, принимая, что скорость движения нагрузки по ним невелика.

Фиг. 21.

Табл. 3.—Значения динамического коэф-та по нормам различных стран.

Страна	Динамич. коэф-т	Название норм
СССР . .	$1+\mu=1+\frac{22}{20+l}$ *1	НКПС 1929 г.
» . .	$1+\mu=1+\frac{3000}{5000+l^2}$ *2	НКПС 1929 г.
» . .	$1+\mu=1+0{,}325\left(\frac{1}{1+\frac{l}{50}}\right)$	» 1921 г.
Германия	$1+\mu=1{,}19+\frac{21}{46+l}$	1922 г.
Англия .	$1+\mu=1+\frac{120}{90+l}$	Опытные данные
Швеция .	$1+\mu=1+\frac{10}{13+0{,}07l}$	1919 г.
США . .	$1+\mu=1+\frac{300}{300+l}$	1923 г.
» . .	$1+\mu=1+\frac{1}{1+\frac{l^2}{1860}}$	Опытные данные

*1 При $l<20$ м. *2 При $l>20$ м.

В табл. 3 приведены значения динамич. коэф-та для ж.-д. металлич. М. по нормам различных стран (l—пролет). Во всех этих нормах μ — динамическая добавка, $1+\mu$ — динамич. коэф-т повышения статич. нагрузки. Разнообразие норм является следствием недостаточной изученности вопроса и различия подходов при их назначении.

Д. Нормы допускаемых напряжений для М. в СССР. а) Металлические М. (нормы 1930 года). Основные напряжения назначаются для двух случаев: 1) при действии вертикальной нагрузки, постоянной и временной (умноженной на динамический коэф-т), боковых ударов колес и центробежной силы (в М. на кривой) и 2) при действии тех же нагрузок и кроме того торможения, силы ветра и влияния $t°$. Соответственные напряжения приведены в табл. 4.

Табл. 4.—Нормы допускаемых напряжений для металлических М. в СССР (в $кг/см^2$).

Случай нагрузки	Марка металла		
	Сталь 3 *1	Сталь 5 *2	Спец. сталь
1	1 400	1 750	2 100
2	1 700	2 100	2 500

*1 По прежней терминологии — литое железо.
*2 Повышенная углеродистая сталь.

Проверка прочности растянутых и сжатых стержней ведется по площади сечения нетто, а для сжатых кроме того по площади брутто, умноженной на коэф-т φ продольного сжатия (см. выше). Сжато-вытянутые стержни проверяют отдельно по наибольшим растягивающему и сжимающему усилиям. Проверка прочности на изгиб ведется по моменту сопротивления нетто. Допускаемое напряжение на скалывание принимается равным 0,75 основного. Допускаемые напряжения в заклепках: на срез 0,8, на смятие 2,0, на отрыв головок 0,6 основного. Выражение динамич. коэф-та, на к-рый следует умножить статич. усилие от временной нагрузки, приведено в табл. 2. б) Деревянные М. Нормы напряжения для деревянных М. 1930 г. не учитывают ни динамики ни усталости; допускаемые напряжения понижаются лишь для случая продольного сжатия. Значения коэф. φ продольного сжатия могут быть определены по графику фиг. 20. Основные допускаемые напряжения приведены в табл. 5.

Эти напряжения повышаются на 20% при применении дерева лучшего качества, на 15% в случае действия горизонтальных сил и на 40% для М. временного характера; понижаются на 18% для частей М., находящихся под водою, и на 20—25% при влажном или сердцевинном лесе. Допускаемое напряжение в сжатых частях принимается равным $R_0\varphi$, где φ определяется из ф-л:

$$\varphi = 1 - 0{,}0069\frac{l}{r}, \text{ для } 5 < \frac{l}{r} < 100$$

или

$$\varphi = \frac{\pi^2 E}{4{,}5 R_0 \left(\frac{l}{r}\right)^2}, \text{ для } \frac{l}{r} > 100.$$

Табл. 5.—Нормы допускаемых напряжений для деревянных М. в СССР (в *кг/см²*).

Направление действия силы	Род напряжений	Сосна *1	Дуб *1
Вдоль волокон	Растяжение	94	110
	Сжатие	85	100
	Скалывание	10	13,5
	Растяжение и сжатие при изгибе	94	110
	Скалывание при изгибе	20	27
	Торцевое смятие	60	85
Поперек волокон	Срезывание перпендик. оси дерева	38	50
	Смятие на ширине больше ½ ширины дерева	21	42,5
	Смятие на ширине меньше ½ ширины дерева	30	55
	Скалывание тангенциальное	5	7,5

*1 Среднего качества.

в) Каменные и бетонные М. Нормы на сжатие или изгиб не должны превосходить следующие величины (в *кг/см²*):

Кладка из штучного камня получистой тески	65—80
Кладка из грубоколотого камня	50
» » постелистого бутового камня	25—35
» » обыкновенного » »	15—20
» » кирпича	10—13
Бетон	30—40

Для высоких отдельно стоящих столбов и стен при отношении высоты h к ширине b более 3,5 основное допускаемое напряжение умножается на коэф. $\varphi = 0{,}4 + \frac{2b}{h}$. Наибольшее растягивающее напряжение не должно превосходить: для каменной кладки 2 *кг/см²*, для бетона 3,5—5 *кг/см²*. В случае учета $t°$ и усадки бетона допускаемые напряжения повышаются при сжатии на 30%, а при растяжении—до 5 *кг/см²* в каменных сводах и до 10 *кг/см²* в бетонных. г) Железобетонные М. Допускаемые напряжения даны для двух марок бетона, характеризующихся временным сопротивлением через 28 дней (пластичный и литой, в условиях постройки): марки I 130 *кг/см²* и марки II 110 *кг/см²*. Допускаемые напряжения в зависимости от указанных марок бетона приведены в табл. 6.

Табл. 6. — Допускаемые напряжения для бетонных М. в СССР (нормы 1930 г.).

Марка бетона	Основное осевое сжатие при $\frac{l}{h} < 15$ *1	Основное сжатие при изгибе *2: для основных нагрузок	Основное сжатие при изгибе *2: для всех нагрузок	Растяжение осевое	Главное растягивание при изгибе *3
I	50	60	85	12	3,5
II	45	50	70	10	2,5

*1 При $l:h>15$ необходима проверка на продольный изгиб, умножая допускаемое напряжение на коэф. $\varphi = \frac{1}{1+0{,}0001\left(\frac{l}{r}\right)^2}$. *2 Основными нагрузками считаются: вертикальная, горизонтальная и нагрузка от $t°$-ного расширения. При учете усадки бетона берется напряжение второй графы (для всех нагрузок). *3 И не более 12 *кг/см²*, даже при наличии арматуры.

Для литого железа в арматуре железобетонных мостов допускается напряжение на растяжение и сжатие в 1250 *кг/см²* при действии основных нагрузок и 1600 *кг/см²* при действии всех нагрузок. Динамич. воздействие учитывается динамич. коэф-том, значения которого приведены в табл. 7.

Табл. 7.—Значение динамического коэфициента по нормам СССР.*

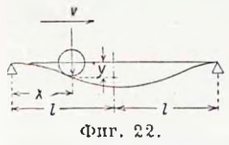
Толщина балластного слоя в *м*	Пролет <2 *м*	Пролет 2÷15 *м*	Пролет >15 *м*
0,50	1,40	$1{,}40-\frac{0{,}15(l-2)}{13}$	1,25
1,30	0	0	0

* При промежуточных толщинах слоя динамич. коэф. определяется линейной интерполяцией.

Лит.: Передерий Г. П., Курс мостов, ч. 1, изд. 4, М.—Л., 1929; ч. 2, отд. 1, Л., 1925; ч. 2, отд. 2 (печатается), ч. 2, отд. 3, М.—Л., 1928; его же, Курс жел.-бетон. мостов, Л., 1923; Стрелецкий Н. С., Курс мостов, Металлические мосты, М., 1925; Патон Е. О., Таблицы для проектирования деревянных и стальных мостов, Киев, 1929; Технич. условия проектирования металлич. пролетных строений ж.-д. мостов, «Труды Техно-экономич. совета НКПС», М., 1926, вып. 4/100; Единые нормы строительного проектирования (утверждены Комитетом по стандартизации при СТО 14 марта 1930 г.), М., 1930; Bleich F., Theorie u. Berechnung d. eisernen Brücken, Berlin, 1924; Schaechterle K., Verstärkung, Umbau u. Auswechselung von Eisenbahnbrücken, B., 1926. **С. Бернштейн.**

Колебания М. Исследования работы М. показали, что сравнительно ничтожные по своему весу нагрузки (толпа, конница, стадо, паровой каток) при известных условиях вызывают весьма значительные по своей амплитуде колебания, к-рым могут соответствовать и чрезвычайно высокие напряжения, что определенно подчеркивает практическую важность этого вопроса. Кроме того исследования выяснили практич. значение знания законов колебаний М., гл. обр. законов затухания колебаний, непосредственно зависящих от внутренних сопротивлений М. и его состояния и потому являющихся характеристикой этого состояния. Значение свободных колебаний М. заключается прежде всего в том, что от их частоты зависит непосредственно возможность или невозможность возникновения резонанса в вынужденных колебаний при действии ритмич. внешней нагрузки, а косвенно—также и амплитуда вынужденных колебаний; от закона же затуханий свободных колебаний последняя зависит непосредственно. Связь между вынужденными и свободными колебаниями вытекает из общей теории упругих колебаний и поэтому здесь не требует особенного обоснования.

Систематич. анализ причин вынужденных колебаний ж.-д. М. впервые дан Меланом в 1893 г. [1]. В последнее время эти причины снова изложены в систем. виде Хортом [2]. Основными причинами вынужденных колебаний ж.-д. мостов являются следующие. 1) Центробежная сила отдельных движущихся по М. масс, вызванная прогибом пролетного строения (фиг. 22). Колебания, вызванные этой причиной, Хорт называет «эффектом Циммермана» [3]. Причины эти обыкновенно не существенны. 2) Надвижка поезда. Если представить себе М. как упругую сплошную балку постоянного сечения, на к-рую по идеально гладкому пути надвигается с постоянной скоростью v постоянная, равномерно распределенная нагрузка, то дифференциальное ур-не движения любого элемента балки имеет вид:



Фиг. 22.

$$\varrho f \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = \varphi(t),$$

где ϱf — масса пог. единицы балки, а $\varphi(t)$—сила, действующая в момент t на единицу длины рассматриваемого элемента балки, EI—жесткость балки,

$$\varphi(\xi) = p \quad \text{при } 0 \leq \xi \leq x,$$
$$\varphi(\xi) = 0 \quad \text{при } x \leq \xi \leq l,$$
$$\xi = vt.$$

Интегрирование этого дифференциального ур-ия и дает возможность определить вынужденные колебания, вызванные надвижкой состава [4]. Это обстоятельство также не очень существенно. 3) Влияние избыточных противовесов паровоза или же вообще неуравновешенных частей, которые во время движения последнего ритмически действуют на пролетное строение. Величина этих неуравновешенных сил, при прочих равных условиях, для каждого данного паровоза пропорциональна квадрату его скорости. В ж.-д. М. это влияние является наиболее серьезным. 4) Влияние периодических ударов вагонных колес при проходе через стыки рельсов. В известных случаях это обстоятельство может иметь серьезное значение, например при неудачном выборе расстояния между осями вагонов. 5) Влияние колебаний кузовов вагонов на рессорах. В виду медленности колебаний и быстроты затуханий эта причина однако несущественна. 6) Причины случайные, иногда периодич. характера (неровности на поверхности катания бандажа). Наибольший допустимый износ бандажа (2 *мм*) дает очень значительный эффект, аналогичный указанному в п. 4. Горизонтальные колебания как продольные, так и поперечные вызываются в большей или меньшей степени всеми названными причинами, если они действуют несимметрично на обе фермы пролетного строения, что всегда имеет место. Кроме того они вызываются: 7) моментами и проекциями продольных сил инерции качающихся масс паровоза; так как эти силы приложены вблизи проезжей части, плоскость которой не служит плоскостью симметрии пролетного строения как пространственной системы, то они вызывают кроме горизонтальных и вертикальные колебания обеих ферм. В М. под обыкновенную дорогу причины колебаний таковы: 1) Силы инерции тела людей и животных при ходьбе [5]. Доказано, что траектория ц. т. человеч. тела при прямолинейной ходьбе и беге представляет собою пространственную кривую. В еще большей степени это относится к движениям животных. Особенно серьезной и опасной величины силы инерции достигают при проходе толпы в ногу. 2) Различные, частью ритмические, частью случайные, вертикальные и горизонтальные силы, которые возникают благодаря неровностям пути при проходе экипажей и автомобилей. Эти две причины являются основными. 3) Силы инерции неуравновешенных масс механизма нагрузки (автомобиля, катка). В нормальных эксплоатационных условиях эта причина не имеет существенного значения. Степень влияния всех перечисленных причин зависит от многих обстоятельств, в том числе и от соотношения между периодом собственных колебаний М. по данному направлению и периодом действующих сил. Совпадение периодов может привести к резкому увеличению эффекта вследствие явления резонанса.

Причины свободных колебаний М. Свободные колебания М. в обычных условиях их появления налагаются на вынужденные колебания, вызываемые перечисленными выше причинами. Благодаря затуханию они мало заметны на тех диаграммах, которые записываются приборами при проходе поезда. После схода поезда остаются конечно только свободные колебания, но они редко имеют большие амплитуды.

Направление колебаний пролетного строения. Пролетное строение, как упругое пространственное сооружение, в общем случае испытывает под действием нагрузки сложное колебательное движение, причем направление колебаний непрерывно изменяется от точки к точке. В целях облегчения исследования, колебания пролетного строения разлагают обычно на вертикальные, горизонтальные поперечные и горизонтальные продольные. Сверх того существуют еще местные колебания, напр. в балках проезжей части, в отдельных раскосах и т. п.

Период колебаний. Вынужденные колебания имеют тот же период, что и сила, вызывающая их; на них налагаются кроме того также собственные колебания. Вычисление собственных колебаний мостовых ферм, как систем с многими степенями свободы, довольно сложно [6]. Приближенные способы, основанные на замене фермы эквивалентною ей балкой, притом совершающей колебания с одной степенью свободы, приводят к более простым ф-лам. Для балки на двух опорах, по Хорту [2],

$$n_p = \frac{\pi}{2l^2}\sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{p}} \quad \text{и} \quad n_{p+q} = \frac{\pi}{2l^2}\sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{p+q}}, \quad (1)$$

где n_p и n_{p+q} — числа собственных свободных вертикальных колебаний в ск., соответствующих двум случаям: когда балка нагружена собственным (равномерно распределенным) весом интенсивности p на погонную единицу, и когда она нагружена сверх того равномерно распределенной нагрузкой интенсивности q; g—ускорение силы тяжести; $E \cdot I$ — жесткость балки, имеющей при том же пролете l те же напряжения в крайних волокнах от собственного веса, как и данная ферма. Из предыдущих ф-л Хорт вывел для числа колебаний n более простую формулу:

$$n = \frac{17\,600}{l\sqrt{\frac{\sigma}{h}}}, \quad (2)$$

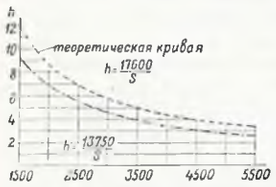
где l и h—длина и высота фермы в *см*, σ—

напряжение от нагрузки p или, соответственно, от $p+q$ в поясах в середине пролета, в *кг/см²*. На фиг. 23 даны две кривые: теоретич. и вычисленная по данным опытов, произведенных по распоряжению дирекции швейцарских ж. д. Диаграмма дает зависимость частоты n колебаний моста в ск. от величины $s=l\sqrt{\frac{\sigma'}{h}}$, где $h=\frac{17600}{s}$, σ' — среднее значение максимального напряжения поясов ферм в *кг/см²*.

Период колебаний $T=1/n$. По Тимошенко [7], период колебаний

$$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{c}}=2\pi\sqrt{my_0}; \qquad (3)$$

здесь m—приведенная к середине пролета масса колеблющейся балки вместе со сплошной равномерно распределенной нагрузкой, покоящейся на ней; если последняя равна M, то $m=\frac{17}{35}M$; c—сосредоточенная сила, приложенная в середине пролета и вызывающая в этом месте прогиб в 1 *см*; $y_0=\frac{1}{c}$—прогиб в середине пролета от приложенной в этом месте сосредоточенной силы, равной единице. Для сплошной балки



Фиг. 23.

$$c=\frac{48\,E\cdot I}{l^3}.$$

Во избежание крупных ошибок необходимо брать не теоретическую, а действительную жесткость ферм, характеризуемую величинами c или y_0.

По Блейху [8],

$$T=\frac{2l^2}{\pi}\sqrt{\frac{p}{g\cdot E\cdot I}}, \qquad (4)$$

где p—интенсивность равномерно распределенной сплошной нагрузки (включая и собственный вес балки) на единицу длины. Величина $E\cdot I$, так же как и в предыдущем случае, должна быть взята условно, по действительной жесткости пролетного строения. По данным Института инженерных исследований [9],

$$T_x=(47l-0{,}10l^2)\cdot 10^{-4}, \qquad (5)$$

где l в *м*, а T_x—период вертикальных колебаний—в ск. Для горизонтальных поперечных колебаний

$$T_y=80l\cdot 10^{-4}. \qquad (6)$$

Ф-ла (6) дает несколько преуменьшенные значения лишь для старых многорешетчатых строений с тавровыми поясами и без поперечных связей; для таких М., по данным Ин-та инженерных исследований, следует коэф-т 80 заменить коэф-том 100. Для колебаний кручения

$$T_z=T_x\left(0{,}8+\frac{h}{6b}\right), \qquad (7)$$

где h — высота ферм, b — ширина моста, а T_x определяется из формулы (5). Для вертикальных колебаний неразрезных балок без консолей и с консолями и с различным числом пролетов теоретически выведены приближенные простые ф-лы [10]; проверка при помощи точного расчета для двухпролетной неразрезной балки дала результаты, весьма близкие к результатам этих формул [11]. Формулы (1—4) годятся также для М. под обыкновенную дорогу.

Степень затухания колебаний. На период свободных колебаний затухание влияет слабо, а на амплитуды вынужденных и свободных колебаний — значительно. Экспериментальное исследование этого вопроса началось под влиянием новой методики только в самое последнее время и выявило поэтому к настоящему времени еще мало данных. В Германии Р. Берригардом [12] произведено несколько опытов исследования М. при помощи вибрационной машины Шпета, которая позволяет определить мощность в ваттах, потребную для раскачивания пролетного строения при резонансе. В СССР затухание определялось при помощи непосредственного сравнения последовательных амплитуд затухающих свободных колебаний, вызванных ударом [13]. Благодаря затуханию колебаний, ритмич. сила, период к-рой равен периоду собственных колебаний пролетного строения, вызывает конечную амплитуду, которая сравнительно быстро достигает своего максимума и затем остается постоянной при любом числе импульсов силы [14]. Периоды собственных колебаний и степень их затухания составляют в своей совокупности ту основу, на к-рой теоретич. путем м. б. построена вся теория динамики.

Лит.: [1]) Melan J., Über d. dynamische Wirkung bewegter Lasten auf Brücken; «Zeitschriften d. österreichischen Ingenieur und Architekten Verein», Wien, 1893, p. 293; [2]) Hort W., Stoffsbeanspruchungen u. Schwingungen d. Hauptträger statisch bestimmter Eisenbahnbrücken, «Die Bautechnik», Berlin, 1928, Jg. 6, H. 3 und 4; [3]) Zimmermann H., Die Schwingungen eines Trägers mit bewegter Last, B., 1896; [4]) Timoschenko St., Schwingungen prismatischer Stäbe, «Z. f. Math. u. Phys.», Berlin, 1911, B. 59, p. 163 u. ff.; Тимошенко С., О выпужд. колебаниях призматич. стержней, «Изв. Киев. политехнич. ин-та», Киев, 1910; [5]) Fischer O., Theoretische Grundlagen f. eine Mechanik d. lebenden Körper, Lpz.—Berlin, 1906; Бернштейн Н. А., Исследования по биодинамике ходьбы и бега. Вопросы динамики мостов, 13 Сборн. Отд. инж. исслед., «Труды научно-техн. комитета НКПС», вып. 63, М., 1927; его же, Исследование свободных поперечных колебаний пролетных строений, там же, Москва, 1929; [6]) Reissner H., Schwingungsaufgaben aus d. Theorie d. Fachwerke, «Zeitschrift f. Bauwesen», B., 1903; p. 135: Pohlhausen A., Berechnung d. Eigenschwingungen statisch bestimmter Fachwerke, «Ztschr. für angew. Math. u. Mech.», B., 1921, p. 28; [7]) Тимошенко С. П., Курс сопротивления материалов, изд. 6, М.—Л., 1928, стр. 406, Киев, 1913; [8]) Bleich F., Theorie u. Berechnung d. eisernen Brücken, p. 49, Berlin, 1924; [9]) Бернштейн Н. А., Теория боковой качки железных мостов, «Сборн. Ин-та инжен. исследований», М., 1929; [10]) Рабинович И. М., Приближ. расчет периода свободн. колебаний многопролетных неразрезных балок, «6 Сборн. Ин-та инжен. исследований», Москва, 1926; [11]) Николаев Г. А., Свободные колебания пролетных строений под действием удара, «13 Сборник Ин-та инжен. исследований», М., 1927; [12]) Bernhard R. u. Späth W., Rein dynamische Verfahren zur Untersuchung d. Beanspruchungen v. Bauwerken, «Der Stahlbau», Berlin, 1929, H. 6; [13]) Николаев Г. А., Энергетические процессы колебаний пролетных строений мостов, «21 Сборн. Ин-та инжен. исследований», М., 1929; [14]) Föppl A., Vorlesungen über technische Mechanik, B. 4, § 8, Mch.—Berlin, 1923; Рабинович И. М., Динамич. воздействие толпы на мосты по данным спец. опытов Отдела инжен. исследований, Вопросы динамики мостов, 13 Сборн. Отд. инж. исследований, «Труды Научно-техн. комитета НКПС», Москва, 1927; его же, Динамич. воздействие толпы на мосты, 17 Сборн. Ин-та инжен. исследований, на нем. языке в сборнике «Ergebnisse d. experimentellen Brückenuntersuchungen in d. USSR», Москва, 1928; его же, Некоторые соображения о связи между состоянием металлич. пролетных строений и их колебаниями, там же, М., 1927, стр. 33—34 (та же статья на нем. языке в сборн., указанном под № 4); Stokes G. G., Transactions Cambr. Phil. Society, Cambridge, 1849, p. 707; Willis, Report of the Commission Oppointed to Enquire into the Application of Iron to Railways Structures, London, 1849; Deslanders, Action des chocs rythmés sur les travées métalliques, «Annales des ponts et chaussées», Paris, 1892, t. 4, p. 765; Hawranek, Schwingungen v. Brücken, «Eisenbau», Lpz., 1914, 7, p. 221—231; Tilden, Kinetic Effects of Crowds, «Trans. of the Amer., Soc. of Civ. Engineers, N. Y., 1913, v. 76, p. 2107—2132. **И. Рабинович.**

Общая экономичность М. Общая экономичность М. обычно определяется совокупностью первоначальной стоимости его сооружения и капитализированным ежегодным эксплоатационным расходом по его ремонту и надзору за ним, а также долговечностью М. Правильное решение вопроса в каждом отдельном случае возможно только после разработки и сравнения между собой различных возможных вариантов решения задачи. К этому приему обычно и прибегают при проектировании всякого б. или м. крупного М. Первоначальная стоимость деревянных М. вообще наименьшая, но зато и долговечность их наименьшая, а эксплоатационные расходы наибольшие, составляя в год ок. 2,5% первоначальной стоимости М. При рассмотрении вопроса о выборе системы М. было уже указано на ограниченность сферы рационального применения деревянных М.; все эти причины ставят узкие пределы экономичности их применения. Для малых пролетов значительными преимуществами обладают железобетонные М. Стоимость сооружения их не выше стоимости металлич. М., но при сроках службы по меньшей мере равных (от 25 до 30 лет малые М. и от 70 до 100 лет большие) железобетонные мосты требуют эксплоатационных расходов в 2—3 раза меньше (0,5% против 1—1,5% для металлич. М.). Важным эксплоатационным преимуществом железобетонных М. является непрерывность пути при переходе с земляного полотна на М., что устраняет неизбежный в металлич. М. удар. Однако стоимость балочных железобетонных М. уже при небольших пролетах (15 *м* для ж.-д. М. и 30 *м* для экипажных М.) становится выше стоимости металлических М. Правда, для арочных М. эта граница лежит значительно выше, но обычные в них трещины, губительно влияющие на арматуру, сильно понижают их долговечность, а следовательно и экономичность их применения. Каменные М. требуют наименьших эксплоатацион. расходов (0,25—0,5%) и обладают наибольшей долговечностью. Но первоначальная стоимость их, вообще говоря, наибольшая и в значительной мере определяется степенью сложности устройства прочных оснований, имеющих особенно важное значение при больших пролетах. Давая, подобно железобетонным М., возможность осуществить непрерывность пути, каменные М. лишены серьезного их недостатка—наличия легко подвергающейся разрушению железной арматуры. Металлические мосты, сравнительно легко подверженные порче от ржавчины, расстройства заклепочных соединений и т. п., требующие поэтому повышенных эксплоатационных расходов и уступающие место в области малых пролетов железобетонным и каменным мостам, не имеют соперников в сфере больших пролетов. Обладая наименьшим общим весом, металлические М. незаменимы также в случаях, требующих легкого сооружения.

Стоимость М. в значительной степени зависит от величины его пролетов, и правильная разбивка М. на пролеты является мерой экономичности сооружения. За исключением тех случаев, когда величина пролетов устанавливается по требованиям технич. характера (как напр. на судоходных реках), разбивка пролетов делается по экономич. соображениям. Вообще говоря, с увеличением пролетов растет стоимость пролетного строения, но уменьшается стоимость опор—и наоборот; при определенном указанном соотношении стоимость М. получается наименьшей. Подсчеты показывают, что это наступает в тот момент, когда стоимость одного пролетного строения без проезжей части сравняется со стоимостью одного быка; величина наивыгоднейшего пролета l при этом выражается ф-лой:

$$l=\sqrt{\frac{A}{B}},$$

где A—стоимость одного быка и B—стоимость одной погонной единицы пролетного строения. Для высоких каменных и железобетонных М.-виадуков наивыгоднейший пролет равен полной высоте М. от обреза фундамента до подошвы рельса. Правила эти могут служить однако только для предварительной наметки, окончательно же вопрос об экономичности сооружения решается, как уже говорилось, путем составления различных вариантов проекта и подсчета их стоимости. **М. Холшевников.**

Эксплоатация М.

Надзор за состоянием М. I. Металлические М. Надзор за состоянием металлич. М. можно разбить на три части: А) надзор за состоянием реки и ее русла, а также опор и регуляционных сооружений; Б) надзор за состоянием пролетных строений и В) надзор за состоянием настила.

А. При осуществлении надзора за состоянием реки и ее русла необходимо производить следующие наблюдения: горизонта воды, режима поведения реки в наиболее характерные моменты времени, толщины льда и отдельных его слоев и глубины русла. Наблюдение над горизонтом воды в нормальных условиях следует производить не реже одного раза в месяц, а также в дни заметного изменения уровня воды. Во время же половодья и летних паводков наблюдения эти должны делаться значительно чаще: два раза в день—утром и вечером. Наблюдения над горизонтом воды обычно производят с помощью специальных водомерных реек, устанавливаемых на опорах М. в необсыхаемых местах, с низовой стороны реки (во избежание повреждений от ледохода и плывущих предметов). Наблюдения над режимом реки в весенний период заключаются в регистрации времени первой подвижки льда, начала и продолжительности ледохода, характера половодья; в зимний же период выясняются следующие вопросы:

появлялся ли перед замерзанием реки мелкий подвижной лед; был ли ледоход или ледостав и время образования последнего; покрывалась ли вся река льдом или только у берегов; имеются ли полыньи. Наблюдения над ледяным слоем начинают с того момента, как только толщина его достигнет такой величины, которая позволяет безопасно по нему ходить; наблюдения эти имеют целью определение толщины льда и характера его строения; толщину льда рекомендуется определять в двух точках: у берега (где глубина воды $\cong 1 \div 1^1/_2$ *м*) и в месте наибольшей глубины. Промеры русла реки в нормальных условиях производят два раза в год: 1) в зимнее время со льда и 2) после спада весеннего паводка (если таковой имеется). Промеры эти рекомендуется производить по трем направлениям (профилям): 1) по продольной оси М., 2) в 50 *м* от продольной оси М. вверх по течению, 3) в 50 *м* от продольной оси М. вниз по течению. Положение снимаемых профилей фиксируется на месте забивкой на обоих берегах невысоких свай. У конусов, устоев и быков М. промеры русла производят по всему очертанию таковых. На неглубоких реках промеры русла производят футштоком, на глубоких—лотом. Для поддержания откосов конусов и регуляционных сооружений у М. в должном состоянии необходимо вести систематич. исправления всевозможных обсыпаний, обрушений, размывов и повреждений обделки. Особенно внимательно приходится следить за всем этим перед наступлением паводка и немедленно устранять всякие повреждения, обнаруженные в конусах, укреплениях опор и русла и в регуляционных сооружениях до прохода ближайших высоких вод. В случае обнаружения признаков, указывающих на возможное смещение быков или устоев в плане или на наклон их, немедленно устанавливают систематич. наблюдения за положением опор помощью отвесов, уровней или других инструментов. Немедленно устанавливают систематические наблюдения помощью простейших приспособлений за опорами и в случае обнаружения в них трещин, причем последние зарисовывают на чертеж опор, нанося на этот чертеж возможные постепенные изменения конфигурации этих трещин, следя за их изменением с временем. В случае наличия серьезных трещин, необходимо путем удаления ряда облицовочных камней обязательно выяснять, не распространяются ли трещины в самой кладке опоры. При сильном повреждении опор трещинами рационально производить ремонт опор торкретированием. Необходимо обращать внимание также и на состояние швов облицовки, не задерживая расшивку их цементным раствором в случае разрушения; в особо неблагоприятных условиях в этом отношении находятся те части опор, которые расположены по высоте между меженью и самым высоким горизонтом воды.

Б. Надзор за состоянием металлич. пролетных строений М. заключается в наблюдении над состоянием: а) металла и поврежденных частей, б) заклепочных соединений и в) опорных частей. а) Режим содержания металлич. частей М. должен быть такой, чтобы они были, во-первых, предохранены от возможности образования и развития ржавчины и, во-вторых, чтобы имеющиеся в них повреждения в виде трещин, расслоений, пробоин и т. д. были соответствующим образом заделаны. Что касается борьбы с ржавлением, то здесь весьма важную роль играет своевременная окраска М. Нормальным сроком окраски М. следует считать 5 лет, а для М., расположенных на приморских линиях (с влажным климатом), 3 года. В зависимости от обстоятельств (недоброкачественный материал самой краски, плохое качество работы, а также неблагоприятные атмосферные условия при предыдущей окраске) указанный нормальный срок д. б. сокращен. Окраску рекомендуется производить в сухое (но не жаркое) время года; цвет окраски, если не имеется на это каких-нибудь особых указаний, д. б. серый, и только в крайнем случае разрешается производить окраску суриком. Подлежащая новой окраске поверхность д. б. очищена от отстающей краски, а также от ржавчины; наиболее действительна очистка пескоструйными аппаратами; в СССР для этих целей наиболее употребительны металлич. щетки. После очистки поверхность д. б. тотчас же загрунтована и затем уже окрашена не менее как за два раза. При окраске верхних поясов продольных балок ж.-д. М. мостовые брусья необходимо обязательно сдвигать. Краска у нас приготовляется на олифе. Защитные свойства краски обусловливаются способностью олифы давать при застывании эластичную, непроницаемую для атмосферных агентов корку. Однако произведенные новейшие исследования поверхности краски показывают, что олифа в этом отношении далеко не безупречна и что, наоборот, она часто коробится и дает складки, поглощающие влагу. Поэтому отношение к масляным краскам за последнее время меняется. Более действительными считаются покрытия, механически наносимые на металл распыливанием посредством сжатого воздуха. Применение сжатого воздуха очень полезно также при масляных красках, придавая им значительную стойкость. Для сохранения стойкости красковой корки необходимо как можно мельче размалывать краски, так как мелко размолотые (дипрессионные) краски являются наиболее действительными. В виду особенно большой подверженности ржавлению нижних поясов главных ферм М. с ездою понизу, а также верхних поясов продольных и поперечных балок ж.-д. М. рекомендуют эти части окрашивать красками, к-рые имеют в своем составе примесь свинцовых белил. Особое внимание нужно обращать на коробчатые нижние пояса, как можно чаще очищая их от грязи и удаляя скопившуюся воду устройством достаточного числа водоспускных отверстий, диам. $\leqslant 25$ *мм*. Окраску таких частей М., которые подвержены вредному действию дыма от паровозов, рекомендуется производить задолго до прохода поездов, причем после окраски таких частей весьма желательно закрывать их до полного просыхания брезентом или деревом. Для более успешной

борьбы с ржавчиной необходима тщательная очистка от грязи и зашпаклевка щелей, получающихся наприм. при расслоении металла, а также при наличии большого шага в крайних соединительных заклепках; в последнем случае вообще рекомендуют после производства очистки добавлять число связующих заклепок, с таким однако расчетом, чтобы шаг был не больше 200 *мм*. В случае обнаружения в металле трещин и значительных расслоений соответствующие места должны немедленно усиливаться постановкой накладок; при серьезном характере этих повреждений следует сменить весь элемент. Такому же усилению и заделке должны подвергаться также и те части М., которые получили пробоины, прострелы или другие подобные повреждения.

Особо следует отметить вопрос о содержании искривленных элементов главных ферм и ветровых связей. В ранее сооруженных М. диагонали этих связей обычно очень гибки и находятся в провисшем состоянии; если стрела искривления превосходит $^1/_{300}$ часть длины диагоналей, то рекомендуется производить расклепку их с последующим выправлением и натяжением. Что же касается сильно искривленных сжатых раскосов главных ферм, имеющих стрелу искривления больше $^1/_{500}$ длины, то исправить этот недостаток путем соответствующего выправления раскосов чрезвычайно трудно и сложно; здесь уже приходится ограничиваться лишь усилением как самих раскосов, так и соединительной решеточки, связывающей в одно целое ветви раскосов.

б) Относительно заклепочных соединений следует указать, что при обнаружении слабых заклепок (т. е. дребезжащих при простукивании) в ответственных местах таковые должны сменяться; заклепки же, имеющие маломерные головки, плохо притянутые, прожженные, сидящие в неправильных дырах, заменяются в зависимости от того, насколько значительны в них эти недостатки. При смене заклепок вообще допускается одновременно срубание не больше одной заклепки. После окончания смены заклепок д. б. обязательно проверены (выстуканы) и просмотрены все заклепки—как вновь поставленные, так и расположенные с ними рядом; последнее требование обусловливается тем, что обычно при срубании заклепок могут расшатываться и соседние с ними заклепки. Поэтому смена заклепок должна производиться лишь в случае явной необходимости. Весьма желателен при этом точный учет как числа смененных заклепок, так и мест их расположения.

в) Наблюдение над состоянием опорных частей заключается гл. обр. в содержании их в чистоте и в выправлении ушедших сильно из своего нормального положения катков. Весьма желательно плоскости катания, а также и сами катки, во избежание ржавления, натирать графитом; следует однако иметь в виду, что средство это полностью достигает цели лишь тогда, когда натирание производится при поднятых на домкратах фермах, что не всегда возможно сделать; в последних случаях можно рекомендовать смазку нефтью, но при обязательном условии наличия вполне исправных фартуков и осмотра опорных частей не реже, чем 2 раза в месяц.

Содержание пути на ж.-д. М. определяется следующими правилами. 1) В случае расположения пути на поперечных мостовых брусьях последние должны обязательно прикрепляться к продольным балкам помощью специальных типовых лапчатых болтов, которые необходимо держать все время в подтянутом состоянии; весьма желательно при этом, для предотвращения продольного угона брусьев под действие проходящих поездов, хотя бы каждую третью или четвертую поперечину прикреплять к продольным балкам помощью уголков-коротышей и горизонтальных болтов. 2) В случае расположения пути на балласте (балластное корыто) путь должен содержаться в том же состоянии, что и путь вне М., причем особое внимание здесь необходимо обращать на обеспечение отвода скопляющейся воды помощью специальных приспособлений (см. ниже). 3) Для увеличения срока службы мостовых брусьев их следует укладывать в пропитанном состоянии; однако пропитку не следует производить хлористым цинком, так как он разъедающим образом действует на металл; в случае укладки непропитанных брусьев необходимо их обязательно осмолить или проолифить, обратив внимание на те места, которыми брусья непосредственно касаются продольных балок; торцы брусьев для возможности просыхания древесины осмаливать или олифить не рекомендуется; весьма желательна укладка между брусом и рельсовой прокладкой какой-либо упругой прокладки; эта простая мера улучшает работу бруса и он не так сильно смнается и разрушается; для предохранения брусьев от дальнейшего разрушения рекомендуется заливать смолой или зашпаклевывать все трещины, образующиеся в них во время службы; весьма важно следить за общим количеством неудовлетворительных брусьев на М.; количество это не должно превышать 15%, причем нельзя допускать нахождения рядом двух плохих по качеству брусьев. 4) Рельсовый путь на М. укладывают таким образом, чтобы он имел плавный подъем к середине пролета М.; величина подъема может колебаться от $^1/_{5000}$ до $^1/_{2000}$ пролета М., причем такой подъем достигается или соответствующей подрубкой брусьев (с глубиной врубки не более 2 *см*), либо применением металлических или деревянных прокладок необходимой толщины, или наконец применением брусьев разной высоты; резких изломов в продольном профиле и в плане пути на М. не допускается; кроме того необходимо следить за тем, чтобы между осью пути и осью пролетного строения были по возможности самые небольшие расхождения, причем в некоторых случаях наличия особо резких отклонений между осями пути и пролетного строения рекомендуется передвижка последнего. 5) Стыки рельс могут укладываться или в промежутках между брусьями, причем в этом случае необходимо применение под стыком двух ребордчатых мостовых подкладок, или над брусьями. На М. отверстием до 8 *м* путь

должен укладываться без рельсовых стыков; на М. общим протяжением менее двойной длины укладываемых рельс, а также на всех М., снабженных полными комплектами уравнительных приборов, зазоров в стыках рельс совсем не д. б., для чего надлежит принимать специальные меры (вкладыши Янушевского, сварку рельсовых стыков); на всех остальных М. зазоры в стыках рельс не должны превосходить 5 *мм*; для достижения этой нормы рекомендуется применять вкладыши Янушевского; на всех ж.-д. М. вообще рекомендуется производить сварку рельсовых стыков, соблюдая однако следующие условия: а) работа эта должна производиться весьма опытным персоналом; б) после сварки головки рельс д. б. самым тщательным образом зачищены; в) сваренные стыки надо располагать над брусьями; г) в целях увеличения жесткости опоры под свариваемые стыки д. б. подложены специальные подкладки; д) если длина балочного пролетного строения, считая от одной неподвижной опоры до другой или от неподвижной опоры до устоя, больше 60 *м*, то над подвижными опорами д. б. уложены уравнительные приборы, причем обязательно острякового типа; существующие еще до настоящего времени на нек-рых М. уравнительные приборы старого типа со вставками, дающие сильные удары при проходе по ним колес подвижного состава, должны или выноситься на устои или по возможности заменяться приборами нового типа.

В. Состояние настила на М. под обыкновенную дорогу представляет собою самый основной фактор, определяющий интенсивность динамич. воздействия нагрузки: при наличии в настиле, в результате его износа, даже небольших по величине впадин и выбоин проходящие по ним колеса экипажей и автомобилей вызывают значительные удары. Имеющиеся на М. под обыкновенную дорогу обычные двойные дощатые настилы в этом отношении недостаточно рациональны, т. к. верхняя их часть—верхний настил—очень быстро изнашивается; благодаря этому срок службы верхнего настила при средней интенсивности движения следует считать ок. 2 лет, при сильной интенсивности—менее года. Для увеличения этого незначительного срока рационально покрывать доски верхнего настила полосками тонкого железа. Доски нижнего настила укладываются с зазорами в 2,5 *см*, с целью лучшей вентиляции и уменьшения вероятности загнивания их; кроме этого рекомендуется осмаливать их; срок службы нижнего настила 6—8 лет. В поперечном направлении деревянный настил укладывается в среднем с уклоном в 1,5% с целью стока воды в продольные желоба, устраиваемые по краям настила у отбойных брусьев и имеющие ряд водоспускных отверстий. Как желоба, так и указанные отверстия должны систематически прочищаться. Другие, более тяжелые типы верхней одежды полотна М. под обыкновенную дорогу в виде каменных мостовых (гранитной, брусчатой, щебеночной и булыжной) являются более долговечными, но они требуют внимательного и постоянного за собою ухода, особенно щебеночная и булыжная; последнюю приходится возобновлять почти каждый год, в связи с чем стоимость ее ремонта составляет при интенсивном движении выше 10% затраченного капитала (примерно столько же обходится ремонт и дощатого деревянного настила). Стоимость содержания текущего ремонта брусчатой мостовой значительно дешевле и составляет всего только 5% затраченного капитала, но в этой мостовой с течением времени скалываются грани брусков, создавая тем самым неровную поверхность, во избежание чего рекомендуется делать минимальные зазоры между брусками и заливать их цементным раствором и гудроном. Являющаяся наилучшей торцовая мостовая требует за собой также бдительного надзора. Стоимость содержания и текущего ежегодного ремонта ее ок. 5% первоначальной стоимости. Асфальтовая одежда требует весьма тщательного надзора и систематического исправления появляющихся в ней повреждений. Асфальт лучше употреблять прессованный, т. к. литой размягчается от действия солнца. Стоимость текущего ремонта и содержания асфальтовой мостовой ок. 5% первоначальной стоимости.

II. Массивные М. Осмотр и содержание регуляционных сооружений и опор массивных М. (железобетонных, бетонных и каменных) выполняется по тем же правилам, что и металлич. М. Осмотр и содержание пролетных строений массивных М. значительно проще, чем металлических; особенно это справедливо по отношению к каменным М.; здесь все сводится к надзору за состоянием швов облицовки и кладки и изоляции в балластном корыте. При обнаружении на поверхности кладки потеков, вообще заметных следов сырости, д. б. проверено состояние изоляции путем ее вскрытия; в случае существования повреждений изоляция д. б. заменена новой. В качестве изоляции могут употребляться различные эластичные водонепроницаемые материалы, напр. толь, просмоленное джутовое полотно (или войлок), рубероид, представляющий собою листы до 2 *мм* толщиною из шерстяных оческов, пропитанных смолой. Перед укладкой этих материалов изолируемая поверхность предварительно покрывается цементной смазкой и теплой смолой, причем при помощи последней изоляционный материал прикленвается к цементной смазке. Весьма хорошей, но очень дорогой изоляцией являются свинцовые листы толщиною до 3 *мм*, укладываемые между двумя слоями просмоленного полотна по горячему гудрону. Последние нем. данные рекомендуют устраивать изоляцию в виде двух слоев, разделенных между собою и покрытых сверху той либо иной клеевидной смазкой; общая толщина этого изоляционного слоя (без учета толщины предварительной цементной смазки изолируемой поверхности) около 8 *мм*. Для защиты самой изоляции от возможных механическ. повреждений от действия ударов подвижной нагрузки те же нем. данные предлагают покрывать изоляцию специальным защитным слоем, состоящим из пропитанных битумом картона и ткани, покрытых сверху укатанным крупным (2 *мм*) песком; сверху на этот защитный слой, имеющий общую толщину ок. 4 *мм*, укладывают еще специальные плиты. При осмотре бетонных и железобетонных М. рекомендуется обращать внимание на признаки, к-рые указывают на существование возможных раковин в теле бетона, причем достаточно показательным в этом отношении признаком следует считать характерный глухой звук, получающийся при выстукивании молотком поверхности бетонной кладки при наличии в ней раковин. Особое внимание при осмотре и содержании бетонных и железобетонных М. приходится уделять трещинам; при достаточном развитии последних необходимо приступить к их заделке торкретированием; применение последнего может быть рекомендовано и для заделки раковин. Во избежание образования в бетоне трещин вследствие недостаточной обеспеченности темп-рных удлинений необходимо вести тщательный надзор за состоянием соответствующих $t°$-ных швов, периодически их прочищая.

III. Деревянные М. Для деревянных М. вопросы осмотра и содержания играют первостепенную роль с точки зрения увеличения срока их службы. Без систематич. тщательного надзора с последующим исправлением обнаруживаемых дефектов деревянные М. пришли бы в полную негодность через 2—3 г. При осмотре и содержании этих М. приходится обращать внимание: 1) на загнивание дерева, 2) трещиноватость отдельных элементов, 3) состояние врубок и нагелей, 4) подтянутость болтов и тяжей; 5) строительный подъем ферм. Степень загнивания дерева определяют непосредственным тщательным осмотром всех частей моста, причем в подозрительных местах рекомендуется брать пробы дерева буравами. Следует иметь в виду, что наиболее сильное загнивание образуется в тех частях М., которые подвержены действию переменной влажности (сваи М. в пределах колебаний горизонта воды, а также границы сухопутных свай на уровне земли). Опыт кроме того показывает, что большему загниванию подвергаются части М., расположенные с солнечной стороны. При выяснении состояния дерева необходимо достаточное внимание обращать и на признаки, указывающие на наличие таких причин, действующих разрушающим образом на дерево, как червоточина и грибки-паразиты. Наиболее вредными в этом отношении являются свайный червь, или шашень (Feredo navalis), бурильная раковина (Pholas) и жукточильщик (Annobium), причем первые два обычно поражают части, находящиеся в воде, третий—части, находящиеся на воздухе. Разрушения, наносимые этими паразитами дереву, сводятся к пробуравливанию его во всех направлениях. Для уменьшения вероятности нападения указанных паразитов следует употреблять в дело как при самой постройке моста, так и при его ремонте более твердые породы дерева, выбирать более молодой, здоровый, без признаков болезней материал; кроме того необходимо пользоваться деревом зимней рубки, т. к. дерево весенней и летней рубки, обладающее бо́льшим количеством соков, в большей степени подвержено и нападению паразитов. В целях предохранения дерева от вредного влияния переменной влажности и вообще от загнивания рекомендуется осмаливать его, обугливать или окрашивать масляной краской. Более радикальным средством следует признать пропитку дерева антисептич. составами; лучшим из них можно считать состав, состоящий из хлористого аммония (16%), хлористого цинка (4%) и воды (80%); этот состав обладает не только высокими противогнилостными, но и огнезащитными свойствами. Достоинством указанного состава является также его дешевизна. Минусы его: возможное понижение механических качеств древесины и повышение ржавления металлич. частей. Трещины в элементах деревянного М., являющиеся рассадниками загнивания, необходимо замазывать замазкой с целью устранения возможности проникновения в них влаги. Наиболее существенное внимание при осмотре и содержании деревянных мостов нужно уделять состоянию врубок и нагелей; при обнаружении расстроенных врубок следует подтягивать соответствующие болты и тяжи; усохшие, ослабевшие нагеля необходимо систематически подбивать и сменять. Весьма показательно с точки зрения оценки общего состояния ферм деревянных мостов последовательное сравнение кривых их строительных подъемов, к-рые для деревянных М. чрезвычайно слабо зависят от $t°$ влияний: во-первых, потому что коэф-т линейного расширения дерева в 3 с лишним раза меньше, чем у железа, а во-вторых, потому что пролеты деревянных М. обычно небольшие.

Исследование и испытание М. Экспериментальные исследования М. в настоящее время представляют собой сильно развившуюся специальную отрасль технич. знаний, посвященных изучению действительного характера работы как всего сооружения в целом, так и отдельных его частей. Особенно много было сделано в области указанных экспериментальных исследований в последнее 10-летие в СССР трудами Института инженерных исследований НКПС. Все эти исследования м. б. разбиты на две основные группы: 1) исследования, выясняющие работу М. под статич. действием нагрузки; 2) исследования, выясняющие работу М. под динамич. действием нагрузки. К первой группе относятся исследования, посвященные изучению: а) конструктивных поправок напряжений и прогибов (т. е. отношений между действительными и соответствующими теоретическими деформациями); б) дополнительных напряжений; в) $t°$-ных деформаций; г) сдвигов в заклепочных соединениях. Ко второй группе относятся исследования, посвященные изучению: а) свободных колебаний М. как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях; б) динамич. коэф-тов (т. е. отношений между наибольшей динамич. и наибольшей статической деформациями) ж.-д. мостов для разных типов нагрузок (паровозов); в) динамич. коэф-тов М. под обыкновенную дорогу для различных типов нагрузок (толпа,

лошади, автомобили, артиллерия и т. д.); г) коэф-тов площадей диаграмм, т.е. коэф-тов, представляющих собою отношение площадей действительных, полученных при испытании М. диаграмм тех или иных деформаций, к площадям теоретич. статич. диаграмм тех же деформаций. Такое значительное развитие дела исследования М. позволяет сейчас уже применять нек-рые результаты этих исследований при решении чисто практич. экспертных задач относительно степени удовлетворительности мостов. Производя специальное испытание М. под временной нагрузкой и рассматривая в совокупности результаты этого испытания, а также результаты осмотра М., можно делать обоснованные заключения о состоянии и качестве работы моста под нагрузкой.

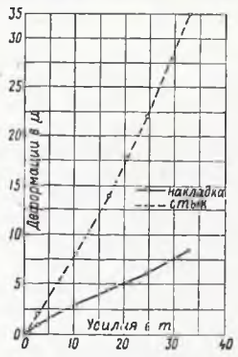
А. Металлические мосты. Перед испытанием пролетного строения под нагрузкой ставится задача выяснения следующих трех вопросов: 1) общего состояния пролетного строения; 2) действительного характера работы отдельных его конструктивных частей и дефективных или усиленных элементов и 3) интенсивности действительного динамического воздействия нагрузки на пролетное строение. Наиболее сложным из этих трех вопросов является первый, т. е. выяснение по результатам испытания моста под нагрузкой его общего состояния. Полное разрешение этого вопроса требует еще весьма глубоких и тонких исследований как природы металла М., так и природы работы заклепочных соединений. В настоящее время при испытании моста под нагрузкой имеются два признака, способных отчасти служить для сравнительной оценки общего состояния пролетных строений: 1) отношение действительного прогиба моста к соответствующему теоретическому (конструктивная поправка прогиба) и 2) скорость затухания свободных колебаний. Дело в том, что действительный прогиб главных ферм (обычно в середине пролета) вообще не м. б. равен теоретическому, определяемому для плоскостной шарнирной схемы, причем можно назвать две основных причины, способных вызывать разницу между этими величинами. Первая причина—влияние на прогиб М. действительной жесткости узлов, пространственности конструкции и различного рода дополнительных частей (фасонок, накладок, соединительных решеток и пр.), имеющихся в действительных пролетных строениях и не учитываемых при подборе сечений стержней. Все эти три фактора действуют на величину прогиба М. понижающе. Вторая причина—упругие расхождения в стыках и прикреплениях элементов, вследствие наличия соответствующих деформаций изгиба в заклепочных соединениях. Что эти деформации существуют и имеют достаточно заметную величину, доказывается не только результатами соответствующих лабораторных исследований, к-рые произведены как у нас, так и за границей, но и опытными измерениями, осуществленными на самих мостах. Для примера приводим две диаграммы, к-рые характеризуют деформации в стыковой накладке и в стыке вертикального листа вытянутого (фиг. 24) и сжатого (фиг. 25) раскоса. Из рассмотрения графиков видно, насколько значительно стыковые расхождения превосходят соответствующие деформации в накладках. Таким образом, если обозначить величину прогиба шарнирной плоскостной фермы через $f_ш$., величину влияния на прогиб моста первой причины через $f_ж$., а второй причины через $f_з$., то действительный прогиб моста f м. б. представлен в следующем виде:

$$f = f_ш. - f_ж. + f_з., \qquad (1)$$

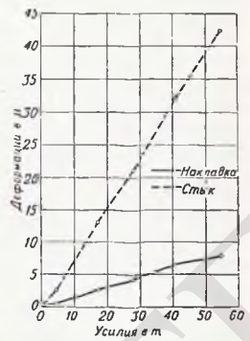
откуда получаем отношение между действительным и теоретич. прогибом (конструктивную поправку прогиба):

$$\frac{f}{f_ш.} = 1 - \frac{f_ж. - f_з.}{f_ш.}. \qquad (2)$$

Влияние жесткости узлов и пространственности конструкции на прогиб М. весьма невелико—порядка 4—5%; поэтому величина $f_ж$. наиболее существенно зависит от участия в работе стержней различных дополнительных частей: чем больше последних, тем больше $f_ж$., тем меньше будет прогиб f. Количество указанных дополнительных частей характеризуется так наз. средним конструктивным коэф-том веса М., т. е. отношением действительного веса к теоретическому, исчисленному по теоретич. площадям сечений элементов. Т. к. для однотипных М. этот средний конструктивный коэф-т м. б. принят приближенно за постоянную величину (для балочных М. ~ 1,75), то можно считать, что относительное влияние $f_ж.$, т. е. $f_ж. : f_ш.$ для подобных М. меняется несущественно; в таком случае приходим к выводу, что заметная разница в значениях конструктивных поправок прогибов ($f_ж. : f_ш.$) для однотипных мостов является результатом неодинаковости величин деформаций в заклепочных соединениях, причем бо́льшие по величине поправки указывают на существование и бо́льших по своему относительному значению деформаций. Признавая (вполне обоснованно), что бо́льшие по величине расхождения в стыках являются отрицательными признаками, которые указывают на худшую работу заклепочных соединений, можно считать, что бо́льшие конструктивные поправки прогибов указывают на менее удовлетворительное состояние пролетного строения. Из выражения (2) следует, что при $f_ж. = f_з.$ конструктивная поправка $\frac{f}{f_ш.} = 1$, при $f_з. > f_ж.$ она больше 1, и



Фиг. 24.



Фиг. 25.

при $f_з. < f_ж.$—меньше 1. Точного соотношения между $f_ж.$ и $f_з.$ до сих пор не установлено в виду исключительной трудности и экспериментального и теоретич. определения величины $f_з.$; однако, судя по результатам определения отношений $f_з. : f_ш.$ для весьма значительного числа подвергавшихся испытаниям М., для которых как правило эти отношения всегда получались меньшими 1, можно считать, что вообще $f_з. < f_ж.$ Отсюда с достаточной очевидностью вытекает необходимость весьма осторожного отношения к пролетным строениям, имеющим конструктивную поправку прогиба больше 1; состояние заклепочных соединений подобных пролетных строений д. б. самым тщательным образом проверено путем простукивания заклепок. В некоторых, правда довольно редких, случаях не удается произвести достаточно удовлетворительного измерения прогиба ферм при помощи имеющихся для этой цели приборов (напр. при очень большой высоте расположения моста, когда приходится применять весьма большой длины проволоку, измерение к-рой не м. б. произведено с необходимой точностью при достаточно значительном ветре или при сильной скорости течения воды; или же при половодьи или ледоходе, когда измерения прогибов вообще произвести невозможно). Во всех этих случаях величину прогиба можно определить по периоду собственных свободных вертикальных колебаний пролетного строения. Период этот, как известно, выражается ф-лой:

$$T_y = 2\pi\sqrt{\frac{f_p}{g}}, \qquad (3)$$

где f_p—прогиб М. от действия собственного его пог. веса p, а $g = 9{,}81$ $м/сек^2$—ускорение силы тяжести. Т. к. прогиб f_q от действия временной пог. нагрузки q д. б. равен

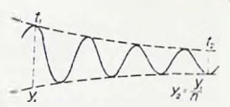
$$f_q = f_p \cdot \frac{q}{p},$$

то, вставляя сюда f_p из выражения (3), получим:

$$f_q = \frac{T_y^2 g}{4\pi^2} \cdot \frac{q}{p}. \qquad (4)$$

Т. о. зная T_y можно, не измеряя непосредственно прогиба, знать его величину.

Вторая характеристика, получаемая при испытании пролетного строения под нагрузкой и позволяющая отчасти судить об общем его состоянии,—скорость затухания собственных свободных колебаний—вытекает из следующих соображений. Вообще затухание свободных колебаний происходит вследствие наличия различного рода внешних и внутренних сопротивлений, причем чем больше эти сопротивления, тем быстрее затухают свободные колебания, и наоборот. При колебаниях М. внешними сопротивлениями являются гл. образом силы трения в опорных частях и сопротивление воздуха, а сопротивлениями внутренними—главным обр. внутренние сопротивления в заклепочных соединениях. Ясно, что для пролетных строений одной и той же системы и величины пролета влияние внешних сопротивлений на скорость затухания, при отсутствии резкой разницы в состоянии опорных частей в отношении защемления и загрязненности, д. б. одно и то же. Отсюда вывод: существование в подобных по системе и пролету мостах заметно разных по величине скоростей затухания свободных колебаний свидетельствует о наличии различных внутренних сопротивлений в их заклепочных соединениях, а т. к. заклепочные соединения с большими внутренними сопротивлениями являются соединениями менее удовлетворительными, то следовательно более высокие скорости затухания характеризуют менее удовлетворительное состояние пролетного строения. Скорость затухания свободных колебаний определяется нижеследующим образом. Если допустим, что те сопротивления, вследствие к-рых свободные колебания постепенно затухают, прямо пропорциональны скорости колебаний, то кривая затухания амплитуд, т. е. закон изменения ординат, заключающихся между линиями, являющимися огибающими кривой колебаний (фиг. 26), выразится следующим уравнением:



Фиг. 26.

$$y = Ae^{-\varepsilon t}, \qquad (5)$$

где ε—коэфициент, пропорциональный указанным сопротивлениям, а A—наибольшая амплитуда свободных колебаний (в момент времени $t = 0$). Для определения ε на кривой, выражаемой ур-нем (5), можно взять две точки с ординатами y_2 и $y_1 = ny_2$ (где n—какое-либо целое число), соответствующими моментам времени t_2 и t_1; тогда

$$y_1 = Ae^{-\varepsilon t_1} \text{ и } y_2 = Ae^{-\varepsilon t_2},$$

откуда

$$\frac{y_1}{y_2} = n = e^{\varepsilon(t_2 - t_1)} \text{ и } \varepsilon = \frac{\ln n}{t_2 - t_1}. \qquad (6)$$

Скорость затухания z характеризуется т. н. декрементом затухания—произведением величины ε на период свободных колебаний T, т. е.

$$z = \varepsilon T = T \cdot \frac{\ln n}{t_2 - t_1}, \qquad (7)$$

причем n обычно берется равным 2. Многочисленные опытные измерения показывают, что действительные периоды как вертикальных, так и горизонтальных поперечных собственных свободных колебаний ж.-д. балочных пролетных строений хорошо укладываются на прямые, выражаемые ур-ниями

$$T_y = 0{,}004l \qquad (8)$$

и

$$T_x = 0{,}008l, \qquad (9)$$

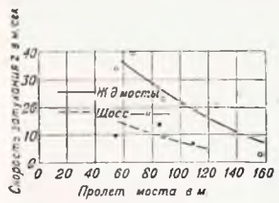
где l—пролет моста; в выражении (7) можно поэтому вместо T поставить l, т. е. скорость затухания определять ур-нем:

$$z = l\varepsilon = l\,\frac{\ln n}{t_2 - t_1}. \qquad (10)$$

В настоящее время определенно известно, что скорость затухания свободных вертикальных колебаний заметно падает с увеличением пролета. Для примера на фиг. 27 дана зависимость этих скоростей от пролета, полученная по результатам исследования ряда ж.-д. М. Из графиков видно, что скорости затухания оказываются различными для железнодорожных М. и шоссейных М., причем для последних они заметно меньше.

Вторым вопросом при испытании моста под нагрузкой является выяснение действительного характера работы отдельных его конструктивных частей, а также усиленных или дефективных элементов. Здесь трудно дать какие-либо общие указания: программа необходимых измерений в каждом отдельном случае будет различна: все зависит от типа и особенностей подвергающегося испытанию объекта.

Что же касается тех измерений, которые следует производить при испытании мостов, которые подвергались усилению или имеют те или иные внешние дефекты и повреждения, то здесь следует иметь в виду необходимость обязательного выяснения степени участия в действительной работе усиленных элементов частей, поставленных в результате усиления, а также действительного характера работы дефективных и поврежденных элементов и влияния их на работу других элементов.



Фиг. 27.

Третьим вопросом, стоящим при испытании М. под нагрузкой, является выяснение интенсивности действительного динамич. воздействия нагрузки на пролетное строение. Вопрос этот имеет существенное значение по той причине, что до сих пор М. рассчитываются, строго говоря, на действие статич. нагрузки, увеличенной лишь умножением на динамич. коэф., к-рый определяется весьма приближенно по нек-рым эмпирическим формулам, совершенно не способным оценить ни истинного характера, ни действительной интенсивности динамич. воздействия подвижной нагрузки. Природа этого динамич. воздействия очень сложна; основными факторами, определяющими ее, являются: 1) скорость движения, 2) периодически меняющиеся по величине силы, развивающиеся в подвижной нагрузке, и 3) ударные силы. Влияние первого фактора очень незначительно. Влияние второго фактора имеет существенное значение для ж.-д. М., т. к. при проходе паровозов, являющихся вообще машинами неуравновешенными в вертикальной плоскости, образуются переменные вертикальные силы, меняющиеся по закону, близкому к синусоидальному, с периодом, равным обороту колеса паровоза. От действия этих неуравновешенных сил возникают правильные колебания М., имеющие период, равный периоду действия указанных сил (т. е. периоду оборота колеса паровоза). Наибольшие амплитуды колебаний получаются в том случае, когда величина этого периода совпадает с периодом свободных вертикальных колебаний М. вместе с нагрузкой; в этом случае образуется явление резонанса, т. е. правильный рост амплитуд колебаний, причем интенсивность этого возрастания амплитуд определяется коэфициентом ε, пропорциональным сопротивлениям, имеющим место при колебаниях М. Для примера на фиг. 28 изображена диаграмма прогиба середины М. пролетом 126 *м*, снятая при проходе паровоза серии Ч (0—4—0) со скоростью, соответствующей явлению резонанса. Скорость эта называется критической, так как именно при ней деформации в пролетном строении достигают при данной нагрузке своих наибольших значений; величина ее v определяется по формуле

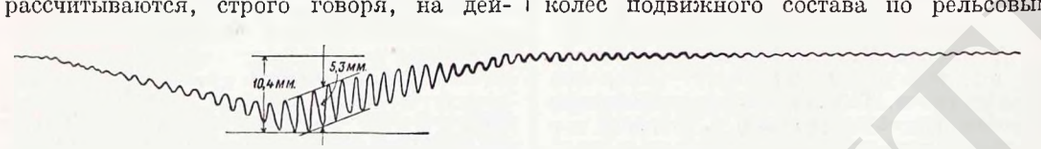
$$v = \frac{\pi D}{T_y}, \qquad (11)$$

где D—диаметр колеса паровоза, а T_y—период свободных колебаний М. вместе с нагрузкой; при этом можно принять, что

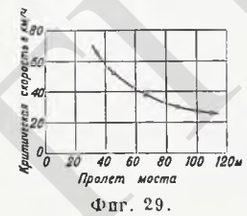
$$T_y = 0{,}004 l \sqrt{\frac{p+q}{p}},$$

где p и q имеют то же значение, что и в выражении (4). Из ф-лы (11) можно видеть, что величина критич. скорости тем больше, чем меньше пролет. Для примера на диаграмме (фиг. 29) показана зависимость критической скорости от пролета М. для поезда, состоящего из одного паровоза серии Э, имеющего $D=1{,}32$ *м*, с товарными вагонами.

Ударные воздействия подвижной нагрузки на М. образуются в ж.-д. М. при проходе колес подвижного состава по рельсовым стыкам, а в шоссейных мостах—при проходе колес экипажей по неровностям настила. К числу ударных же воздействий необходимо отнести также ходьбу людей и топот животных на шоссейных М. Когда все эти ударные силы действуют беспорядочно, без определенного ритма, то, нейтрализуя друг друга, они не могут создать сильного повышения динамич. эффекта, так как сама по себе величина этих ударов, взятых в отдельности, весьма невелика; лишь для М. очень небольших пролетов, имеющих малую массу, удары при проходе нагрузки по неровностям пути (рельсовым стыкам в ж.-д. М. и выбоинам в настиле в шоссейных М.) будут иметь некоторое значение. Совсем иная картина получается, как только удары способны приобрести правильную периодичность, т. к. при совпадении периода ударных воздействий с периодом свободных колебаний М. вместе с нагрузкой образуется явление резонанса и динамич. эффект резко повышается. Для примера на фиг. 30

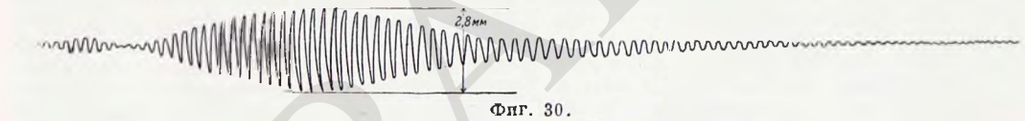


Фиг. 28.



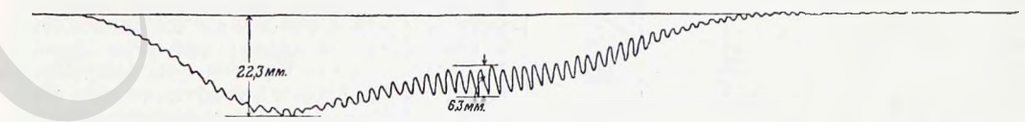
Фиг. 29.

изображена диаграмма прогиба середины 87-*м* шоссейного М., снятая во время бега одного человека по мосту правильным ритмом, совпадавшим с ритмом свободных вертикальных колебаний самого М. Чтобы оценить в данном случае динамический эффект, заметим следующее. Если бы тот же человек прошел по М. обычным шагом, то прогиб получился бы настолько ничтожным, что он даже не был бы зарегистрирован прибором,—получилась бы прямая линия. Особенно серьезным становится динамич. эффект при проходе и пробеге по мосту целой толпы людей в ногу с ритмом, соответствующим ритму свободных колебаний М. вместе с нагрузкой; в этом случае величина удара, слагающаяся из ударов многих людей, резко возрастает, в связи с чем резко возрастает и амплитуда колебаний, которая при достаточных размерах толпы может достигнуть даже величин, влекущих за собой обрушение М., что и наблюдалось неоднократно. По этим соображениям проход по М. сплошной толпы в ногу не разрешается. В ж.-д. мостах ударные воздействия, возникающие при проходе колес состава по рельсовым стыкам, могут также приобретать правильный ритм, когда нормальные товарные вагоны имеют одинаковые расстояния между осями, например 3,8 *м*. Нетрудно себе представить, что при движении такой вагонной нагрузки со скоростью $v = \frac{3{,}8}{T_y}$ будет иметь место явление резонанса, т. е. совпадение периода действия ударов при проходе вагонных осей по рельсовому стыку с периодом T_y свободных вертикальных колебаний моста с нагрузкой. Для примера на фиг. 31 изображена диаграмма прогиба середины 109-*м* моста, имевшего посредине пролета рельсовый стык с большим зазором (~15 *мм*). Диаграмма снята была при проходе поезда, состоявшего из одного паровоза серии 0 (0—4—0) с двухосными нормальными товарными вагонами; во второй части ее (с меньшими по абсолютной величине ординатами), соответствующей как раз проходу по мосту вагонной нагрузки, имеется правильное резонансное нарастание амплитуд колебаний до нек-рого предела, определяемого значением коэф-та ε для данного М. Из изложенного ясно, что динамич. испытание М. должно выяснить фактическую его работу в самых неблагоприятных условиях, т. е. или при явлении резонанса или при максимальных возможных скоростях движения. Т. к. критические скорости, дающие явление резонанса, для М. малых пролетов оказываются очень большими, то для этих М. максимальный динамич. эффект соответствует проходу нагрузки с максимальной скоростью. При производстве динамич. испытаний обычно подвергаются измерению: а) прогиб в середине пролета главных ферм, б) продольные горизонтальные перемещения подвижных концов главных ферм, в) поперечные горизонтальные колебания середины пролетного строения и г) напряжения хотя бы в одном элементе пояса и решетки главных ферм.

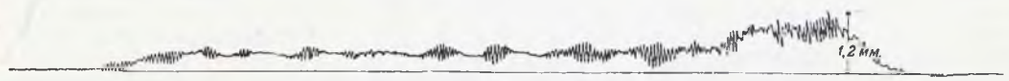


Фиг. 30.

Б. М а с с и в н ы е М. Испытание массивных М. не получило еще такого большого развития, как испытание металлич. М., вследствие большой мощности этих М. и меньшей реакции их на воздействие временных нагрузок. Исследования массивных М. производятся с помощью тех же измерительных приборов, что и исследования металлич. мостов; результаты этих исследований, несмотря на малые деформации массивных М., являющиеся достаточно надежными, позволяют уже сделать некоторые выводы, имеющие практич. значение; например исследование динамич. коэф-тов обнаружило, с одной стороны, что действительные величины их несколько меньше, чем принимающиеся при расчете железобетонных жел.-дор. мостов, а с другой стороны, что железобетонные М., несмотря на значительную величину своей массы и на наличие балластного корыта, весьма чувствительно реагируют на удары, возникающие при проходе по ним подвижной нагрузки. Для иллюстрации на фиг. 32 приведена диаграмма прогиба середины 45-*м* арочного двухпутного железобетонного М., снятая при проходе по нему двух встречных поездов; на диаграмме хорошо видны те значительные колебания, которые испытывал М. от ударов, возникавших при проходе колес нагрузки по среднему рельсовому стыку, имевшему как раз большой зазор. Исследование вертикальной жесткости железобетонных М., выполненное сравнением измеренных опытным путем прогибов с тео-

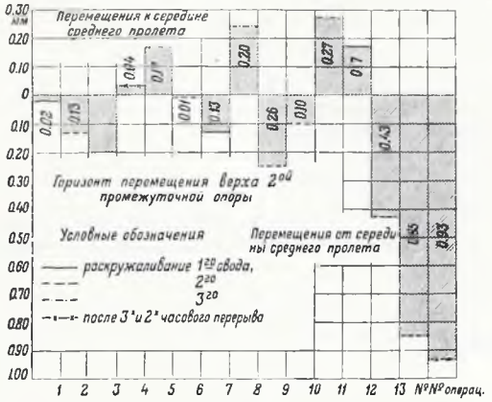


Фиг. 31.



Фиг. 32.

ретическими, определенными для различных соотношений между модулями упругости бетона и железа, позволило установить, что это отношение заметно меньше, чем обычно принимается в расчете, и в среднем оказывается ≅ 7—8. Объяснением этого факта может служить увеличение прочности бетона с временем, установленное, как известно, соответствующими исследованиями лабораторных образцов. Произведенное измерение деформаций при раскружаливании сводов каменного М. и сравнение их с деформациями теоретическими выяснило действительное значение модуля упругости каменной (в данном случае гранитной) кладки, к-рый



Фиг. 33.

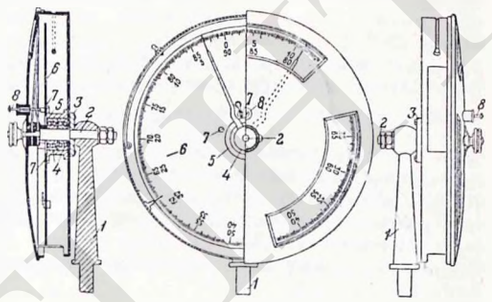
оказался равным 60 000 *кг/см²*, что совпадает с цифрой, предусмотренной нормами. Следует отметить, что вообще раскружаливание сводов каменных М., являющееся самым ответственным моментом в их жизни, весьма желательно вести, сопровождая его измерением наиболее ответственных деформаций—вертикальных перемещений, ключевых и горизонтальных перемещений пятовых точек сводов; особенно полезными подобные измерения следует признать в случае раскружаливания сводов многопролетных М., т. к. они позволяют регулировать равномерность опускания отдельных сводов и горизонтальных перемещений пятовых их точек. На фиг. 33 изображен график горизонтальных продольных перемещений верха промежуточной опоры, который построен по результатам измерений, производившихся при раскружаливании сводов трехпролетного каменного М. Приведенный график дает наглядное представление о последовательных перемещениях верха промежуточной опоры в течение всего процесса раскружаливания, причем большая величина перемещения, получившаяся после окончания раскружаливания, объясняется тем, что в данном случае пролеты моста были разные. Что касается узко эксплоатационных испытаний массивных М., подобных соответствующим испытаниям металлического М., то методика их еще совсем не выработана; в то же время можно считать, что для массивных М. подобные узко эксплоатационные испытания под временной нагрузкой не столь необходимы и показательны, как для металлических М., по той простой причине, что эта временная нагрузка для массивных мостов, особенно каменных и бетонных, составляет незначительную долю их полной расчетной нагрузки.

В. Деревянные М. Методика испытания деревянных М. является еще менее разработанной, чем методика испытания М. массивных. В общем она аналогична методике исследования металлич. М. и касается измерений прогибов и напряжений. Специальными исследованиями работы деревянных мостов в СССР занимался упомянутый выше Институт инженерных исследований НКПС. По существующим у нас технич. условиям на сооружение деревянных ж.-д. М. предусматривается обязательность производства испытания этих М. под временной нагрузкой как статической, так и динамической, причем допускаемый упругий статич. прогиб деревянных М. со сквозными фермами при действии расчетной временной нагрузки не должен превосходить величины, определяемой ф-лой:

$$f_l = \frac{5}{24} \cdot \frac{nl^2}{Eh} m,$$

где n—допускаемое напряжение дерева на изгиб в *кг/см²*, l—расчетн. пролет М. в *см*, h—конструктивная высота ферм в *см*, E—модуль упругости дерева (110 000 *кг/см²*), а коэфициент m равен: для ферм системы Гау 1,10, Лембке 1,20 и Тауна 1,30. Кроме измерения прогибов желательно при испытаниях деревянных М. производить измерения расхождений в стыках досок и брусьев; результаты этих измерений характеризуют степень удовлетворительности работы соответствующих стыковых соединений.

Приборы для испытания М. В настоящее время существует весьма большое количество специальных точных приборов, служащих для измерения деформаций в М.,



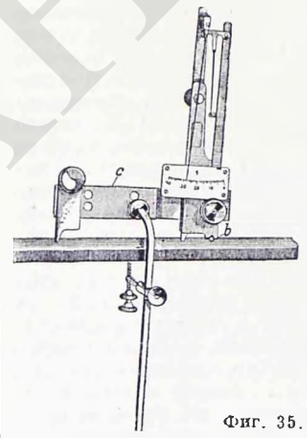
Фиг. 34.

причем все они м. б. разбиты на две основные группы: 1) приборы, способные регистрировать деформации только при статич. действии нагрузки; 2) приборы, приспособленные для регистрации деформаций при динамич. действии нагрузки. Ниже приводится краткое описание только новейших приборов.

Прогибомер инж. Н. Максимова (фиг. 34), служащий для измерения статич. прогибов, состоит из точеной стойки *1*, на верх к-рой насажена ось *2*, несущая на себе на шарикоподшипниках *4* шкив *5*, к торцу к-рого прикреплен диск *6* с циферблатом. Диам. окружности, по к-рой нанесены на циферблате де-

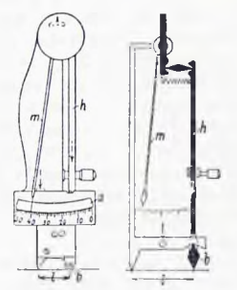
ления, в 5 раз больше диам. шкива. Насаженные на ось *2* две стрелки имеют симметричные выгибы, которыми они могут обжимать штифтик *7*, расположенный на радиусе, проходящем через нулевое деление шкалы; в прижатом к штифтику *7* состоянии концы стрелок указывают на нуль; штифтик *7* может ложиться на диск, тогда он не мешает движению шкива и диска. Штифтик *8* со спиральной пружиной, помещенной в специальном цилиндре, прикрепленном к крышке прибора, служит для приведения стрелок в нулевое положение. Кроме двух подвижных стрелок, насаженных на ось *2*, имеется еще неподвижная стрелочка, прикрепленная к коробке прибора. Шкала разделена на 450 частей. Весь прибор заключен в металлич. коробку, прикрепленную к шайбе *3*, со съемной крышкой, могущей поворачиваться. При измерении стойка *1* вставляется в специальную струбцинку, привертываемую к М.; через шкив *5* перекидывается проволока или специальная стальная лента, один конец которой связан с проволокой, идущей к неподвижной по отношению к М. точке, а к другому концу подвешивается грузик, создающий постоянное натяжение в проволоке. При прогибе М. шкив вместе с диском-циферблатом поворачивается, причем при непрерывном наблюдении за изменением величины прогиба можно пользоваться неподвижной стрелочкой, при желании же получить только максимальные величины прогибов пользуются двумя другими стрелками; в этом случае перед испытанием они приводятся в нулевое положение при приподнятом штифтике *7*; при прогибе в одну сторону одна из стрелок повертывается вместе со шкивом, другая остается на месте; прогиб в обратном направлении регистрируется второй стрелкой. Масштаб увеличения прибора 5 : 1. Опыт трехлетнего применения этого прибора в СССР дал весьма удовлетворительные результаты.

Экстензометр Гуггенбергера (Huggenberger, фиг. 35) служит для измерения удлинений материала между двумя точками. Состоит он из двух неравноплечих рычагов h и m, из к-рых последний является одновременно указательной стрелкой; распорка n служит для передачи перемещения верха рычага h стрелке m; не трудно представить, что при удлинении базы l прибора конец стрелки m пойдет влево (растяжение), при укорочении—вправо (сжатие). База l в приборе равна 2 *см*; она может быть увеличена употреблением дополнительных штанг *c*, имеющих длину 10, 20, 50, 80 и 100 *см*, к к-рым прибор может привинчиваться специальным зажимным винтом; в этом случае прибор располагается несколько наклонно, с тем чтобы он касался исследуемого элемента только одним острием *b*. Прикрепление прибора к исследуемому М. осуществляется помощью специальных зажимных струбцинок разнообразной формы. Масштаб увеличения в среднем ок. 850 : 1. Для работы на М. модель, изображенная на фиг. 35 (т. н. модель В), неудобна тем, что механизм прибора не защищен от действия атмосферных влияний. В настоящее время имеется другая модель (А), в этом отношении более удобная, так как наиболее сложная по конструкции часть прибора заключена в коробочку (фиг. 36); кроме того в этой модели шкала прибора имеет зеркало *s*, позволяющее делать более точно отсчеты. Масштаб увеличения в приборах модели А также больше, в среднем ок. 1 100 : 1. Обе модели при значительном ветре на М. не позволяют делать удовлетворительных отсче-



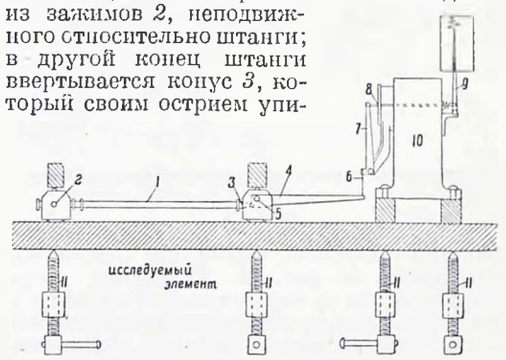
Фиг. 35.

тов, т. к. стрелки приборов сильно колеблются. По измеренным удлинениям и модулю упругости материала можно знать напряжения в нем.



Фиг. 36.

Экстензометр Гейгера (фиг. 37) употребляют для измерения удлинений между двумя точками материала при динамич. действии нагрузки. Он состоит из двух главных частей: 1) коробки с часовым механизмом и приспособлением для записи диаграммы изменения удлинения; 2) штанги с двумя зажимами для прикрепления ее к исследуемому элементу. Штанга *1* длиной 250 и 500 *мм* представляет собою полую трубку с внутренней нарезкой; одним концом она ввертывается в ось одного из зажимов *2*, неподвижного относительно штанги; в другой конец штанги ввертывается конус *3*, который своим острием упи-



Фиг. 37.

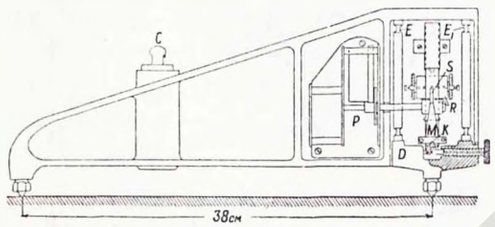
рается в коленчатый рычаг *4*, имеющий ось вращения во втором зажиме *5* штанги. На конце рычага *4* имеется углубление, в к-рое вставлена игла *6*, другим своим концом упирающаяся в углубление рычага *7*; послед-

ний своим концом прижимается к игле *8*, проходящей через отверстие в коробке *10* часового механизма, снабженной пружиной и соединенной с пишущим пером *9*. Не трудно видеть, что при изменении расстояния между зажимами *2* и *5* штанги это изменение помощью указанной выше системы рычагов передается в известном масштабе на конец пишущего пера. Как зажимы, так и коробка с часовым механизмом прижимаются к исследуемому элементу помощью специальных струбцинок *11*. Помощью коробки экстензометра Гейгера можно производить и измерение прогибов при динамическом действии нагрузки. Институт инженерных исследований НКПС с успехом применяет при этом способ, схематично изображенный на фиг. 38. К мосту прикрепляется только коробка прибора Гейгера с коленчатым рычагом *7*; между мостом и неподвижной по отношению к нему точкой (дном реки) натягивается помощью пружины *12* вертикальная проволока, имеющая на уровне коленчатого рычага прибора отросток, входящий в углубление на конце этого рычага. Т. к. в проволоке все время действует постоянное натяжение, равное натяжению пружины, то при вертикальных перемещениях М., происходящих вместе с прибором, происходит одновременно и поворот рычага *7*, передающийся затем иглой *8* на ленту. В последнее время Гейгер предложил усовершенствованную модель своего прибора, в к-рой часовой механизм отделен от остальной части прибора; кроме того в этой модели прибор заключен в закрытую коробку.

Фиг. 38.

Виброграф Гейгера может регистрировать колебания М. как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Описание см. *Колебательные движения*.

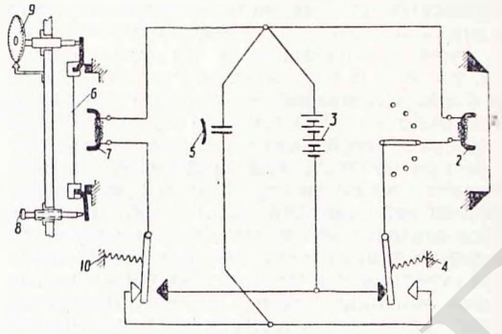
Экстензометр Cambridge Stress Recorder служит для измерения удлинений материала между двумя точками при динамическом



Фиг. 39.

действии нагрузки. Схема его устройства изображена на фиг. 39. Измерения могут производиться на базе, равной 38 *см* (15 дм.). Прибор состоит из тяжелой металлич. рамы-коробки, имеющей два закрытых отделения, в одном из к-рых помещается часовой механизм *P*, а в другом подвижная часть прибора и пишущее приспособление. Прибор прижимается к испытываемому элементу тремя острыми конусами специальной струбцинкой, нажимающей на выступ *C* рамы. Два конуса неподвижны, третий, связанный с частью *D* прибора, может вместе с нею поступательно перемещаться благодаря наличию соответствующих шарниров *E* и E_1. Это перемещение части *D* передается рычагу *K*, связанному с пишущим пером *M*, снабженным на конце острым штифтиком *S*, царапающим диаграмму на целлюлоидной ленте *R*. Увеличение на ленте равно 10, так что диаграмма затем рассматривается в специальный микроскоп, дающий возможность делать непосредственно отсчеты напряжений для различных модулей упругости материала. Большого распространения при исследовании М. этот прибор не получил.

Экстензометр Шефера (O. Schaefer) фирмы Майхак служит для измерения удлинений материала между двумя точками под статической нагрузкой. По принципу действия он отличается от всех описанных выше приборов и относится к разряду акустических струнных приборов. Основная схема измерений этим прибором приведена на

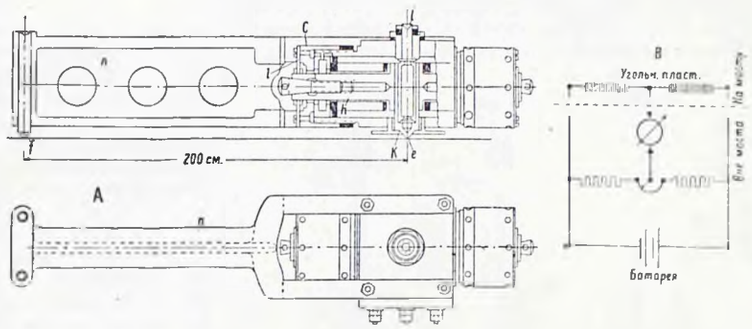


Фиг. 40.

фиг. 40. На исследуемом элементе прикрепляется струна *1*, к-рая снабжена постоянным магнитом *2* с катушками на полюсах; катушки эти включены в общую электрич. цепь, питаемую батареей *3*; при нажатии кнопки *4* ток проходит через катушки, усиливает магнитное поле постоянного магнита и притягивает к себе струну *1*; при отпуске кнопки *4* струна приходит в колебательное движение, вызывающее в катушках магнита *2* индуктированные токи, проходящие, как нетрудно видеть из схемы, через телефон *5*, в который можно слышать звук с высотой тона, соответствующей натяжению струны. Непосредственно в самом приборе заключена струна *6* с таким же магнитным приспособлением *7*, включенным в ту же электрич. цепь, что и струна *1* на исследуемом элементе. Натяжение струны *6* может меняться винтами *8* и *9*, причем вращение последнего фиксируется показаниями соответствующей шкалы. Звучание струны *6* совершенно таким же способом, как и струны *1*, передается при отпуске нажатой кнопки *10* в телефон *5*. Изменяя винтом *9* натяжение струны *6* и заставляя ее звучать в унисон с струной *1*, можно отмечать по шкале отсчет, соответствующий первоначальному натяжению измерительной струны. При загружении исследуемого элемента натяжение струны *1*, а следовательно и тон ее звучания, меняется. Эта разница в тоне определяется по той же шкале *9*. Т. к. между длиной струны и

числом ее свободных колебаний (т. е. тоном) существует прямолинейная зависимость, то упомянутая разность дает в известном масштабе и удлинение. Длина базы прибора (расстояние между исследуемыми точками) 15 *см*. Для включения различных струн, которые находятся на испытуемом элементе, служит рукоятка. Для усиления звука в электрич. цепь включается обычно еще специальный усилитель.

Т е л е м е т р ы. В самое последнее время появились приборы, к-рые относятся по принципу своего действия к типу электрических. Они служат для измерения удлинений между двумя точками материала. Самый прибор (фиг. 41, А) состоит из металлич. вилкообразной рамки *n*, соединенной с коробкой *c*, имеющей внутри продольную диафрагму *h*, разделенную по середине своей длины вертикальным полым цилиндриком *k*, снабженным на нижнем конце коническим острием *e*; подобное же острие *f* имеется и на одном из концов рамки *n*; острия *e* и *f* служат для прижатия прибора помощью специальных струбцинок к исследуемому образцу, причем для того, чтобы можно было сделать это в отношении острия *f*, внутри полого цилиндра *k* вставлен стержень *i*, снабженный двумя шарнирами, делающими возможным независимое поступательное перемещение цилиндра *k* по отношению к стержню *i*. Диафрагма *h* может перемещаться вместе с цилиндром *k* и изменять при этом взаимные расстояния между насаженными на нее угольными пластинками (служащими сопротивлениями) так. обр., что пластинки на одной половине диафрагмы сближаются, а на другой раздвигаются, что ведет к изменению величины сопротивления в каждой половине диафрагмы. Помощью трех проводов, заключенных в один кабель, прибор включается в цепь мостика Витстона (фиг. 41, В), расположенного в специальном измерительном помещении, могущем находиться вдали от моста. При изменении расстояния между остриями *e* и *f*, т. е. при наличии деформации в исследуемом элементе, образуется разница в сопротивлениях угольных пластинок одной и другой половины диафрагмы *h*, к-рая вызывает изменение силы тока в мостике Витстона. При статическ. действии нагрузки это изменение силы тока можно регистрировать миллиамперметр *A*; при динамической нагрузке вместо миллиамперметра употребляется осциллограф, регистрирующий деформацию помощью воздействия светового луча на фотографическую пленку, в последующем проявляемую и увеличиваемую.



Фиг. 41.

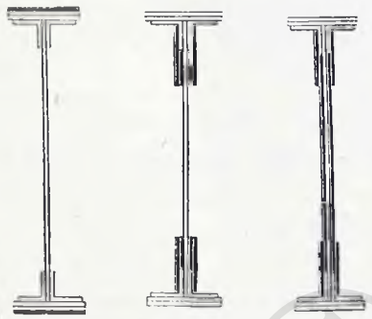
Организация осмотра и испытания М. на ж. д. СССР. Все М. с металлич. пролетными строениями на ж. д. СССР подвергаются периодически осмотру и испытанию. В зависимости от продолжительности срока осмотра существующими правилами различаются три вида его: 1) текущий, 2) годовой и 3) периодический. Т е к у щ и й о с м о т р производится не менее, чем два раза в месяц, тем дорожным мастером, в непосредственном ведении к-рого находится данный М. В основном содержание текущего осмотра заключается в регистрации возможных наружных повреждений и дефектов в регуляционных сооружениях перед М., в опорах и пролетных строениях (особенно в балках проезжей части), с обращением особого внимания на факторы, к-рые указаны выше (см. Надзор за состоянием М.). При текущем же осмотре производится также и выстукивание заклепочных соединений и регистрация обнаруженных слабых заклепок. Никаких инструментальных съемок, за исключением простейших необходимых обмеров, как правило при текущем осмотре не производится. Данные, полученные в результате этого осмотра, заносятся в специальную книгу текущих осмотров, хранящуюся у дорожного мастера. Г о д о в о й о с м о т р М. производится один раз в год начальником участка пути, примерно в объеме, изложенном выше; не обязательны лишь геодезич. съемки. Результаты этого осмотра заносятся или в упомянутую книгу текущих осмотров или в специальную матрикульную книгу, если таковая заведена для данного М. Матрикульные книги, имеющие целью фиксировать историю жизни сооружения с момента окончания его постройки, заводятся начальником участка пути по специальной форме для М. следующих категорий: а) имеющих пролетные строения с величиной пролета ≥ 50 *м*; б) имеющих общее отверстие в 100 *м* и более, независимо от величины пролетов, и в) имеющих очень высокие насыпи (15 *м* и более), независимо от величины пролета. П е р и о д и ч е с к о е о с в и д е т е л ь с т в о в а н и е М., состоящее из осмотра и испытания под нагрузкой, производится для большинства М. через каждые 6 лет; исключение составляют М., расположенные на второстепенных линиях, где такие освидетельствования могут производиться через 8 лет; кроме того для М. новых первое после приемки периодич. освидетельствование назначается через 2 г. Периодич. осмотр и испытание М. под нагрузкой производятся во всем согласно изложенному в помещенных выше разделах, посвященных осмотру и испытанию М. под нагрузкой. Периодические освидетельствования большинства М. (с от-

дельными пролетами выше 30 *м*) производятся специальными подвижными организациями—районными испытательными станциями (в Москве, Саратове и Киеве), находящимися в ведении Центрального управления ж.-д. транспорта. В настоящее время правила периодического освидетельствования и испытания М. с металлич. пролетными строениями перерабатываются. **С. Ильясевич.**

Усиление мостов.

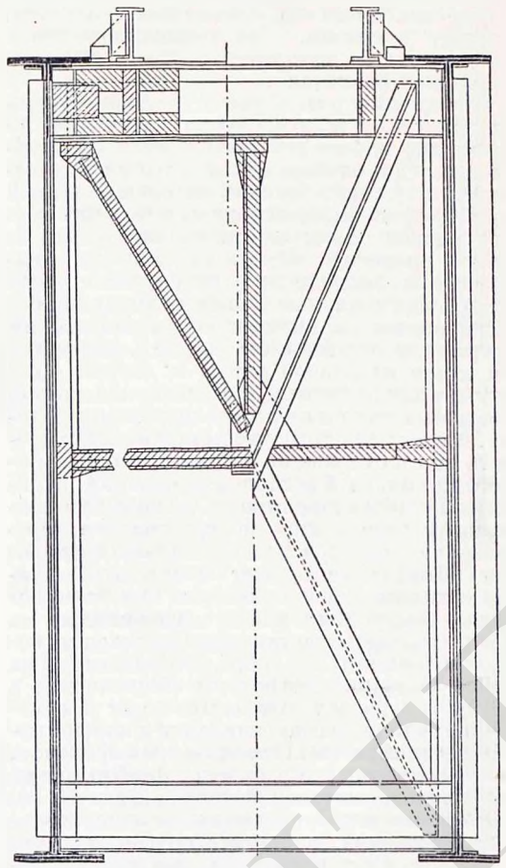
Усиление металлических М. Если какое-либо металлическое пролетное строение, вследствие недостаточной прочности его в целом или в отдельных частях, перестает удовлетворять условиям эксплоатации, то во многих случаях целесообразно поставить вопрос о сохранении его для дальнейшей эксплоатации посредством усиления прочности до допускаемых нормами пределов. Усиление пролетного строения целесообразно лишь при удовлетворительном его состоянии или при дефектах, устранение которых м. б. произведено без ущерба для эксплоатации и не чрезмерно велико по стоимости. Целесообразность и экономичность усиления выявляются каждый раз в каждом отдельном случае и целиком зависят от выбора способа усиления и объема работ. Основной предпосылкой при этом является необходимость производства работ без полного перерыва движения, к-рый допустим лишь на самый короткий срок и не должен представлять существенных стеснений для эксплоатации дороги.

Усиление м. б. капитальное или частичное. Первое производится на нагрузку, одинаковую с применяемой для новых М. Второе применяют при наличии благоприятных конструктивных условий для устранения расчетных перенапряжений в элементах М. от нагрузки, подлежащей введению в обращение на дороге в ближайшее время или действующей, в случае если такая нагрузка обращается по М. с какими-либо ограничениями. При этом всегда одновременно с усилением необходимо устранять конструктивные недостатки и дефекты, могущие уменьшить расчетную прочность. Как правило



Фиг. 42. Фиг. 43. Фиг. 44.

капитальное усиление наиболее рационально производится путем изменения тем или иным способом системы пролетного строения или путем добавления новых частей, которые в основном мало затрагивают существующую конструкцию (например добавление третьей фермы — см. ниже). В противоположность капитальному усилению, частичное усиление целесообразнее всего выполнять методами непосредственного увеличения существующих сечений, а иногда

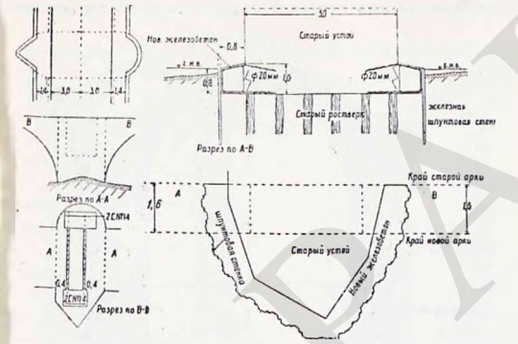


Фиг. 45 и 46.

сменой отдельных частей или путем постановки деревянной разгружающей опоры. Из вышеизложенного ясно, что при частичном усилении, доводящем прочность до пределов, достаточных только на сравнительно короткий срок, следует предусматривать возможность и дальнейшего усиления, почему часто в этих целях проектируют т. наз. прогрессивное усиление. Очевидно, при достижении благоприятных результатов этот прием должен явиться наиболее экономичным, т. к. одновременно он требует меньших капитальных вложений и имеет наименьшую капитализированную стоимость. Для усиления обычно употребляют металл, удовлетворяющий кондиционным условиям и обладающий качествами не ниже свойственных усиляемой конструкции. Различные способы усиления металлических М. м. б. сведены к нижеследующему.

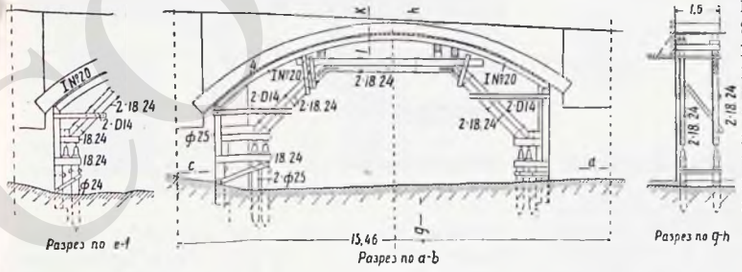
1) Усиление сплошных балок и сквозных ферм непосредственным увеличением сечений. Недостаток прочности в сплошных балках может оказаться как в основном сечении,

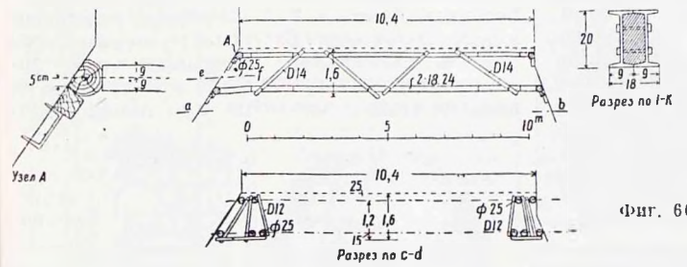
круглыми железными анкерами диаметром 14 *мм* и 24 *мм* и зубчатым сопряжением,



Фиг. 65.

вдавшись в старую кладку у подошвы на 0,85 *м*, чем достигалось уширение подошвы новой части свода и уменьшение давления

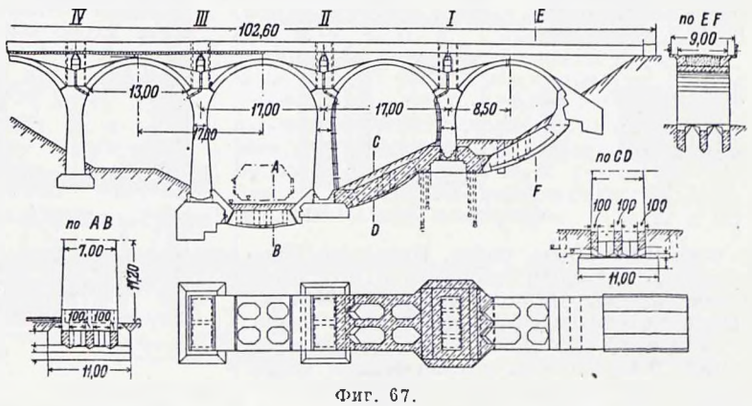




Фиг. 66.

на скалистый грунт до 12,7 *кг/см²*. Железные стержни арматуры рассчитаны были на допускаемое напряжение в 1 200 *кг/см²*, причем этой арматуры потребовалось на 1 *м* ширины свода: в замке $f_e = 22{,}62$ *см²*, в пятах $f_e = 85{,}07$ *см²*, $f'_e = 63{,}81$ *см²*. При работах была применена подвесно-подтяжная опалубка, для чего были заделаны на 1 *м* в каменную кладку 400 железных анкеров диаметром 26 *мм*, считая 1 анкер на 1 *м²* внутренней поверхности свода. Наибольшее напряжение сцепления было обнаружено в 35 *кг/см²*. Забетонирование пространства между внутренней поверхностью старой части и подвесной опалубкой производилось кольцевыми слоями шириной 2,67 *м*, начиная от среднего слоя и ведя работы одновременно от обеих опорных частей. Замковая опалубка снималась и замковая часть бетона впрессовывалась по окончании усадки бетона под давлением от 4 до 6 *atm*. Бетон применялся для опорных частей свода последовательно, считая снизу вверх, состава 1:6:8, 1:4:5, 1:2:3 и для свода 1:2:3, причем на 1 *м³* готового бетона брался высокосортный цемент весом 300 *кг* при отношении гравелистого песка (8,42% зерен диам. 7—40 *мм* и 91,58% зерен диам. 0—7*мм*) к диабазовому мелкому щебню (79,91% зерен диам. 7—40 *мм* и 20,09% зерен диам. 0—7 *мм*) как 1 : 1,5. Бетонную смесь составляли из 78 *л* цемента, 144 *л* гравелистого песку и 216 *л* мелкого диабазового щебня.

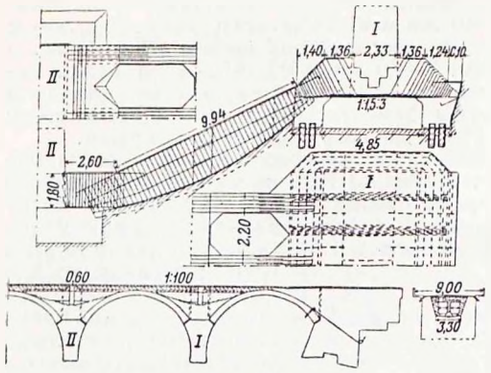
Второй из упомянутых выше мостов (через р. Верра) был не только восстановлен в своих старых частях и усилен, но и расширен. До уширения мост имел ширину проезжей части в 4,40 *м* при ширине тротуаров в 1,00 *м*; после уширения эти части моста имели размеры соответственно 6,00 *м* и 1,40 *м*. Восстановительные работы заключались в расчистке швов от разложившегося и раскрошившегося раствора,—произведя эту расчистку снаружи вручную, а изнутри прополаскиванием швов водою под давлением. С последней целью были пробуравлены по 3 отверстия на 1 *м²* видимых поверхностей моста глубиной ок. 50 *см* каждое. По заполнении затем пустот камнем (нек-рые камни оказались вывалившимися вследствие потери связи с раствором) был впрессован под большим давлением свежий цементный раствор состава 1:3 до заполнения всех пустот, трещин и пробитых отверстий. Каждая такая операция захватывала площадь окружностью от 3 до 5 *м*.



Фиг. 67.

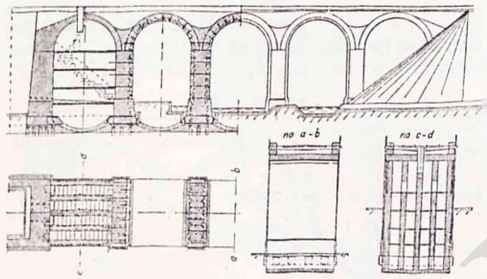
Новые железобетонные уширяющие мост части свода были сделаны плоскими сегментными и основаны на старых выступающих ча-

стях промежуточных устоев (фиг. 64) и новых бетонных придатках к береговым устоям, причем замки были приподняты настолько, чтобы не закрывать старые своды. Состояние фундаментов старых выступающих частей устоев вызывало необходимость в усилении их, вследствие чего в расстоянии около 0,80—1,00 *м* от головной части устоев был устроен (на глубину 2 *м*, считая от ложа реки) из фасонного железа шпунтовый ряд



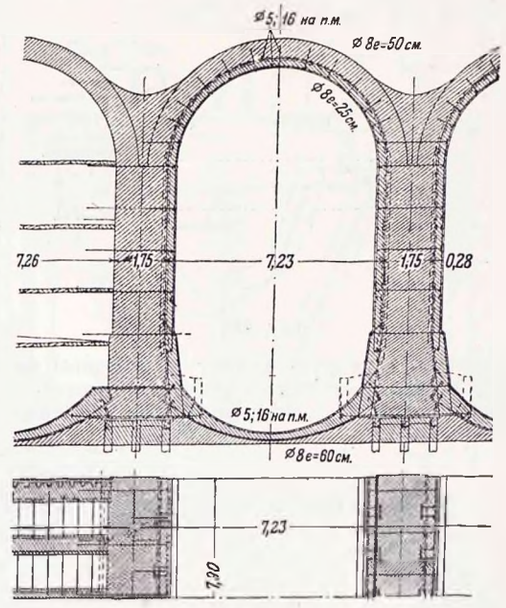
Фиг. 68.

и, по выборке между ним и старым фундаментом грунта на глубину 0,80—1,00 *м*, образовавшийся промежуток заделан железобетоном (фиг. 65). Для лучшей связи последнего с старой кладкой устоев в последних были выделаны зубцы, в к-рые был втрамбован упомянутый выше железобетонный опоясывающий головную часть устоев слой, скрепленный с старой кладкой еще железными анкерами диаметром 20 *мм*. Шпунтовый ряд, образовавший вокруг головной части устоев ящик, преследовал цель предохранить устои от подмыва. Фасады новых частей были обработаны песчаником. Конструкция лесов, подмостей и опалубки видна из фиг. 66; к ним было предъявлено требование беспрепятственного пропуска плотов



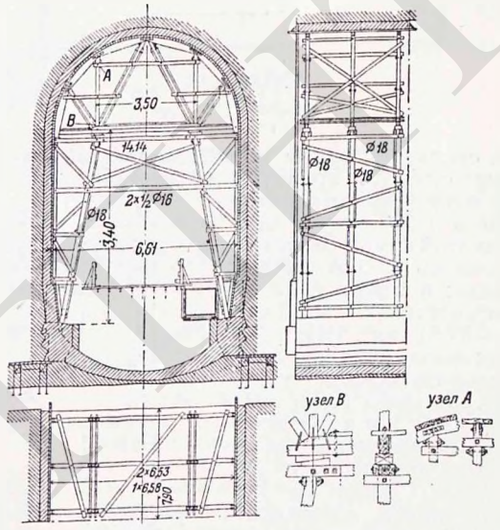
Фиг. 69.

по реке и во время работ. Интересны еще работы по усилению бетонного М. под обыкновенную дорогу, выполненные в 1924—25 гг. в Розенгартене близ Франкфурта на р. Одере (в Германии). М. имеет в длину 100 *м* и ширину 9 *м*; пролеты его перекрыты двухшарнирными сводами (фиг. 67). В виду обнаруженной осадки и сдвига опоры *I* и появления вследствие этого трещин в соседних сводах признано было необходимым устранить эти дефекты и усилить опоры М. с предохранением их от сдвига. С этой целью вокруг опоры *I* были загнаны в грунт бетонные сваи, перекрытые железобетонной



Фиг. 70.

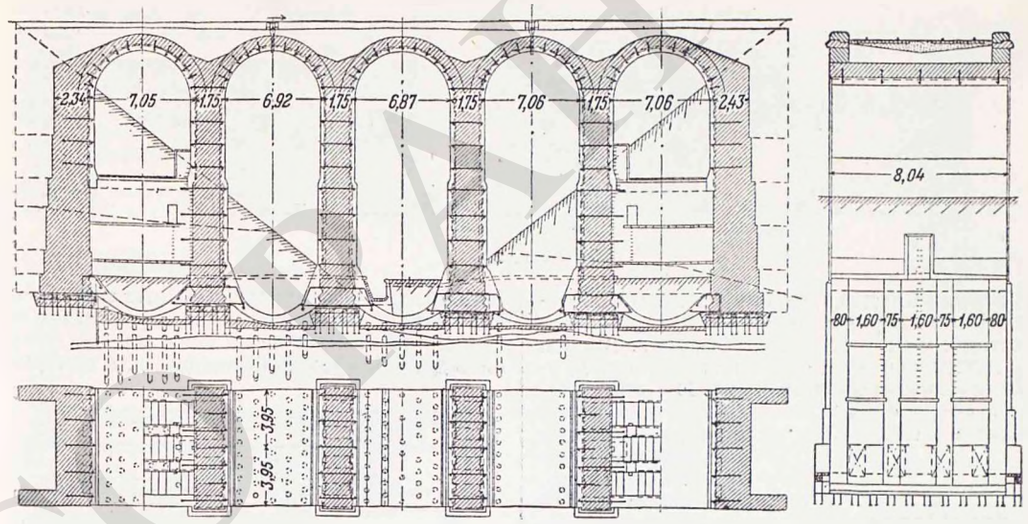
опорной подушкой, связанной с опорой. Против оползней грунта были заложены между опорами *I*, *II* и *III* и между опорой *I* и ближайшим береговым устоем железобетонные балки в виде обратных разгружающих сводов (фиг. 68) с одновременным усилением упомянутого берегового устоя. По окончании этих работ было приступлено к заделке трещин цементом при помощи тор-



Фиг. 1.

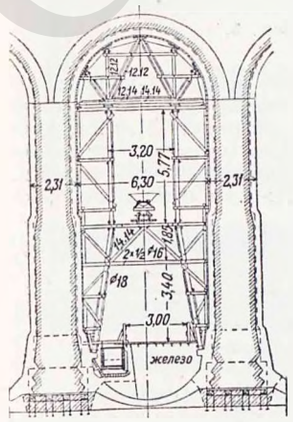
кретировочных и инжекторных аппаратов по предварительной прочистке трещин нагнетанием в них воды и воздуха. При восстановительных работах особое внимание было обращено на рациональный отвод ат-

мосферных вод. Не меньшего интереса заслуживают также работы по усилению каменных ж.-д. М. на линии Мюнхен—Регенсбург



Фиг. 72.

(в Германии), произведенные в 1924—26 гг., путем устройства новых, связанных в одно целое и со старой кладкой, железобетонных сводов, такой же одежды опор и таких же обратных фундаментн. сводов, как это показано на фиг. 69 (усиление 3 средних пролетов мостов), фиг. 70 (деталь), фиг. 71 (леса) и фиг. 72 (усиление всего пролетного строения, опор и их фундаментов), фиг. 73 (леса к фиг. 72). Приведенные два примера в общем иллюстрируют характер восстановительных работ каменных мостов и работ по их усилению и дают представление о возможностях в этом деле.

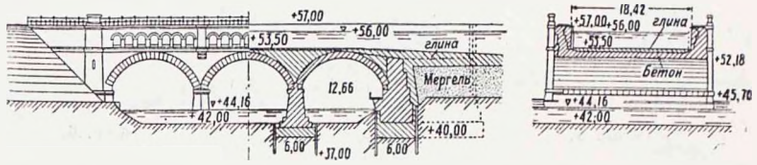


Фиг. 73.

Лит.: «Die Bautechnik», B., 1927, Jg. 5, H. 3, 43, 45, 1930, Jg. 8, H. 2; «Deutsche Bauzeitung», B., 1930, Jg. 64, *14*.

С. Брилинг.

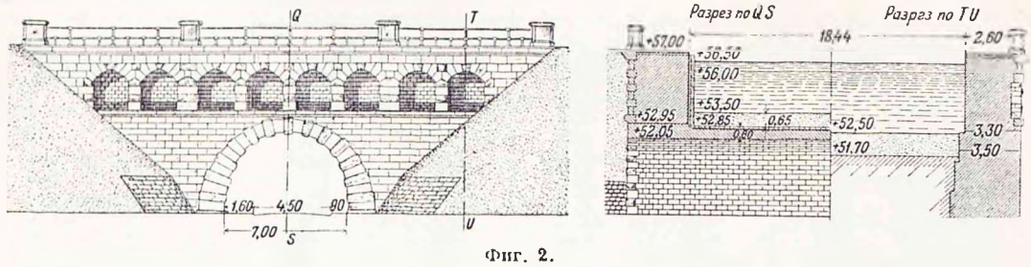
МОСТЫ-КАНАЛЫ, мостовые сооружения, несущие на себе вместо обычных проезжей и пешеходной частей дороги русло и бечевник судоходного или сплавного канала. М.-к. отличаются от обыкновенных *акведуков* (см.) большей шириной и глубиной канала и его живого сечения, допускающего движение судов по каналу, и расположением по его бокам тротуаров для пешеходов и обслуживающего М.-к. персонала. М.-к. сооружаются массивными—из камня, бетона, железобетона — или железные. Как на примеры построенных каменных М.-к. можно указать на следующие М.-к. в Германии: у Линдена через р. Везер; для канала Дортмунд—Эмс через р. Липпе, через р. Стевер (фиг. 1) и через полотно обыкновенной дороги (фиг. 2); для канала Берлин—Штетин через полотно железной дороги. М.-к. у Линдена имеет длину в 370 *м*, причем все своды его сделаны из бетона. На фиг. 3 (поперечный разрез), фиг. 5 (продольный разрез) и фиг. 4 (деталь) изображен железобетонный М.-к. общей шириной 26 *м* (желоб шириной 18 *м* и глубиной 3 *м*; тротуары шириной по 4 *м* каждый). Желоб покоится на девяти неразрезных железобетонных балках, образующих общую с ним железобетонную конструкцию. Особенное внимание в массивных М.-к. должно быть уделено вопросу об избежании, по возможности, трещин, а также о рациональном устройстве расширительных швов. На фиг. 6 (продольный разрез), фиг. 7 (поперечные разрезы) и фиг. 8 (конструктивная деталь) представлен железный М.-к. через р. Лейне у Зельце в Германии, а на фиг. 9 и 10—проект железного М.-к. через р. Эльбу; железные М.-к. сооружаются лишь в тех случаях, когда по местным условиям не представляется возможным построить массивные М.-к. Боковые стенки русла на протяжении М.-к. рекомендуется одевать изнутри защитной деревянной стенкой или на всю высоту (фиг. 1, 2, 11 и 12)



Фиг. 1.

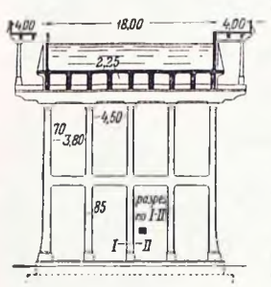
или в пределах изменяющихся уровней воды в канале (фиг. 7 и 8); в нек-рых случаях огра-

ничиваются лишь отдельными продольными защитными брусьями (фиг. 4). Особое внимание д. б. также уделено водонепроницае-

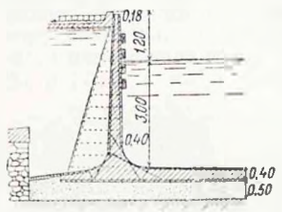


Фиг. 2.

мой изоляции дна и стенок русла моста-канала [например свинцовыми 3-*мм* спаянными в стыках между собой листами (фиг. 12) или же двумя слоями — одним твердым и другим мягким—асфальта (фиг. 11), покрытыми в обоих случаях в пределах дна русла защитным слоем глины], такой же изоляции температурных швов расширения (напр. при помощи волнистых медных листов) и конструкции сопряжений жолоба моста-канала с частями канала, расположенными вне сооружения и граничащими с последним. При этом необходимо учитывать влияние $t°$ с тем, чтобы в сооружении не было вредных последствий от температурных деформаций. Необходимо предусмотреть приспособления для опорожнения (на случай ремонта) и заполнения водой жолоба русла и для его разобщения (путем установки запоров в соответствующих местах) от примыкающих к нему частей канала, находящихся вне мостовых сооружений. Стенки жолоба моста-канала делаются обычно вертикальными, а дно—горизонтальным. При расчетах М.-к. необходимо иметь в виду, что в отношении действующих нагрузок М.-к. существенно отличаются от мостов под обыкновенные или железные дороги. Нагрузка (если не считать настилов для бечевой тяги, находящихся

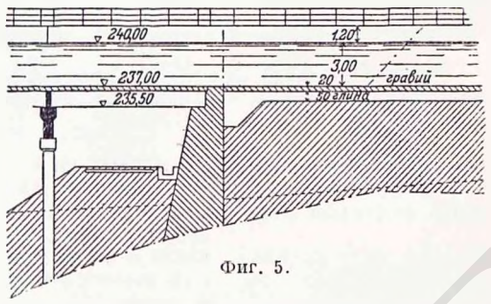


Фиг. 3.



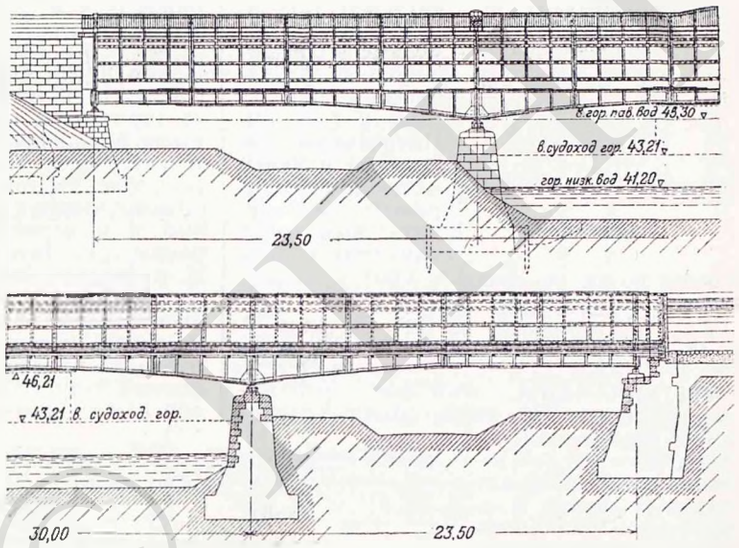
Фиг. 4.

под действием сравнительно небольших динамич. усилий) и по величине и по направлению постоянная, равномерно распределенная, что в значительной степени облегчает задачу по расчету конструктивных частей моста-канала и дает возможность повысить допускаемые напряжения для материа-



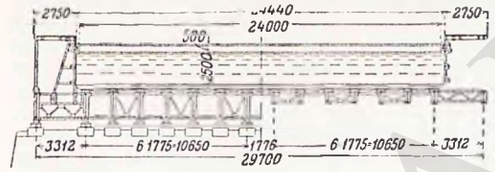
Фиг. 5.

лов. Последнее обстоятельство чрезвычайно важно для расчета М.-к., имея в виду большую величину нагрузки М.-к. и значительные горизонтальные усилия от давления ветра. При современных требованиях, предъявляемых к М.-к. в отношении эксплоатации, приходится при расчетах жолоба исходить из минимальной ширины его 20—25 *м*, необходимой для пропуска двух судов. Для железных М.-к. серьезное значение



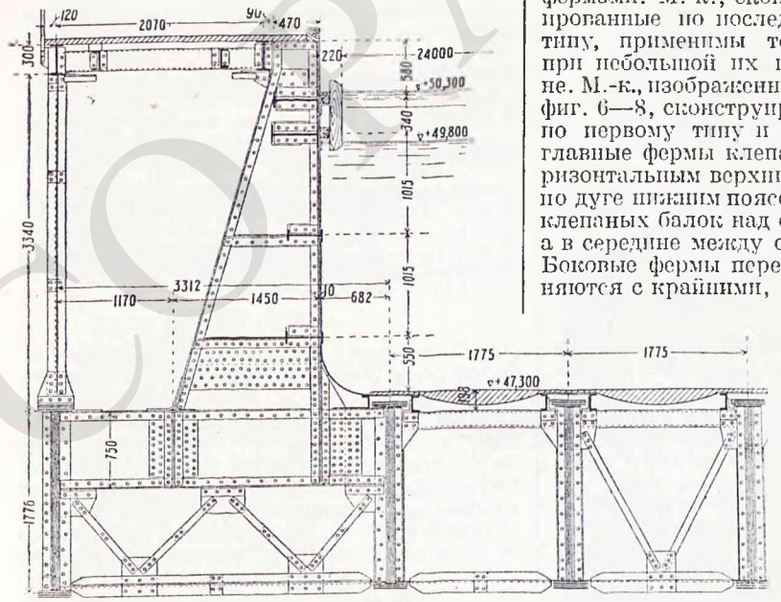
Фиг. 6.

имеет предохранение железных частей от *ржавчины* (см.); в малодоступных местах



Фиг. 7.

железные части поэтому покрывают асфальтом. Желоба для этих М.-к. изготовляются



Фиг. 8.

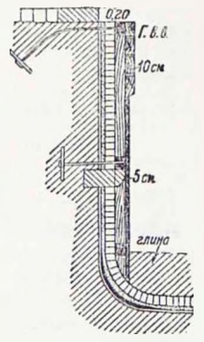
из листового железа; их вертикальные стенки сопрягаются с дном по дуге квадранта;

Фиг. 9.

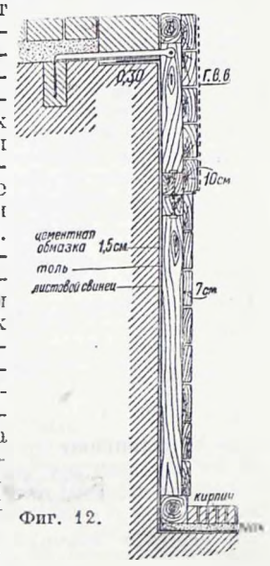
наружная поверхность дна жолоба над продольными поддерживающими его фермами или балками—плоская, а в промежутках между ними — изогнутая вниз; вся поверхность дна жолоба покрыта изнутри слоем бетона с горизонтальной поверхностью. Несущая жолоб часть верхнего строения М.-к. может быть сконструирована двояко. Первое

Фиг. 10.

решение, к которому в настоящее время по преимуществу прибегают, это—основать дно жолоба на целом ряде главных ферм, соединенных между собой короткими поперечными балками (фиг. 7 и 8); другое решение—основать дно на поперечных балках, к-рые сконструированы по типу открытых полурам, несущих жолоб и в свою очередь поддерживаемых двумя главными фермами. М.-к., сконструированные по последнему типу, применимы только при небольшой их ширине. М.-к., изображенный на фиг. 6—8, сконструирован по первому типу и имеет главные фермы клепаные двутавровые с горизонтальным верхним поясом и изогнутым по дуге нижним поясом, причем высота этих клепаных балок над опорами М.-к.—1,80 *м*, а в середине между опорами М.-к.—0,85 *м*. Боковые фермы перекрытия (фиг. 8) соединяются с крайними, поддерживающими дно жолоба фермами, поперечными балками, на которых укреплены козла, служащие опорами для стенок жолоба. Верх козел соединен поперечинами со стойками, покоящимися на боковых фермах, образуя так. обр. опоры для искусствен. бечевника. Продольные, поддерживающие дно жолоба швеллеры прикреплены непосредственно у главных ферм к поперечным балкам швеллерного сечения. Козла расположены в расстоянии 6 *м* друг от друга и соединены продольными, горизонтально расположенными двутавровыми балками, к полкам к-рых прикреплены стенки жолоба, которые снабжены через каждые 1,5 *м* вертикальными уголками жесткости. Ветровые связи расположены: под бечевниками, между верхними гуртами двух крайних главных ферм и в каждой из шести спаренных между собой двойных ферм. Конструкция изображенного на фиг. 9 М.-к. представляет собой комбинацию обоих описанных типов конструкций. Главный пролет 100 *м* перекрывается двумя главными фермами, соединенными решетчатыми поперечными балками, к-рые поддер-



Фиг. 11.

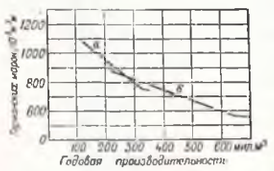


Фиг. 12.

живают жолоб М.-к. (фиг. 10, слева), и по своей конструкции представляет второй из рассмотренных выше типов. Остальные пролеты М.-к. в 50 *м* длиной имеют конструкцию (фиг. 10, справа), в основном идентичную с конструкцией первого из указанных выше типов.

Лит.: Roloff, Statische Nachweisungen über ausgeführte Wasserbauten, B., 1907; Esselborn K., Lehrbuch d. Tiefbaues, B. 2, Kap. 8 u. 10, 8 Aufl., Lpz., 1925; Handb. für Eisenbetonbau, hrsg. v. F. Emperger, 3 Aufl., B. 5, B., 1923; Grüning M., Der Eisenbau, Handbibliothek für Bauingenieure, hrsg. v. R. Otzen, T. 4, B. 4, B., 1929; «B. u. E.», 1913, H. 7, p. 157. **С. Брилинг.**

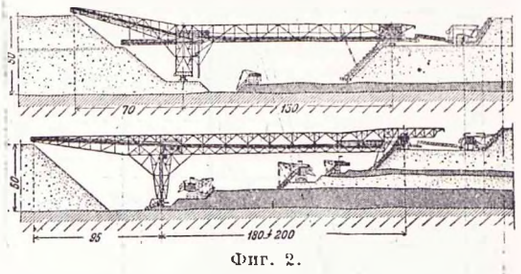
МОСТЫ-ТРАНСПОРТЕРЫ, мостовые сооружения, служащие для передвижения по ним во время работ значительного количества грузов. М.-т. бывают передвижные и постоянного типа. Первые имеют применение в тех случаях, когда грузы (земляные массы, камни, уголь и т. д.) приходится брать из разных мест и передавать посредством М.-т. также в разные места, напр. при открытой разработке горных пород, при переброске земляных масс из разрабатываемой выемки на насыпь и т. д. М.-т. постоянного типа м. б. использованы тогда, когда транспортируемые при их помощи грузы доставляются к месту разгрузки по ж. д. или иным способом и грузятся в подвижные транспортные средства, напр. в трюм парохода или в вагоны другой ж. д. Передача грузов по М.-т. совершается либо при помощи ленточных *транспортеров* (см.) либо при помощи вагонеток, идущих по рельсам. В последнее время отдают предпочтение первому способу передачи грузов. Огромное значение имеет вес М.-т. в том отношении, чтобы не были превзойдены допускаемые давления на грунт; в особенности это относится к передвижным М.-т. В виду этого последние часто сооружают из специальной высокосортной стали. Для большей приспосабливаемости к местным условиям передвижной мост часто конструируют т. о., что получается возможность вращения его в горизонтальном (на 20—25°) и вертикальном (до 7°) направлениях. Для подачи земляных масс на транспортную ленту М.-т. соединяют в местах разработки непосредственно с черпальным аппаратом или последний располагают отдельно, а разрабатываемые им земляные массы подаются вспомогательным ленточным транспортером на М.-т. В первом случае зачерпнутый ковшом слой породы поднимается к транспортному устройству внутри моста, а оттуда он подается к месту отвала. Рамы опрокидывателей и ковшей движутся по специальным путям на мосту. Перевод путей производится механически при помощи соединенных с опорами машин, которые передвигают рельсы. Приведение в движение как рам, так и транспортных лент производится при помощи электричества с применением моторов постоянного или переменного тока.



Фиг. 1.

Самый большой М.-т., до сего времени построенный, рассчитан на производительность 2 200 *м*³ в час. Мост этот весит 4 100 *т* и сделан из специальной стали. В целях безопасности работ все новейшие М.-т. снабжаются всевозможными предохранительными приспособлениями, как то: приспособлением для регулирования быстроты движения; измерителем силы ветра с предохранителем, выводящим при предельном допускаемом давлении ветра мост из действия; приспособлением, указывающим перекос моста как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях и сигнализирующим, что наступило опасное отклонение, и т. д.

Потребность электроэнергии для передвижного М.-т., включая сюда работу *экскаватора* (см.), выражается в 0,6—0,7 kWh/*м*³.



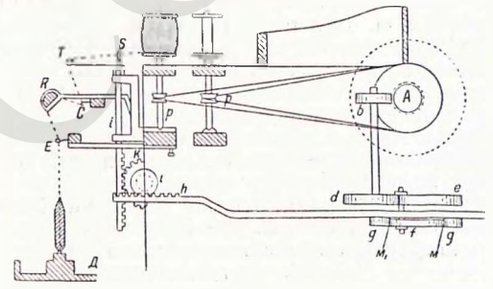
Фиг. 2.

При длительной работе М.-т. расход электроэнергии очень равномерен. Что касается до рентабельности М.-т., то по германским данным общие расходы выражаются суммами в пределах 13—19 пфеннигов за 1 *м*³ переброшенной земляной массы. Стоимость работ передвижными М.-т. в зависимости от их производительности характеризуется диаграммой (фиг. 1), где стоимость работ выражена в герм. марках, производительность указана в млн. *м*³ на 1 *м* перемещения, *a*—работа в один слой, *b*—работа в два слоя. Эта диаграмма показывает, что с увеличением производительности расходы падают, а следовательно рентабельность М.-т. повышается. На фиг. 2 изображены два типа передвижных М.-т. производительностью 1 400 *м*³/*ч* вскрытой породы и 1 950 *м*³/*ч*. О целесообразности применения последних М.-т. говорит следующее сопоставление: первая из приведенных установок в состоянии перебросить посредством передвижного М.-т. в течение одного года (250 раб. дн.) 7 000 000 *м*³ вскрытой земляной массы; для перевозки этого количества земли в тот же промежуток времени по ж. д. потребовалось бы ежедневно пропускать по ней 80 товарных поездов при составе в 50 товарных вагонов емкостью каждый в 10 *т*.

Лит.: «Русско-герм. вестник науки и техники», М., 1929, *2*; «Z. d. VDI», 1929, B. 73, *8*, 1930, B. 74, *6*; «GC», 1930, *8*; «Kohle u. Erz», B., 1929, H. 5; «Braunkohle», Halle a/S., 1929, Jg. 28, *8*. **С. Брилинг.**

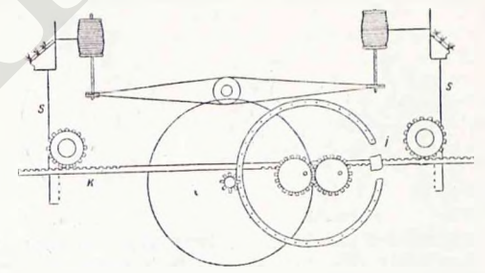
МОТАЛЬНАЯ МАШИНА, машина для перематывания пряжи. Пряжа получается с прядильных машин в виде мюльных початков (см. *Мюль-машина*) или ватерных катушек (см. *Прядение*). Форма этих тел обладает значительными неудобствами для дальнейших подготовительных операций над пряжей в ткацком и в трикотажном производствах. Для избежания этого, а также для более экономичной транспортировки, с целью получения длины отдельной нити большей, нежели та, которая получилась на прядильной машине, применяют подготовительную операцию—перематывание пряжи в форму таких тел и на такие катушки, которые более приспособлены для последующих процессов обработки. Это перематывание пряжи производят на М. м. Попутно на этой же машине осуществляется некоторое улучшение качества пряжи. В каждой мотальной машине имеются следующие части: 1) приемная, представляющая собой рамку или стойку для размещения разматываемых початков или катушек; 2) наматывающий механизм, который вращает сновальную катушку или бобину и распределяет на ней наматываемую пряжу; 3) механизм, натягивающий и очищающий, который устраняет тонкие или слабые места и очищает пряжу от сорных примесей и других дефектов прядения. Самым важным по своему значению является наматывающий механизм, отличающийся друг от друга у машин различных конструкций; остальные части существенно не различаются.

По принципу своего устройства и действия М. м. разделяются на две главные



Фиг. 1.

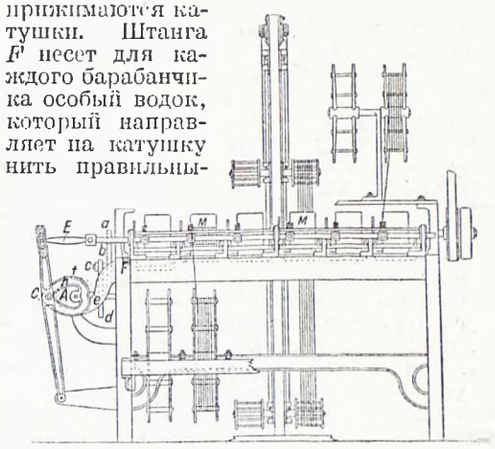
группы: с вертикальным и горизонтальным расположением катушек, на которые пряжа наматывается. При вертикальном расположении (фиг. 1) катушки, в виде деревянных цилиндрических трубок с двумя фланцами, помещаются на тарелочках, закрепленных на веретенах. Последние получают вращение от барабана *A* при посредстве шнуров и блочков *p*. Направляющий нить крючок «водок» *S* получает вертикальное возвратно-поступательное движение определенного закона от следующего механизма: червяк, находящийся на валу барабана, вращает винтовую шестерню *b*; далее, через цилиндрич. зубчатую передачу *d* и *e* получает движение сердцевидный эксцентрик *f*, к-рый через ролики *g*, *g*, укрепленные на рейке *h*, передвигает ее. Последняя вращает шестерню *i* и зубчатый сектор *k*, отчего штанга *l*, будучи сцеплена своим нижним концом—зубчатой рейкой—с сектором *k*, получает соответствующее движение. Вместе со штангой перемещается и укрепленный на ней водок *S*; *Д*—ящик для разматываемых початков; *R*—деревянная планка, обитая сукном и служащая для очистки пряжи; крючки *E* и *C* и пруток *T* натягивают и направляют нить. Вместо эксцентрика *f* в некоторых конструкциях применяют цевочную передачу (фиг. 2) с кулачком *I*, для получения возвратно-поступательного движения рейки *K* и штанги *S*. Достоинством М. м. в вертикального типа по сравнению с горизонтальным типом является экономия в площади, занимаемой ею, а недостатком—переменная линейная скорость движения нити, т. к. число оборотов веретена и катушки постоянно, а диаметр



Фиг. 2.

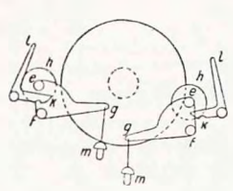
последней по мере навивания увеличивается. Следствием этого получается неодинаковое натяжение нити, что понижает ее добротность и качество намотки на катушку. В практике такие машины применяются гл. образом для хл.-бум. пряжи; для средних номеров веретену сообщают скорость около 900—1 000 об/м., от чего линейная скорость нити колеблется в пределах 100÷250 *м/мин.* (в среднем ок. 180 *м/мин.*). Одна работница обслуживает: при № 32 ок. 30—35 катушек, при № 24 ок. 25—30 катушек.

На фиг. 3 дана схема М. м. с горизонтальными катушками, где *M*—ряд барабанчиков, которые закреплены на главном валу; к ним прижимаются катушки. Штанга *F* несет для каждого барабанчика особый водок, который направляет на катушку нить правильными витками и слоями. Она получает возвратно-поступательное движение от эксцентрика *A*, который вращается от барабанного вала посредством ряда зубчатых колес *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*; в прорезе *h* ходит каточек качающегося рычага *C*, соединенного тягой *E* с поводковой штангой *F*. Для более надежного прижимания катушки к барабанчику служит приспособление, изображенное на фиг. 4. Здесь рычаг *g* вращается около оси *f* и нагружен грузом *m*; в рычаге помещена ось *e* веретена с катушкой *h*. Если надо

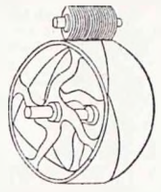


Фиг. 3.

остановить катушку, то рычаг g приподнимают рукой, и он автоматически удерживается крючком k. При давлении на рукоятку l крючок освобождает рычаг g, катушка опускается на барабан и приходит опять во вращение. При такой конструкции линейная скорость нити равна окружной скорости барабана и остается все время постоянной, что является достоинством горизонтального типа машин. Эти машины однако занимают больше места, чем машины вертикального типа, и потому работница может обслуживать на них меньшее число катушек, чем в предыдущем случае. Постоянная скорость в особенности удобна при перемотке пряжи с мотков. Поэтому чаще всего машины горизонтального типа применяются в льняном производстве. Для льняной основы №№ 30—36 по английской нумерации барабанчику диам. 24,13 *см* дают 225 об/м., что для линейной скорости составляет ок. 170 *м/мин*. Число обслуживаемых барабанчиков на одну работницу равняется 10—12; коэф. производительности—0,75.



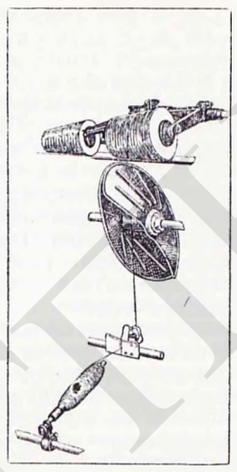
Фиг. 4.



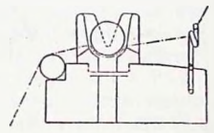
Фиг. 5.

Приведенные выше скорости поступательного движения нити удовлетворяли производство продолжительное время, однако в последние 15—20 лет стали стремиться увеличить эти скорости, т. к. это увеличение не влечет за собой практически заметного понижения качества пряжи и в то же время создает более экономичные условия работы как самих М. м., так и последующих, на которые поступает перемотанная пряжа. В конструкциях, у которых поводки заменены разрезом в барабанчиках (фиг. 5), оказалось возможным довести линейную скорость нити до 300 *м/мин*, а также сильно увеличить относительную скорость перемещения нити вдоль катушки. Отсюда появилась к р е с т о в а я м о т к а, т. е. такая, при которой витки нити на катушке ложатся не рядом друг с другом, а б. или м. отлогими спиралями, которые перекрещиваются друг с другом. При крестовой мотке прочность намотки увеличилась настолько, что представилось возможным тяжелые катушки с фланцами заменить легкими и дешевыми бумажными трубочками, на которые можно намотать больше пряжи. Сильно увеличить вес катушки при ее цилиндрической форме оказалось невозможным, т. к. катушка в рамке последующей сновальной машины свободно вращается от натяжения нити, к-рая выдерживает это натяжение только при известном предельном весе катушки. Поэтому катушку стали укреплять в рамке сновальной машины неподвижно, предварительно придав катушке М. м. конич. форму. Одновременно, для увеличения скорости, в конструкциях последних лет заменили барабанчики, оказавшиеся громоздкими для вышеуказанной цели, валиками. В настоящее время на наших союзных фабриках получили широкое распространение М. м. системы Шлафгорста (нем.) и Universal Winding Co. (американская); обе конструкции дают линейную скорость в 400—450 *м/мин*. В машине системы Шлафгорста барабанчики заменены валиком очень небольшого диам тра, всего 18 *мм*, при скорости ок. 7 500 об/м. Несмотря на сравнительно высокий вес катушек (1 5—2 *кг*) прогиб валика практически равен нулю, т. к. конструктор, давая скорости вращения лежащие выше критических, использует динамическое самоуравновешивание валика. Это число оборотов (7 200—8 000) должно сохраняться во все время работы в определенных пределах; при всяком изменении их валик будет б и т ь. Для направляющего механизма применены диски особой формы с прорезами (фиг. 6). При перемотке хлопчатобумажной пряжи № 32 работница обслуживает от 15 до 18 веретен; коэф ициент производительности равен 0,78—0,80. В американск. конструкции (Universal Winding Co.—«Luson») взамен барабанчиков применяют также валик, но более толстый, диам. 63,5 *мм*, к-рый является более прочным, и вращается с меньшей скоростью. Для направления нити в этих машинах имеется неподвижная штанга, по которой ходят очень легкие поводки, направляемые особыми эксцентриками. Обе эти системы машин у нас довольно успешно работают как на хлопчатобумажной, так и на камвольной пряже; для льняной пряжи они еще мало пригодны.

Наконец америк. фирмой Барбер и Кольмен выпущена М. м. новой системы с весьма широкой автоматизацией: там работница лишь налаживает разматывание початка и снимает готовые катушки; все остальное машиной производится автоматически. При этом скорость поступательного движения нити достигает 1 100 *м/мин*. Машина однако весьма сложна, дорога и требует высококвалифицированной рабочей силы, отчего ее распространение пока еще очень ограничено.



Фиг. 6.



Фиг. 7.

Что касается очистительных приборов в М. м., то вместо прежних сукон и щеток теперь применяются шарики и шайбы, помещаемые в особых фарфоровых чашечках (фиг. 7). Следует упомянуть, что в последнее время связывание концов нитей при размотке производится механически, при помощи особых приборов—*узловязателей* (см.).

Вышеперечисленные машины применяются главным образом для перемотки пряжи, идущей в ткачестве в качестве основы (продольных нитей ткани).

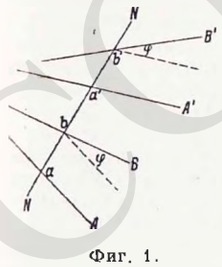
Для размотки уточной пряжи служат особые машины, носящие название ш п у л ь н ы х или у т о ч н о-ш п у л ь н ы х (см. *Шпульные машины*).

Лит.: П л е ш к о в И. М., Приготовительный отдел ткацкого производства, М., 1914; Г а н е ш и н С. А., Подготовит. операции к ткачеству, П., 1915; М и к о л а ш е к К. и М а р ш и к Х., Механическое ткачество, вып. 1, Москва, 1928; К у з н е ц о в А., Приготовительные операции ткачества, Мотальные машины, Москва, 1928.

Н. Новиков.

МОТОКУЛЬТУРА, см. *Сельское хозяйство*.

МОТОРНОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ, наука о т. н. м о т о р а х, применяемая в различных отделах теоретич. механики, теоретич. физики и т. д. Мотором $\mathfrak{M}$ вообще называется всякая упорядоченная пара прямых, т. е. такая пара прямых, из к-рых одна условно считается «первой», а другая—«второй». Прямая, перпендикулярная к обеим прямым мотора, называется о с ь ю последнего. Если прямые, составляющие данный мотор, не параллельны, то ось имеется только одна; в противном же случае имеется бесчисленное множество осей. Мотором в более узком смысле называется всякая упорядоченная пара непараллельных прямых. Прямые мотора можно либо повернуть на один и тот же угол около оси, либо переместить их параллельно самим себе вдоль оси, либо совершить и то и другое одновременно так, чтобы прямые мотора описали некоторое винтовое движение. Все упорядоченные пары прямых, к-рые м. б. слиты друг с другом при помощи винтового движения около одной и той же оси, образуют один и тот же мотор. Так, если две пары упорядоченных прямых A, B и A', B' имеют одну и ту же ось N (фиг. 1), равные взаимные расстояния $(ab = a'b')$ и кроме того $\angle(A, B) = \angle(A', B') = \varphi$, то они представляют один и тот же мотор. Мотор таким образом определяется шестью величинами, а именно: расстоянием ab между прямыми, углом φ между ними и четырьмя параметрами, определяющими положение оси в пространстве. Вектор $\boldsymbol{M}_{\mathfrak{M}}$, проведенный вдоль оси от 1-й прямой ко 2-й, модуль которого, равен расстоянию ab между прямыми A и B, называется д л и н о й мотора. Вектор $\boldsymbol{M}$, модуль которого равен $\operatorname{tg}\varphi$, и проведенный вдоль оси мотора так, что его направление вместе с направлением вращения A к B через кратчайшее угловое расстояние последних образует правовинтовую систему, называется р а с к р ы т и е м мотора.



Фиг. 1.

Пусть имеются два мотора, из к-рых один определяется прямыми A, B, а другой прямыми A', B', и пусть N и N'—соответствующие оси моторов. К прямым N и N' можно провести по крайней мере одну общую перпендикулярную прямую C. При помощи соответствующих винтовых движений можно данные два мотора привести в такие положения, что первые их прямые A и A' совпадут с прямой C, прямые же B и B' займут при этом положения D и D'. Т. о. данные два мотора будут уже представлены парами прямых C, D и C, D', т. е. двумя парами прямых, у которых «первые» прямые совпадают. Очевидно, что такое приведение к одной общей прямой можно сделать с любой парой моторов. Проведем произвольную плоскость S, перпендикулярную к C (фиг. 2), и, отметив точки пересечения ее с прямыми C, D и D' соответственно через c, d и d', построим на отрезках cd и cd' параллелограм, четвертая вершина к-рого пусть будет c'. Нетрудно видеть, что при перемещении плоскости S параллельно самой себе точка c' будет перемещаться по некоторой прямой C'. Для того чтобы это усмотреть, возьмем прямолинейную прямоугольную систему осей координат, ось Z к-рой пусть совпадает с прямой C; при этом прямая D будет выражена аналитически ур-ниями следующего вида:

$$\left.\begin{aligned} x &= \alpha_1 + \alpha_2 z \\ y &= \alpha_3 + \alpha_4 z \end{aligned}\right\}. \qquad (1)$$

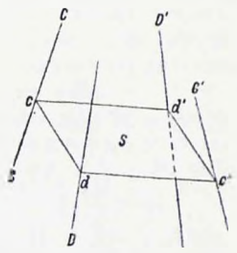
Аналогично прямая D' будет выражена ур-ниями:

$$\left.\begin{aligned} x &= \beta_1 + \beta_2 z \\ y &= \beta_3 + \beta_4 z \end{aligned}\right\}. \qquad (2)$$

При определенных значениях z ур-ния (1) дают координаты точки d, а ур-ния (2)—координаты точки d'. Координаты же точки c' в соответствии со способом построения этой точки будут:

$$\left.\begin{aligned} x_{c'} &= (\alpha_1 + \beta_1) + (\alpha_2 + \beta_2) z \\ y_{c'} &= (\alpha_3 + \beta_3) + (\alpha_4 + \beta_4) z \end{aligned}\right\}. \qquad (3)$$

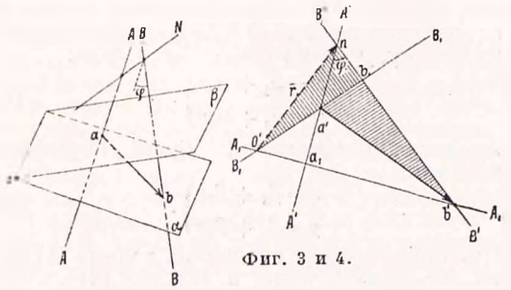
При текущем z ур-ния (3) определяют геометрич. место точки c' и представляют собой нек-рую прямую C'. Последняя прямая вместе с прямой C образует новый мотор (C, C'), называемый с у м м о й двух данных моторов (A, B) и (A', B'). Применяя последовательно указанный метод, можно получить сумму какого угодно числа моторов.



Фиг. 2.

Пусть имеется мотор $\mathfrak{M}$, определяемый прямыми A и B, и точка O вне их. Проведем через O плоскости α и β, перпендикулярные соответственно к прямым A и B и пересекающие прямые B и A в точках b и a (фиг. 3). Нетрудно видеть, что отрезок ab остается неизменным по величине и направлению, если при одной и той же точке O привести систему A, B в винтовое движение; другими словами: вектор $\vec{ab}$ зависит только от точки O и от мотора A, B. В самом деле: если перемещать систему A, B параллельно самой себе поступательно вдоль оси N, то очевидно вектор $\vec{ab}$ не изменит ни своей величины ни своего направления. Чтобы видеть влияние вращения на $\vec{ab}$, спроектируем фиг. 3 на плоскость, перпендикулярную к N, т. е. на плоскость, проведенную параллельно прямым A и B. Проекции последних

A' и B' проходят через точку n, представляющую проекцию оси N. Плоскости α и β будут отмечены следами A_1 и B_1 (фиг. 4), перпендикулярными соответственно к прямым A' и B' и проходящими через проекцию O' точки O. Вектор $\vec{ab}$ состоит из компоненты $\vec{a'b'}$ и компоненты, равной расстоянию от A до B и остающейся при вращении неизменной. Неизменной остается также и компонента $\vec{a'b'}$. В самом деле: т. к. $O'b_1 \perp nb'$ и $na_1 \perp O'b'$, то и $a'b' \perp O'n$. С другой стороны, из подобия тр-ков $a'b_1b'$ и $O'nb_1$ получаем: $\frac{b'a'}{nO'} = \frac{a'b_1}{nb_1}$, и так как $a'b_1 = nb_1 \operatorname{tg}\varphi$, то получаем: $a'b' = nO' \operatorname{tg}\varphi$, т. е. что длина $a'b'$ зависит от расстояния nO' и угла φ между



Фиг. 3 и 4.

прямыми мотора. Следовательно, если повернуть прямые A', B' около точки n на некоторый угол, а прямые A_1, B_1 повернуть около O' на такой же угол, то $\vec{a'b'}$ при этом останется неизменным; вместе с тем и $\vec{ab}$ останется неизменным при соответствующем вращении прямых A, B и плоскостей α и β. Вектор $\boldsymbol{M}_0 = \vec{ab}$ называется моментом мотора $\mathfrak{M}$ относительно точки O. Пусть $\vec{O'n} = \boldsymbol{r}_1$; тогда очевидно имеем: $\vec{a'b'} = [\boldsymbol{r}_1\boldsymbol{M}]$, где $\boldsymbol{M}$—раскрытие мотора. Если $\vec{O'P} = \boldsymbol{r}$, где P—произвольная точка оси N, то очевидно имеем также $\vec{a'b'} = [\boldsymbol{r}\boldsymbol{M}]$. В окончательном итоге имеем:

$$\vec{ab} = \boldsymbol{M}_0 = \boldsymbol{M}_n + [\boldsymbol{r}\boldsymbol{M}].$$

Вектор $\boldsymbol{M}$ называется также 1-й векторной компонентой мотора $\mathfrak{M}$, а вектор $\boldsymbol{M}_0$— 2-й векторной компонентой его. Из предыдущего следует, что мотор $\mathfrak{M}$ вполне определяется векторными компонентами $\boldsymbol{M}$ и $\boldsymbol{M}_0$, или, что то же самое, скалярными компонентами последних $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$ на три оси координат.

Аналогично тому как в *векторном исчислении* (см.) имеются скалярное и векторное произведения векторов, так и в моторном исчислении имеются скалярное и моторное произведения моторов. Скалярным произведением двух моторов $\mathfrak{A}$ и $\mathfrak{B}$ называется сумма двух скалярных произведений векторов $\boldsymbol{A}\boldsymbol{B}_0$ и $\boldsymbol{A}_0\boldsymbol{B}$, где $\boldsymbol{A}$ и $\boldsymbol{A}_0$, $\boldsymbol{B}$ и $\boldsymbol{B}_0$ суть векторные компоненты моторов $\mathfrak{A}$ и $\mathfrak{B}$. Т. о.

$$\mathfrak{A}\mathfrak{B} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{B}_0 + \boldsymbol{A}_0\boldsymbol{B} = A_1B_4 + A_2B_5 + A_3B_6 + A_4B_1 + A_5B_2 + A_6B_3.$$

Моторным произведением двух моторов $\mathfrak{A}$ и $\mathfrak{B}$ называется такой мотор $\mathfrak{C}$, первая векторная компонента которого $\boldsymbol{C} = [\boldsymbol{A}\boldsymbol{B}]$, а вторая векторная компонента $\boldsymbol{C}_0 = [\boldsymbol{A}\boldsymbol{B}_0] + [\boldsymbol{A}_0\boldsymbol{B}]$; символически моторное произведение моторов обозначается след. образом: $\mathfrak{C} = [\mathfrak{A}\mathfrak{B}]$. Несмотря на то, что по внешнему виду оба произведения моторов как бы зависят от точки O, они в действительности от этой точки совершенно не зависят.

М. и. находит многочисленные применения в теоретической и прикладной механике, сопротивлении материалов и т. п. Так, всякое мгновенное движение тела м. б. представлено при помощи мотора, раскрытие которого определяет направление оси мгновенного винтового движения и величины мгновенной скорости вращения около этой оси, а длина мотора определяет величину мгновенной скорости поступательного движения тела. Данную систему сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$ можно также представить при помощи некоторого мотора, осью которого является центральная ось системы (см. *Механика теоретическая*), а длиной и раскрытием—соответственно равнодействующий вектор $\boldsymbol{F} = \Sigma\boldsymbol{F}_i$ и главный моментный вектор системы. Если мотор $\mathfrak{A}$ представляет собою некоторую систему сил, приложенную к некоторому телу, а мотор $\mathfrak{B}$—мгновенное винтовое движение тела под действием данных сил, то скалярное произведение $\mathfrak{A}\mathfrak{B}$ представляет собою, как это нетрудно вывести, работу системы сил в данный момент, отнесенную к единице времени, т. е. мощность работы в данный момент.

Лит.: Mises R., Motorrechnung, ein neues Hilfsmittel d. Mechanik, «Ztschr. f. angew. Mathematik u. Mechanik», Berlin, 1924, H. 2; Mises R., Anwendungen d. Motorrechnung, ibid., H. 3; Study E., Geometrie d. Dynamen, Die Zusammensetzung von Kräften u. verwandte Gegenstände d. Geometrie, Lpz., 1903; Biezeno C., Geometrie d. Kräfte u. Massen, Handb. d. Physik, hrsg. v. H. Geiger u. K. Scheel, B. 5, p. 247, B., 1927. **М. Серебренников.**

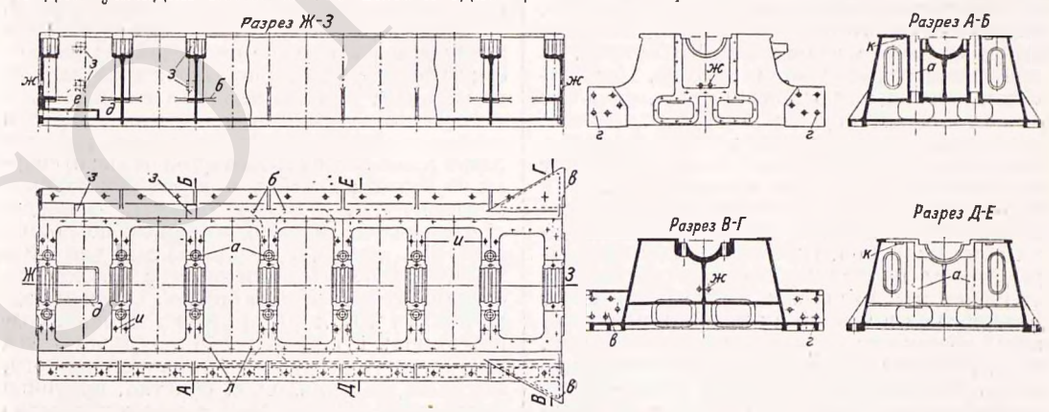
МОТОРОСТРОЕНИЕ, производство тяжелых и легких *двигателей внутреннего сгорания* (см.). Двигатели внутреннего сгорания тяжелого типа применяют в разнообразных отраслях теплосилового хозяйства, используя все виды тяжелого жидкого, газообразного и твердого топлива, вследствие чего они весьма разнообразны по своему выполнению.

М. тяжелых двигателей.

В СССР дизеля строят заводы: 1) Коломенский з-д—двигатели типа MAN для стационарных целей, тепловозов, подводных лодок и речных теплоходов; 2) «Русский Дизель»—крупные и вспомогательные двигатели типа Зульцер для коммерческих морских судов и частично для небольших стационарных установок; впредь до развития полной производительности з-да, крупные двигатели этого же типа строятся и на Балтийском з-де; 3) Харьковский паровозостроительный з-д строит мелкие и средние двигатели типа Зульцера для стационарных, а также частично для судовых установок; 4) завод «Двигатель Революции» строит стационарные двигатели мелкой и средней мощности; 5) з-д «Красное Сормово»—двигатели типа MAN для стационарных целей и речных теплоходов, мелкие и крупные; 6) з-д имени Марти в Николаеве—исключительно судовые, типа Зульцера; 7) з-д «Красный Пролетарий» в Москве—бескомпрессорные мелкие двигатели типа Дейтца для стационарных целей.

Нефтяные двигатели и полудизели строят следующие з-ды: 1) з-д «Красный Двигатель» в Новороссийске—двухтактные вертикальные; 2) з-д им. Ленина в Воронеже—двухтактные вертикальные; 3) з-д в Балакове—четырехтактные горизонтальные; 4) завод в Сумах—двухтактные вертикальные; 5) завод «Сотрудник Революции» в Саратове—двухтактные вертикальные и горизонтальные; 6) Харьковский паровозостроительный з-д—вертикальные двухтактные; 7) з-д «Возрождение» в гор. Марксштадте—двухтактные вертикальные без запального шара; 8) Ижорский з-д в Колпине—преимущественно мелкие судовые двигатели. Газовые двигатели в СССР пока не строятся.

Фундаментная рама. Рама предназначается для укладки коленчатого вала и одновременно служит для соединения самого двигателя с фундаментом. Вместе с тем рама является маслособирательной ванной. Название «рама» у нас часто относят к горизонтальным двигателям, в вертикальных же эту деталь часто называют фундаментной плитой. Формы и конструкции этой детали столь разнообразны, что лучше всего эту основную часть двигателя называть фундаментной рамой. Один из типов изображен на фиг. 1, где *а*—приливы для фундаментных болтов, *б*—уширения поперечных ребрышек, *в*—фланцы с приливами для соединения с динамомашиной, *г*—призонные болты, *д*—коробка для стока масла, *е*—сито для масла, *жс*—отверстия для обратного стока масла, вытекающего из внешних подшипников, *з*—приливы для укрепления охладителя для смазочного масла, *и*—призонные штифты для стоек, *к*—бабышки для призонных штифтов, *л*—болты для крепления крышек люков. Материалом для значительного большинства рам служит чугун, и только для двигателей специального назначения, где существенную роль играет вес, применяют стальную отливку. Рамы отливают из машинного чугуна хорошего качества. Хим. сост. чугуна: 3,45—3,55% C, 1,5—1,7% Si, 0,8—1,0% Mn, < 0,1% S, 0,3—0,4% P. Механич. свойства: временное сопротивление на разрыв $K_z = 16$—18 *кг/мм²*, сопротивление изгибу (для бруска $\varnothing = 30$ *мм*, $L = 600$ *мм*) $K_b = 32$—38 *кг/мм²*, стрела прогиба ≥ 8 *мм*. Материал стальных рам: врем. сопротивление на разрыв $K_z = 40$—55 *кг/мм²*, удлинение $\delta = 20$—14%, изгиб образца на угол не меньше 120°. Форму и размеры поперечного сечения рамы выбирают в зависимости от конструкции двигателя, проверяя расчетом на прочность два наиболее нагруженных сечения: 1) вертикальное сечение подшипниковой траверсы и 2) поперечное сечение боковой балки посредине между осями цилиндров. Для проектирования рамы необходимо знать размеры коленчатого вала и нижней головки шатуна, а также распределение давлений на подшипники и места крепления станины. В предварительном эскизе высота поперечного сечения чугунной рамы выбирается приблизительно в 2—2,5 раза, а стальной в 1,8—2 раза больше диаметра вала. Вычертив схематически оба сечения



Фиг. 1.

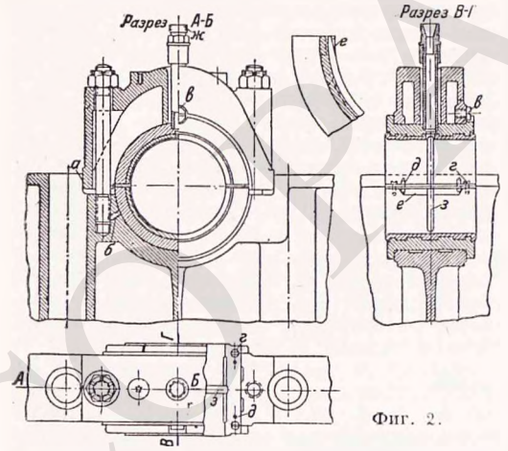
и разбив их на элементарные площадки, определяют суммарные моменты инерции и моменты сопротивления. По диаграмме усилий от давления на поршень в момент горения, приняв $p_z = 40$ *кг/см²* (для дизеля) и по силам инерции движущихся частей $P_{max} = \frac{q_0 R \pi^2 n^2}{9{,}81 \cdot 30^2} \cdot F(1+\lambda)$, где q_0—вес движущихся частей, приходящийся на 1 *см²* площади поршня, R—радиус кривошипа, n—число об/м. двигателя, F—площадь поршня и $\lambda = \frac{R}{L}$, где L длина шатуна, а также по реакциям в подшипниках определяют изгибающие моменты. Зная изгибающие моменты и моменты сопротивления, определяют возникающие напряжения. Напряжение на изгиб чугунной рамы не должно превосходить 200 *кг/см²*, а для стальной—600 *кг/см²*. Для горизонтальных рам сечение, перпендикулярное оси цилиндра и расположенное между коренными подшипниками и цилиндром, является наиболее опасным, т. к. здесь кроме растяжения имеется еще изгиб. Байонетные рамы горизонтальных двигателей менее благоприятны в этом смысле, чем вильчатые, и в настоящее время почти не применяются. При выборе формы сечения рамы нужно избегать значительного скопления материала, резких переходов сечений в смежных стенках и острых входящих углов, чтобы не вызвать излишних литейных напряжений. Для малых и средних мощностей, при числе цилиндров не большем четырех, рамы отлива-

ются цельными, а для большего числа цилиндров и значительных мощностей рамы выполняют составными, причем плоскости стыков отдельных частей проходят б. ч. через середину подшипника или цилиндра. Раму обычно формуют непосредственно в полу литейного цеха в горизонтальном положении основанием вверх. Этим достигается лучшее качество металла и большая прочность верхних частей рамы, подвергающихся механич. обработке. Вынимание из земли отлитых длинных рам производят через 2—4 дня после заливки, для обеспечения остывания и во избежание прогиба при подъеме краном не вполне остывшей рамы. Открытые концы составных рам иногда отливаются с временными скрепляющими перекладинами «струнами», удаляемыми при обрубке, соответствующего поперечного сечения, обеспечивающего одновременное застывание струи со всей массой залитого чугуна. В противном случае тонкая струна, застывающая раньше, чем основная масса, приведет ло ее удалении к сужению рамы, а толстая, наоборот,—к расширению; иначе говоря, в стенках рамы в обоих случаях возникнут значительные литейные напряжения. Для образования камер для кривошипного механизма ставят поперек рамы шишки значительных размеров. При этом принимают меры, чтобы каркас шишек был достаточно углублен в тело шишек, иначе рама может разорваться в траверсах подшипников, или в них возникнут значительные напряжения, т. к. каркас шишек не даст раме свободно сесть. При отливке стальных рам, обычно тонкостенных, принимают меры к правильной усадке и свободному остыванию отливки. Для этой цели рамы формуют в разъемных опоках и через 5—7 м. после заливки приступают к освобождению отливки от формовочной земли. Разрыхление формовочной земли должно закончиться при $t°$ отливки не ниже 1 000°, в противном случае рама неправильно сядет, что вызовет значительные деформации.

Для цельных рам необходимы следующие операции механич. обработки. 1) Разметка. 2) Строжка или фрезеровка нижних опорных поверхностей; эти поверхности не требуют особенно тщательной обработки, хотя для судовых установок последнее желательно. 3) Строжка или фрезеровка верхней поверхности рамы—обыкновенно в 3 прохода; последняя стружка берется толщиною примерно 0,2 *мм*, причем крепление рамы на станке несколько освобождают для устранения деформаций, вызванных затяжкой, и затем вновь крепят; при этой же установке производится строжка или фрезеровка замков для крышек коренных подшипников и, если конструкция рамы позволяет, то и обработка мест крепления насосов, подпятника вертикального передаточного вала, регуляторного вала и пр. 4) Разметка дыр рамы. 5) Сверловка и нарезка дыр. 6) Ввертывание шпилек для крепления крышек подшипников; к этому моменту подготавливают крышки подшипников; желательно совместно строгать или фрезеровать все крышки, чем обеспечивается одинаковый размер их в замках. 7) Пригонка крышек подшипников; крышки должны плотно сидеть на своих местах, но выниматься при легких ударах свинцового молотка. 8) Сборка крышек подшипников; между крышками и телом рамы в стыки кладут проволоку либо кусочки поршневых колец, чтобы создать необходимый (2—5 *мм*) зазор для натяга. 9) Расточка и подрезка гнезд для вкладышей подшипников; во избежание прогиба борштанги ее укрепляют специальными люнетами в нескольких местах в зависимости от длины рамы и диаметра борштанги; расточку и подрезку гнезд ведут с одного конца рамы последовательно, начиная с упорного подшипника; при расточке последняя стружка берется толщиною около 0,2 *мм*; при подрезке торцов пользуются для измерений предельными скобами (длина гнезда) и штихмасами (расстояние между торцами соседних гнезд).

Для составных из нескольких частей рам требуются следующие операции: 1) разметка; 2) фрезеровка торцовых соединительных плоскостей; 3) разметка дыр на этих плоскостях; 4) сверловка и подрезка дыр для соединительных болтов или шпилек; 5) пригонка плоскостей стыка частей рамы; 6) сборка на болтах; 7) строжка нижней и верхней поверхностей, а также боковых флацев; 8) фрезеровка внешних торцовых поверхностей; 9) разметка и сверловка дыр для шпилек и болтов крепления картера, блоков или станин, фундаментных болтов, крышек подшипников и пр.; 10) пригонка крышек подшипников; 11) расточка и подрезка гнезд рамовых подшипников, начиная с упорного; 12) слесарная опиловка, очистка, пригонка вкладышей. После этой операции обычно производят испытание плотности стыков рамы простым наливанием воды. В операции 6-й 2—4 болта в каждом стыке делаются калиброванными, а дыры для них разворачиваются специальными развертками. Эти дыры сверлят с припуском от 3 до 5 *мм* в зависимости от диаметра болтов. После предварительной сборки и выверки дыры проходят сперва зенкерами, а затем развертками. Дыры для всех прочих болтов делаются на 3—5 *мм* больше диаметра болтов для облегчения сборки рамы даже при некоторых неточностях в расположении дыр. Рама судового двигателя требует особенно тщательного выполнения, т. к. она служит исходной базой при монтаже двигателя на судне, где при установке и проверке нельзя пользоваться ватерпасом, а только линейкой.

Вкладыши рамовых подшипников. У большинства двигателей вкладыши рамовых подшипников изготовляют чугунными, иногда стальными литыми или коваными (при тонкостенных вкладышах); материал берут тот же, что и для фундаментной рамы. Устройство подшипника видно из фиг. 2, на к-рой изображен коренной подшипник небольшого двигателя с цельной крышкой и двумя болтами: *а*—боковые плоскости замка крышки, *б*—стопорный штифт, *в*—стопор верхней половины вкладыша, *г*—винты, и *д*—установочные штифты для прокладок, *е*—распределительная канавка для смазки, *ж*—подвод смазки, *з*—кольцевая канавка для смазки. Вкладыши изготовляются из двух половин, причем каждую половину отливают отдельно. Формуют в горизонтальном положении стыками кверху, куда жидкий чугун и выносит при отливке всю грязь и нечистоты, удаляемые при обработке. В стыках дают припуски до 15 *мм*. В нек-рых типах двигателей вкладыши подвергаются охлаждению водой. Каналы для циркуляции охлаждающей воды получают посредством закладывания в тело вкладыша при



Фиг. 2.

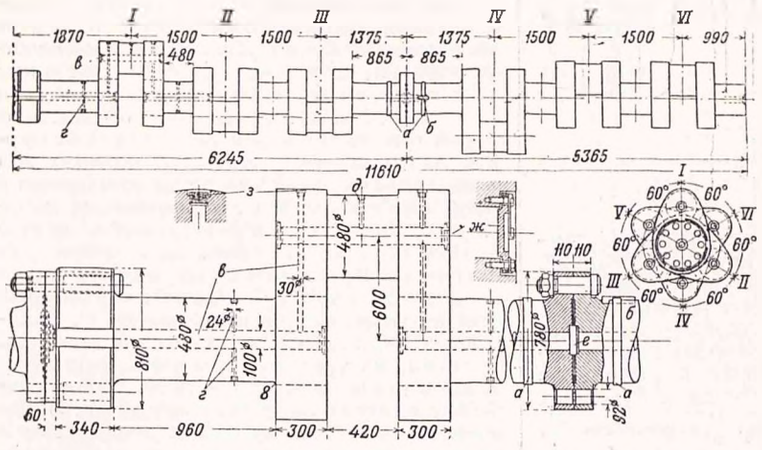
формовке специального облуженного змеевика или же формуют каналы в отливке. Длина L вкладыша при циркуляционной системе смазки выбирается равной $(0{,}95 + 1{,}1)D$, где D—диаметр вала, после чего вкладыши проверяют на удельное давление смазки. Оно д. б. для рамовых подшипников не выше 40—50 *кг/см²*. Толщина чугунных вкладышей берется от $\frac{D}{6}$ до $\frac{D}{5}$, стальных— $\frac{D}{7}$, а бронзовых — $\frac{D}{8}$. Крышки рамовых подшипников проверяют на изгиб, допуская напряжение для чугуна 120—150 *кг/см²*, для стали до 250 *кг/см²*. Крышечные болты рассчитываются на напряжение в 300—350 *кг/см²*, изготовляются обычно из сименс-мартеновской стали. Крышки коротких подшипников ставятся на два болта (как на фиг. 2), а длинных на четыре. Порядок операций обработки вкладышей примерно следующий: 1) строжка плоскостей стыков обеих половинок; 2) расточка внутренней поверхности вкладышей, выточка канавок в форме ласточкина хвоста для лучшего закрепления баббита; при этой операции обе половинки вкладыша схватывают снаружи специальными хомутами и в таком виде закрепляют в патроне токарного станка; 3) долбежка продольных канавок для той же цели; 4) сверление и постановка штифтов и постановка прокладок; 5) обточка наружных поверхностей вкладышей на оправке, с припуском около 1 *мм* на диаметр; 6) заливка баббитом; 7) расточка и обточка внутренней и наружной поверхностей вкладыша (обе половинки схвачены хомутами, как выше); внутренний диаметр растачивается на 0,1—0,2 *мм* меньше требуемого для последующей шабровки при сборке двигателя; 8) в каждой половинке вкладыша на горизонтально-расточном станке протачивают т. н. холодильники и канавки для смазки. Баббит применяется высокого качества, оловянный так наз. «Шарпи», следующего состава: 5—6% Cu, 11—12% Sb, остальное—олово; примесей допускается не свыше 0,3%; особенно вредными примесями являются висмут, мышьяк и сера. H_{Br} баббита (при нагрузке 500 *кг*) 30—36 *кг/мм²*; излом мелкозернистый, светлосерого цвета. Стальные вкладыши до заливки лудят оловом, а чугунные оцинковывают. Перед заливкой вкладыши тщательно и равномерно прогревают до $t° \sim 250°$; так же прогревается и чугунная оправка, вставленная внутрь вкладыша. Темп-ру нагрева определяют прикосновением палочки олова, которое плавится по достижении требуемой $t°$. Оправки делаются раза в два больше длины вкладышей, т. к. они служат при заливке аккумуляторами тепла. Нагретые половинки вкладыша и оправка очищаются от пыли и сажи, стягиваются струбцинами и устанавливаются на чугунной плите; в центре вкладыша (по кронциркулю) устанавливается оправка, до которой доходят чугунные прокладки, заложенные между половинками вкладыша. Все щели тщательно обмазывают сырой глиной, из к-рой сверху делают буртик для получения прибыли баббита над вкладышем на 30—40 *мм* по высоте. Заливку ведут баббитом при $t°$, определяемой пирометром, 450—470°; нагрев выше 480° делает баббит крупнозернистым. При отсутствии пирометра $t°$ определяют опущенной в расплавленный баббит бумажкой: темнобурый цвет ее указывает на правильную $t°$. Заливают в вертикальном положении, сначала примерно на $^3/_4$ по высоте и оставляют вкладыши в таком состоянии ~ 20 м., поменивая баббит плоским железным прутиком. Затем постепенно добавляют баббит доверху, продолжая помешивание до полного застывания баббита. Заливка крупного вкладыша продолжается до $1^1/_2$ ч.

Коленчатые валы. Основным материалом для коленчатых валов является сименс-мартеновская сталь. Примерный химич. состав: 0,30% C, 0,30% Si, 0,65% Mn, < 0,05% S, < 0,05% P, < 0,08% S+P. Механич. свойства: врем. сопротивление на разрыв K_z = = 50—60 *кг/мм²*, предел пропорциональности 28 *кг/мм²*, удлинение 18% (при десятикратном образце), изгиб на 180° вокруг диаметра равного толщине изгибаемого образца, проба на удар > 8 *кгм/см²* на образце 30×30×160 *мм*. Для судовых двигателей часто применяется, в соответствии с требованием Английского Ллойда, сталь более мягкая: K_z = 44—50 *кг/мм²*, удлинение δ = 29—25% (при английском образце), загиб вокруг бруска диаметром 12,5 *мм*. В таких случаях проверку диаметра вала ведут по формуле Английского Ллойда $d_k = \sqrt[3]{D^2 + A \cdot S + B \cdot L}$, где: S — ход поршня, D — диаметр цилиндра в *мм*, L—расстояние между внутренними кромками вкладышей, а A и B—постоянные, значения которых м. б. взяты из таблицы. Диаметры для валов вспомогательных двигателей м. б. взяты меньше на 5%. При валах, откованных из одного слитка, высота (широкая сторона) щеки колена должна быть не меньше 1,33, ширина (узкая сторона)—не меньше 0,56 диаметра вала, рассчитанного

Значения коэфициентов A и B для двигателей Дизеля простого действия.

Четырехтактные	Двухтактные	A	B
Число цилиндров			
4 или 6	2 или 3	0,089	0,056
8	4	0,099	0,054
10 или 12	5 или 6	0,111	0,052
16	8	0,131	0,050

по вышеприведенной ф-ле. Ширина b щеки колена составных валов, измеренная параллельно оси вала, рассчитывается по ф-ле: $b = 0{,}625\ d_k$. Радиально измеренная толщина S полого вала: $S \geqslant \sqrt{\frac{12 d_k^3}{b}}$. По этой ф-ле можно проверять и размеры валов стационарных двигателей (подробности расчета и конструкции, см. *Коленчатые валы*). В цельных валах пробы для испытаний материала берут от обоих концов вала, а в составных валах—по одной пробе от каждой поковки. Для двигателей небольших мощностей валы изготовляются цельными, для двигателей средних мощностей и с большим числом цилиндров (6 и выше)—составными из 2 и даже 3 частей отдельных валов, соединенных фланцами. Валы крупных тихоходных двигателей делают составными из отдельных щек или отдельных колен и шеек, соединяемых в горячем состоянии. На фиг. 3 изображен коленчатый вал бескомпрессорного 6-цилиндрового двухтактного двигателя мощностью 4 500 HP, при 90 об/м.; *а* и *б*—буртик и шпонка для приводной зубчатки распределительного вала, *в*—каналы для смазки, *г* и *д*—радиальные отверстия для смазки коренных и шатунных шеек, *е*—центрирующая шайба, *жс* и *з*—крышки и пробки смазочных каналов. Для отковки вала отливаются слитки требуемых размеров, весом до 100 *т*. При наших методах отливки примерно от 25 до 30% идет на прибыль. Для уменьшения размеров прибыли за границей принимаются следующие меры: 1) отливка слитков под давлением—Герметовский способ, применяемый в частности на заводе Шкода; 2) держание залитого в изложницы металла под действием вольтовой дуги в течение 4—6 ч. в жидком состоянии, чтобы дать возможность газам удалиться и уменьшить величину усадочных раковин, а шлакам подняться вверх. Черный вес поковки нормально превосходит чистый вес вала на 100—120%. Поковку ведут в большинстве случаев на гидравлических прессах мощностью до 5 000 *т*. Процесс изготовления цельных валов проходит в следующем порядке. 1) Отливка слитка. 2) Отрезка прибыли. 3) Отковка всех колен в виде пластин при коротких коренных шейках вала и при расположении колен на 90 и 120°, а в нек-рых случаях на 180°. При длинных коренных шейках вала все колена отковываются сразу, тогда же производится разводка колен под требуемыми углами. В этом случае поковка сразу идет в отжиг при $t°$=650° для уничтожения ковочных напряжений. 4) После отковки вал поступает в механический цех на разметку мест под вырезку излишка материала против коренных шеек вала, с одновременной проверкой прочих размеров. 5) Высверливают и выдалбливают места, указанные в предыдущей операции. В небольших валах допускается вырезка посредством автогенной резки при наличии опытных резчиков. Как правило этот способ однако не следует применять, т. к. он приводит к малозаметным трещинам ($t°$ пламени 2 500°), а впоследствии к поломке вала. 6) Центровка вала по обоим концам. 7) Обдирка коренных шеек с припуском по 15—20 *мм* на сторону. 8) Возвращение вала в кузницу, нагревание вала, разводка колен на требуемые углы (на том же прессе). 9) Отжиг вала при температуре 650° для уничтожения ковочных напряжений. 10) Механическая обработка: вырезка лишнего материала для получения шеек кривошипов. 11) Вторичная центровка вала и вырезка излишка материала для образования кривошипов. 12) Разметка колен и обдирка кривошипных шеек с припуском 5—10 *мм* на сторону на люнетном станке Молля. 13) Вторичный отжиг при температуре 950° для улучшения материала. 14) Строжка щек и углов колен; эту операцию предпочтительно производить на шепингах. 15) Окончательная разметка и обточка мотылевых шеек и щек колен на станке Молля. Иногда предпочитают оставлять припуск на кривошипных цапфах по 0,5 *мм* на сторону для окончательной обработки их после шлифовки коренных шеек. 16) Окончательная строжка щек колен на шепинге. 17) Высверливание сердцевин в цапфах, если это требуется конструкцией вала. 18) Окончательная обточка коренных шеек вала, подрезка фланцев. 19) Фрезеровка шпоночных канавок. 20) Сверление смазочных каналов на специальных быстроходных сверлильных станках. Сверление дыр во

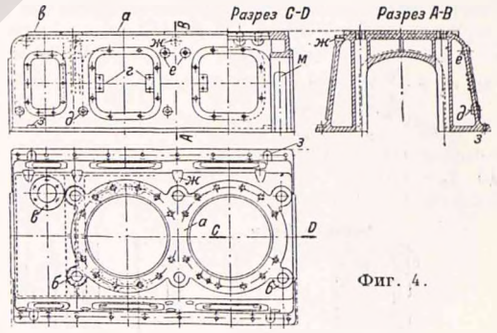


Фиг. 3.

фланцах. При изготовлении вала, составного из 2—3 частей, последние дыры сверлятся по кондуктору с недомером и при соединении частей проходятся разверткой.

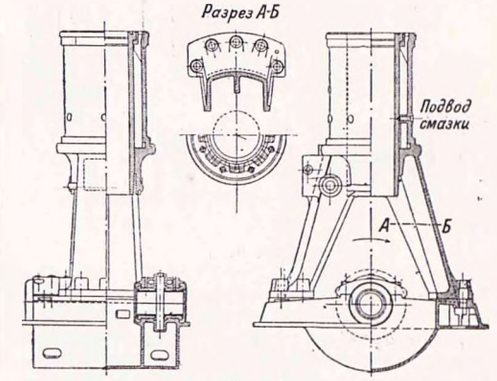
Составные валы. Валы крупных тихоходных двигателей диаметром шеек свыше 400—450 *мм* обычно изготовляются из отдельно откованных частей, соединяемых в одно целое в нагретом состоянии. Изготовление таких валов производится в следующем порядке. 1) Из одного слитка отковывают стержень для всех коренных шеек вала, материал испытывается взятием проб от обоих концов поковки. 2) Из отдельных слитков куются куски для изготовления колен вместе с шатунной шейкой. Колена крупных газовых двигателей выполняются в виде отдельных пластин, в которых потом растачивают отверстия для коренной и шатунной шеек. 3) Откованные колена обдирают с припуском для чистовой отделки по 5—10 *мм* на сторону. 4) После обдирки колена подвергаются отжигу для уничтожения напряжения. 5) Растачивают начисто гнезда для запрессовки коренных шеек вала, с точностью до 0,03 *мм*. 6) Аналогичная подготовка коренных шеек вала. 7) Нагревание щек в яме до $t°$ 250—300° при помощи газового пламени или специальными горелками. Достаточность нагревания определяется штихмасами, имеющими размеры нагретых щек. 8) Посадка шеек в гнезда в вертикальном положении. После сборки вала операции по обработке идут в том же порядке, как и в цельных валах. Один из герм. з-дов сначала обрабатывает отдельные части начисто, а затем собирает. Сборка ведется от среднего колена к концам во избежание накопления ошибок. Этот способ изготовления применим только на лучших заводах. Допускаемая неточность обработки валов: 1) овальность и конусность шеек не свыше 0,05 *мм*; 2) непараллельность шатунных шеек по отношению к коренным шейкам по ватерпасу не свыше 0,1 *мм* на 1 000 *мм*; проверка должна производиться в четырех взаимно перпендикулярных положениях шейки; 3) взаимная эксцентричность шеек вала $\leqslant$ 0,03 *мм*; 4) взаимное смещение осей шатунных шеек $\leqslant$ 0,2°; 5) биение на торце фланцев на внешнем диаметре $\leqslant$ 0,05 *мм*. Допуски размеров: 1) радиуса кривошипов $\pm$ 0,4 *мм*; 2) длины коренных шеек и цапф кривошипа $\pm$ 0,2 *мм*; 3) общей длины вала $\pm$ 2 *мм*.

Станина, картер и стойки. В вертикальных двигателях деталь, соединяющая фундаментную раму с цилиндрами, носит название станины или картера. Назначением станин и картеров помимо вышеуказанного является: защита шатунного механизма от попадания посторонних предметов, ограждение от разбрызгивания масла и, в крейцкопфных двигателях, крепление направляющих параллелей. Первые двигатели Дизеля строились со станинами **А**-образного типа, сохранившимися и до настоящего времени в стационарных двигателях. В быстроходных двигателях и в тяжелых судовых применяют преимущественно картеры в виде цельных отливок или в виде сболченных из частей коробок, как в двигателях типа Зульцера. На фиг. 4 изображен картер двухцилиндрового двигателя: *а*—обработанная поверхность прилегания фланцев цилиндров, *б*—то же гаек стяжных болтов, *в*—то же подшипника вертикального распределительного вала, *г*—приливы для крепления приводного механизма индикатора, *д*—бабышки для смазочного трубопровода подшипников, *е*—то же для смазки цилиндров, *жс*—приливы для консолей, *з*—приливы для конич. установочных штифтов. Станины **А**-образного



Фиг. 4.

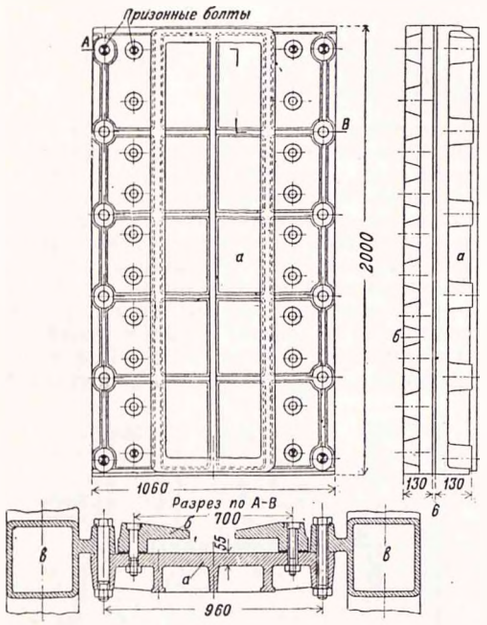
типа отливают обычно за одно целое с рубашкой цилиндра (фиг. 5). Для мелких двигателей рама, станина, рубашка, а в горизонтальных иногда и крышка, выполняются как одно целое. Станины и картеры отливаются из хорошего машинного чугуна, и только для быстроходных двигателей, в целях уменьшения веса, картеры отливают из стали или специальной бронзы. Характеристику материала см. выше—Фундаментная рама. От станины и картера требуется не только прочность, но и жесткость. Недостатком



Фиг. 5.

отдельно стоящих станин является обособленное принятие каждой станиной напряжений, которые возникают в отдельных цилиндрах, а равно большая потеря масла; эта конструкция однако обеспечивает большую доступность кривошипно-шатунного механизма и коленчатого вала. Т. к. чугун лучше работает на сжатие, нежели на растяжение, часто для укрепления станин и картеров сквозь них пропускают вертикальные (стяжные) болты, соединяющие непосредственно цилиндры с фундаментной рамой. Точный расчет двуногой станины на прочность затруднителен, т. к. решающим фактором является деформация фундаментной

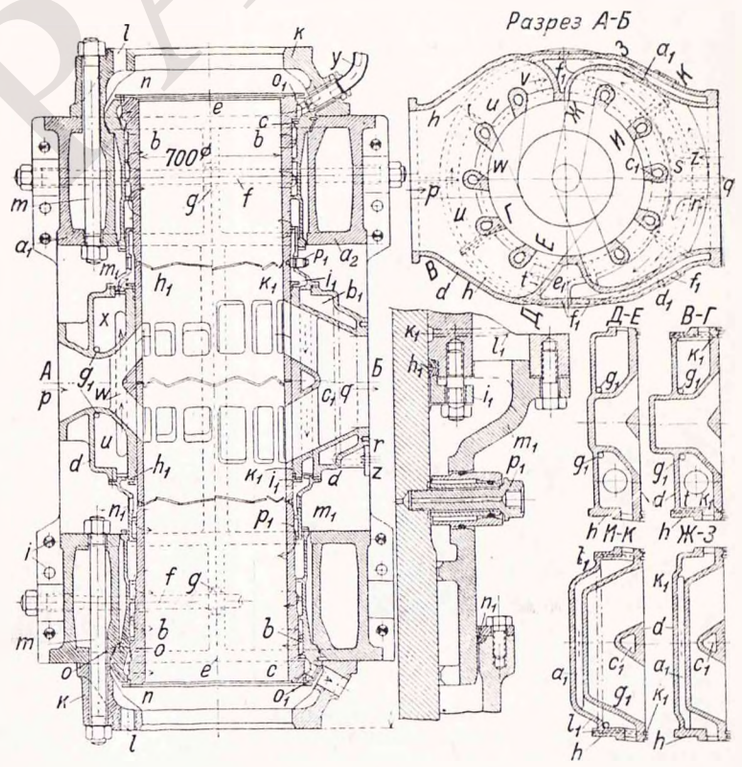
рамы, на которой крепится станина. Боковые стенки картеров и ноги А-образных станин подвергаются растягивающим и изгибающим усилиям от давления сгорания. В крейцкопфных двигателях стенки картера воспринимают еще и давление N от крейцкопфа и изгибаются моментом той же силы ($N \simeq {}^1/_{10}\, P_z$). На каждую ногу станины приходится половина наибольшего усилия поршня P_z, т. е. $P = {}^1/_2\, P_z$. Эта сила разлагается на две составляющих P_a и P_b. Первая действует по оси ноги, вызывая растяжение, вторая изгибает ногу. В опасном сечении a—a кроме напряжения чистого растяжения $\sigma_z = \frac{P_a}{f_a}$ *кг/см*² будет напряжение от изгиба $\sigma_b = \frac{P_b \cdot l \cdot e}{I_a} = \frac{P_b \cdot l}{W}$ *кг/см*². В этом месте наибольшее общее напряжение $= \sigma_z + \sigma_b$ *кг/см*², где I_a—момент инерции сечения, e—расстояние крайнего волокна до нейтральной



Фиг. 6.

оси, W—момент сопротивления сечения ноги станины. Приблизительно можно принять, что $\sigma_z : \sigma_b = 1 : 3{,}5$ до $1 : 4$. Суммарное напряжение для чугуна не должно превосходить 150 *кг/см*². Станина для крейцкопфных двигателей конструктивно значительно отличается от описанных выше. В зависимости от выбранного одно- или двухстороннего крейцкопфа изменяется конструкция стоек. На фиг. 6 например изображена односторонняя неохлаждаемая направляющая крейцкопфа, где a—направляющая для переднего хода, $б$—щеки для работы двигателя при заднем ходе, $в$—стойки двигателя. Крепление направляющих к стойкам болтами показано на этой же фигуре. В крупных двигателях направляющие крейцкопфа обычно охлаждаются циркулирующей водой, тогда к направляющей части a крепится особая крышка или она отливается пустотелой, с камерой для охлаждаемой воды. Боковое пространство между стойками закрывается чугунными или железными дверцами с особым маслостойким уплотнением. Формовка и отливка стоек не представляет особенных трудностей, если они правильно сконструированы. Несколько большие трудности представляет отливка картеров; особенного внимания требует внутренняя шпилька, так как она при значительных размерах д. б. достаточно прочна и податлива, чтобы не вызывать литейных напряжений. Формуют картер в опрокинутом положении. Соответственно с размерами картера формы д. б. снабжены требуемым количеством больших выпаров и литников. Механич. обработка А-образных станин ведется на расточных станках. Порядок отдельных операций обработки следующий. 1) Разметка. 2) Расточка пояска для втулки рабочего цилиндра, подрезка лап и верхнего конца станины. Необходимо соблюдать строгую перпендикулярность подрезки лап к оси расточки, т. к. неточность вызывает большие трудности и продолжительную слесарную работу при сборке. Некоторая разница в высоте отдельных станин многоцилиндровых двигателей несущественна, нужно лишь стремиться к подрезке выносных кронштейнов для подшипников распределительного вала на равном расстоянии от низа лап станины. Это уменьшает работу по слесарной подгонке и опиловке кронштейнов. 3) Фрезерование наружных фланцев и приливов. 4) Сверление, нарезка дыр подшипника. Картер обрабатывают на строгальном станке, при этом стремятся сохранить параллельность верхней и нижней опорных поверхностей. В этом случае принимают те же меры, что и в фундаментной раме, т. е. отпускают крепления картера к станку, для устранения деформаций, и вновь крепят, но уже слабее. Иногда производят обдирку всех подлежащих обработке поверхностей начерно, а затем, после выявления деформаций, отделывают картер начисто. В двигателях стоечного типа большие трудности представляет получение всех стоек одинаковой высоты, почему желательно обрабатывать их, если только возможно, одновременно на строгальном или на карусельном станке, после предварительной обдирки. Многочисленные дыры в картере или в стойках сверлят обычно по разметке, но конечно лучше, если это выполняют по кондуктору, т. к. сверловка по кондуктору дает большую точность и удобства при сборке.

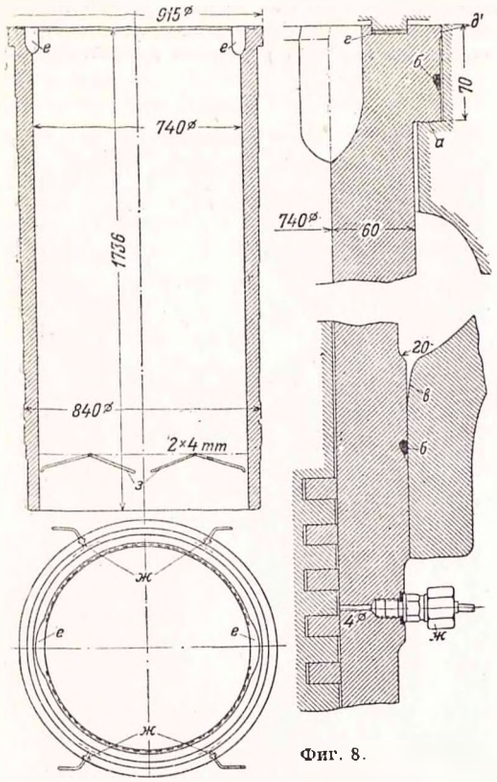
Рабочий цилиндр. Цилиндр двигателя состоит из наружной части—рубашки и внутренней—втулки. В мелких двигателях жидкого топлива (нефтянках) и газовых средней мощности, а иногда и крупной, обе детали выполняются в одной отливке, что несколько усложняет отливку, но упрощает обработку и сборку. В дизелях втулки делаются вставными. Вставные втулки имеют следующие преимущества: а) свободное расширение при нагревании во время работы двигателя, б) выбор соответствующего материала и упрощение отливки, в) удешевление замены при износе, г) уменьшение литейных напряжений. В газовых двигателях в целях придания большей жесткости нек-рые з-ды для крупных мощностей выполняют цилиндры также в одной отливке (см. *Двигатели газовые*), но при цельных отливках в рубашках возникают напряжения при литье на растяжение, а во втулке — на сжатие, обычно не уничтожаемые даже отжигом. Чтобы уменьшить литейные напряжения в рубашках, средняя часть рубашки заменяется кожухом из листового железа. В двигателях двойного действия как рубашка, так и втулка выполняются из нескольких частей. На фиг. 7 изображен цилиндр с рамой бескомпрессорного двухтактного двигателя дизеля двойного действия; a_1, a_2 — половины цилиндровой рамы; b—рубашка, c — установочные штифты, d—средняя часть рубашки, ee—плоскость разъема рамы, f—горизонтальные стяжные болты, g—центрирующие кольца, h—опорные поверхности детали, d и i—соединительные болты, k — головные нажимные кольца из стального литья, l—дыры для шпилек цилиндровых крышек, m—соединительные болты, n — уплотняющие поверхности цилиндровых крышек, o, o — сечение рубашки, работающее на изгиб вследствие температурных деформаций, p—вход продувочного воздуха, q—выхлоп, r—вход воды верхнего потока охлаждающей жидкости, s—перегородка между полостями для притока воды, t—отверстие для протока воды, u—распределител. полость верхнего потока, v—сплошная переборка, w—каналы в стойках продувочных отверстий, x—водяная полость верхнего потока, y—перепуск воды в верхнюю крышку, z, a_1 и b_1—то же, что r, x и u, но для нижнего потока, c_1—каналы в стойках выхлопного окна, d_1—боковая рубашка выхлопного патрубка, e_1—переборка между пространствами для охлаждающей воды и продувочного воздуха, f_1—пищечные пробки, g_1—спускные отверстия, h_1—сальники рубашек, i_1—крышки сальников, k_1, l_1—отвод просачивающейся воды, m_1—подвижные части рубашек, n_1—сальники между частями рубашки, o_1—то же между втулкой и рубашкой, p_1—патрубки для смазки цилиндров. В четырехтактных двигателях цилиндры обычно проще, чем в двухтактных, т. к. конструкция последних осложняется устройством окон для продувки и выхлопа. В целях удешевления двигателя и придания ему большей жесткости, рубашки многоцилиндровых двигателей малой и средней мощности выполняются в одном блоке по 2, 3 и 4. Комбинируя эти блоки, можно получать двигатели в 4, 5, 6 и 8 цилиндров. Блоки свыше 4 цилиндров применять не рекомендуется, т. к. получается слишком сложная и дорогая отливка и выполнение их возможно лишь на первоклассных заводах. Жесткость всего двигателя в целом можно повысить сбалчивая отдельные цилиндры. Материалом для рубашек для большинства двигателей служит хороший машинный чугун (см. выше о раме); только для двигателей быстроходных, легких и для некоторых газовых рубашки выполняют из



Фиг. 7.

стального литья. Толщину S стенок рубашки выбирают: для двигателей по циклу Отто $S = D/20$ и по циклу Дизеля $S = D/13$, где D—диаметр цилиндра. Следует проверить выбранный размер на растяжение от давления горения при неисправном топливном клапане ($p_z = 100$ *кг/см*²), допуская напряжение на растяжение для чугуна $\leqslant 125$ *кг/см*², а для стали 300 *кг/см*². Прилегающие к крышкам стенки рубашки часто усиливаются, чтобы компенсировать прочность на дополнительное напряжение вследствие неодинаковой затяжки крышечных болтов. Иногда приходится толщину стенок увеличивать в целях достижения необходимой жесткости конструкции. Рубашки снабжаются соответствующим количеством люков для удобства хорошей очистки зарубашечного пространства от накипи и грязи. Для уничтожения литейных напряжений рекомендуется рубашки и блоки, особенно в сложных конструкциях, подвергать отжигу при

450—500°. Цилиндровые втулки выполняют из перлитового чугуна химического состава: 3—3,3% C, 0,8—1,1% Si, 0,8—1% Mn, 0,3—0,5% P, < 0,1% S. Механич. свойства: временное сопротивление на разрыв K_z = 24—30 *кг/мм²*; врем. сопротивление изгибу (для бруска длиною L = 600 *мм*; диаметр = = 30 *мм*) K_b = 40—50 *кг/мм²*, стрела прогиба ≥ 10 *мм*; H_{Br} 180—230. Перлитовые чугуны

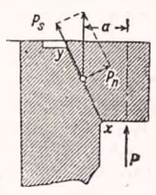


Фиг. 8.

при высоких механических свойствах и значительной твердости дают сравнительно небольшой рост чугуна при высоких $t°$, что существенно для прочности цилиндра. Толщина стенки втулки определяется по ф-ле:

$$S = \frac{D}{2}\left[\sqrt{\frac{k_z + p_z}{k_z - 1{,}3p_z}} - 1\right] \text{ см},$$

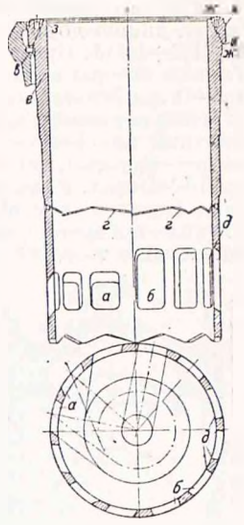
где D—диам. втулки в *см*, k_z—допускаемое напряжение на растяжение 250—275 *кг/см²*, p_z—давление горения в *кг/см²* (для двигателя цикла Отто 25 *atm*, для дизеля 35 *atm*). К полученным размерам иногда еще добавляется от 0,5 до 1 *см* на повторную расточку при износе втулки. По правилам Англ. Ллойда толщина стенки д. б. больше D/15. В направлении кривошипа стенки втулки постепенно уменьшаются, как показано на фиг. 8, где *а*—уплотнение по металлу, *б*—резиновые уплотнения, *в*—скосы для облегчения запрессования в местах *б*, *г*—медное кольцо, *д*—центрирующий буртик, *е*—углубления для прохода клапанов, *жс*—штуцеры для смазки, *з*—канавки для смазки. Во втулках, отлитых за одно целое с рубашками, возникают значительные напряжения от разности $t°$ во втулке и рубашке; так напр. при разности $t°$ в 50° возникает напряжение, в два раза превосходящее напряжение p_z. Болты для соединения цилиндра с картером или стойками изготовляются из мягкой стали и рассчитываются на растяжение при k_z < 400 *кг/см²*. Сечение *xy* (фиг. 9) необходимо проверить на изгиб, на срез и на растяжение. Это сечение изгибается моментом $P \cdot a$, растягивается силой P_n, срезается силой P_s. Пренебрегая последними двумя силами, находим напряжение изгиба из ур-ия $M_b = P \cdot a = \frac{\pi D h^2}{6} \cdot k_b$; $k_b \leqslant 275$ *кг/см²*.



Фиг. 9.

Усилие при затяжке болтов должно превосходить давления горения на 10—20%, чтобы обеспечить плотность прилегания крышки к втулке. Как рубашки, так и втулки формуют и отливают вертикально, снабжая верх отливки значительными (до 500 *мм* по высоте) прибылями, удаляемыми при обработке. Отливка четырехтактных втулок не представляет значительных трудностей, необходимо только правильно составить шихту, добавляя стального лома (лучше буферных пружин) до 25% от веса шихты и правильно выбрать температуру заливки. Значительные трудности представляет формовка и отливка втулок двухтактных двигателей с устройством в простенках между окнами каналов для циркуляции охлаждающей воды. Для возможности легкого удаления грязи из области простенков рекомендуется отливку выполнять с залитыми на толщину 10—15 *мм* (в зависимости от припуска по обработке) окнами, считая от внутренней поверхности втулки. При отливке этих ответственных деталей рекомендуется применять так называемые дождевые литники, а литниковые отверстия закупорить пробкой, открываемой только после накопления жидкого металла в ящике-копильнике, значительного объема. Для получения большей твердости на внутренней поверхности втулки некоторые заводы внутреннюю шишку обкладывают снаружи чугунными кокилями, слегка скрытыми формовочной землей. Америк. з-ды применяют отжиг, чтобы уменьшить последующий рост чугуна. При обработке рубашки главная операция—расточка ее и подрезка торцов—обычно производится на горизонтальнорасточном станке в три стружки. Перед проходом последней стружкой (в 0,1—0,2 *мм* толщиной) рубашку освобождают от зажимов для выявления деформаций, освободившихся вследствие снятия литейной коры внутренних напряжений и сильного зажима, необходимого при снятии тяжелой обдирочной стружки, и затем осторожно снова закрепляют втулку, но уже слабее во избежание деформаций. Большие трудности представляет расточка рубашки двухтактного двигателя, так как средние пояски д. б. расточены точно цилиндрически (допускается овальность не свыше 0,1 *мм*), чтобы обеспечить прочность запрессования втулки в области окон. Подрезать плоскость крепления рубашки к картеру или стойкам необходимо строго перпендикулярно к оси цилиндра в целях уменьшения работы при

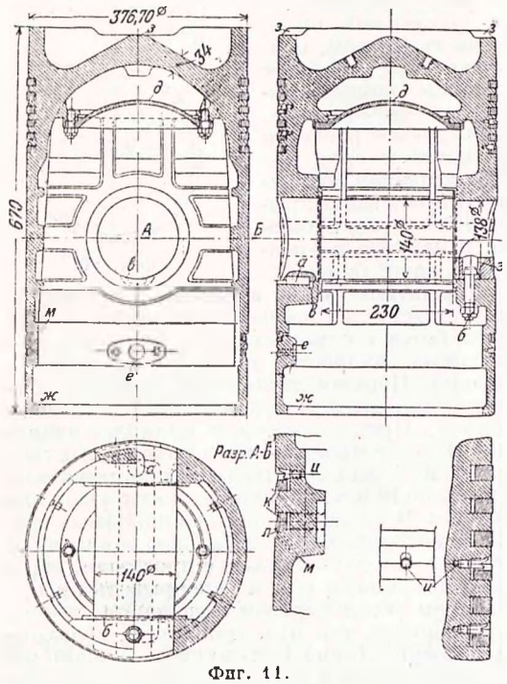
сборке цилиндра. Опорный буртик *а* (фиг. 8) под фланец втулки д. б. тщательно и правильно обработан. Нек-рые з-ды предпочитают расточку и подрезку вести на карусельном станке при наличии длинной и прочной направляющей для шпинделя станка. Нарезку в рубашке для шпилечных крышек предпочтительно делать крупную «Витворта» во избежание выкрашивания чугуна. Главные операции обработки втулки производятся в такой последовательности. 1) Отрезка прибыли. 2) Обдирка снаружи с припуском на диаметре 2—3 *мм*. 3) Обдирка внутри с недомером на диаметре 2—4 *мм*. После этой операции во втулках двухтактных двигателей вырубают—или при толстых заливах высверливают—оставшиеся заливы в окнах. 4) Окончательная расточка внутри в две стружки (овальность и конусность не свыше 0,1 *мм* для крупных, а для средних 0,05 *мм*). 5) Окончательная обточка снаружи; прорезка канавок для медных и резиновых уплотняющих колец. При этой же операции в канавки заколачивают или завальцовывают медные пояски и обтачивают их в размер, примерно равный диаметру соответствующего пояска рубашки, тогда как у чугунных поверхностей оставляют зазор 0,2—0,4 *мм*. Т. о. медные пояски служат только для направления и центрирования втулки, а плотность достигается резиновыми кольцами. Канавки под резиновые кольца д. б. особенно тщательно и точно обработаны по чертежу, учитывая, что резина при сжатии меняет только форму, а не объем. Нижний поясок втулок двигателей простого действия обрабатывается с допуском до—0,2 *мм*, чтобы дать т. о. возможность втулке свободно расширяться. Верхние буртики втулки делаются с зазором до 1 *мм* на диаметре, чтобы не создавать лишних напряжений в рубашке при нагревании и расширении этого конца втулки во время работы. Особенно важно это для втулок двухтактных моторов, в которых $t°$-ные напряжения больше. Засс рекомендует в четырехтактных двигателях делать узкий (высотой ок. 7 *мм*) центрирующий буртик *д* (фиг. 9) на самом верху втулки, пригнанный с плотной посадкой. Уплотнение достигается на буртике *а*. Для надежного уплотнения перед запрессовыванием втулки в рубашку поверхность буртика смазывают замазкой, консистенции теста, из графита, смешанного с вареным растительным маслом. Перед запрессовыванием втулку подвергают гидравлич. пробе, по крайней мере в области окон, при давлении около 6 *atm*. Полость камеры сжатия испытывают на двойное рабочее давление. После постановки втулки в рубашку зарубашечное пространство испытывается гидравликой на давление 6 *atm*. Углубления *е* (фиг. 9) для прохода клапанов следует фрезеровать с плавными переходами во избежание появления трещин вследствие термич. напряжений. В целях достижения взаимозаменяемости, отверстия под масляные штуцеры следует сверлить по кондукторам. Окна во втулках типа MAN (фиг. 10) или Зульцера RK выполняются в отливке сплошь залитыми и выфрезовываются на станках, так как правильная форма, имеющая существенное значение для экономичности двигателя, не м. б. достигнута в отливке. Зигзагообразные стыки составных втулок обрабатываются на станках по специальному копиру, чтобы зазор был правильный и равный по высоте 3—4 *мм*. На фиг. 10 изображена цилиндровая втулка двухтактного двигателя двойного действия: *а* — продувочные окна, *б*—выхлопные окна, *в*—стопор, *г*—смазочные канавки, *д*—закругленные ребра выхлопных окон, *е*—часть втулки, подверженная наиболее высоким напряжениям, *жс*—*жс*—сечение, проверяемое расчетом на изгиб и срез, *з*—уплотняющая поверхность прилегания крышки, *и*—то же рубашки и наконец *к*—центрирующий буртик.



Фиг. 10.

Поршневые кольца и цапфа. Для небольших двигателей поршень и головка его выполняются в одной отливке, для средних и крупных мощностей головки отливают отдельно. Поршни двигателей двойного действия делаются составными из нескольких частей. При мощности в цилиндре свыше 150 HP для четырехтактных тихоходных двигателей, а для быстроходных двухтактных свыше 50 HP поршни охлаждаются водой или маслом. В двигателях бескрейцкопфных поршень воспринимает нормальное давление от шатуна, а в двухтактных с продувкою через окна он должен еще и перекрывать их при верхнем своем мертвом положении, почему эти поршни, так наз. тронковые, делаются длинными. Длина L тронкового поршня выбирается равной $(1{,}75 \div 2{,}25)D$, где D—диаметр цилиндра. Правильность выбора длины проверяется по ф-ле $\frac{N_{max}}{DL} \leqslant k$, где N_{max} — нормальное давление от шатуна — равное $(0{,}08 \div 0{,}1)P_z$, принимая k = 1,25 *кг/см²*. В двухтактных двигателях двойного действия длина поршня рассчитывается т. обр., чтобы он своевременно открывал и закрывал окна обеих полостей. Толщина днища δ выбирается равной $(0{,}09 \div 0{.}11)D$ и проверяется по формуле: $\delta = R_i\sqrt{\frac{p_z}{k_b}}$, где R_i—средний радиус днища. k_b допускают для чугуна < 275 *кг/см²*, а для стального литья < 500 *кг/см²*. В охлаждаемых поршнях δ можно выбирать меньше. Так как $t°$-ные напряжения в днище поршня очень велики и быстро возрастают с увеличением толщины днища, то последние не следует делать слишком толстыми. В неохлаждаемых поршнях днище иногда снабжают ребрами в целях увеличения поверхности, отдающей тепло; при определении толщины днища эти ребра не следует принимать во внимание, т. к., усложняя отливку, они создают значительные литейные напряжения и приносят в смысле прочности ско-

рее вред, чем пользу. Трещины в днище поршня менее опасны, чем в крышке, поэтому целесообразнее днище поршня делать слабее, чем днище крышки. Расстояние от верха днища до первого кольца принимают $l \leqslant (1{,}2 \div 1{,}5)\delta$. Промежутки между кольцами больше высоты кольца, глубина канавки на 0,5—1 *мм* больше ширины кольца. Материалом для поршней обыкновенно служит чугун, близкий по качеству к цилиндровому (см. выше—Втулки), но несколько мягче ($H_{Br} = 170 \div 210$), т. к. заменить поршень при износе дешевле, чем втулку. Наиболее опасным с точки зрения задира поршня является совпадение твердости поршня с твердостью

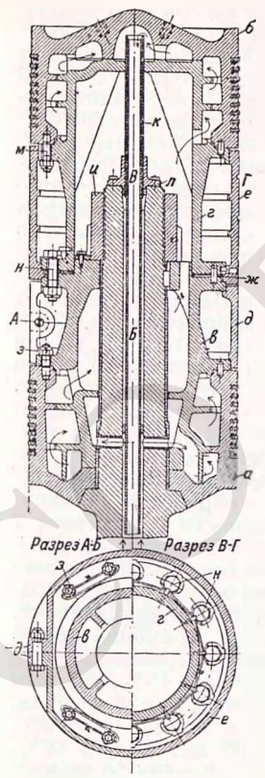


Фиг. 11.

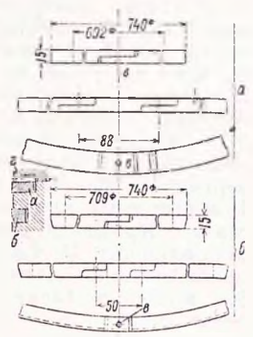
втулки, особенно при первых пусках двигателя. При конструировании поршня следует избегать большого скопления металла при переходе от тонкой стенки поршня к гнездам для цапфы. Для быстроходных двигателей иногда применяют алюминиевые поршни. Поршни и головки отливаются в вертикальном положении, причем д. б. приняты меры к отведению шлаков и грязи во избежание скопления их под шишкой для ступиц цапфы. Для уничтожения литейных напряжений в головках, а в сложных отливках и в поршнях, их подвергают отжигу при $t°$ 450—500°; отжиг лучше производить после предварительной обдирки на стенках. На фиг. 11 изображен неохлаждаемый тронковый поршень: *а* и *б*—шпонка и болт для крепления цапфы, *в*—канавка для схода резца при строжке шпоночной канавки, *г*—канавка для стопора болта *б*, *д*—щиток для защиты от брызг масла, *е*—фланец для крепления индикаторного привода, *жс*—буртик для центрирующего диска при обработке, *з*—выемки для клапанов, *и*—стопоры колец, *к*—маслособирательные кольца, *л*—кольцевые канавки, *м*—отверстия для стока масла. Обработку ведут примерно в следующем порядке. 1) Обточка снаружи с припуском 0,4—0,8 *мм* на шлифовку, прорезание канавок для маслособирательных колец и подрезка торца, причем поршень предварительно зажимают в патрон токарного станка и растачивают буртик *жс* (фиг. 11), позволяющий удобно и надежно крепить поршень при посредстве центрирующего диска на токарном станке при обточке поршня снаружи. 2) Обточка плоскости прилегания к головке. 3) Сверление отверстий для соединения с головкой. 4) Обточка головки на токарном или карусельном станке; диаметр головки делается на 2—4 *мм* меньше диаметра цилиндра во избежание заедания при расширении. Нек-рые з-ды обтачивают или шлифуют головку на конус. При операции обточки поршня прорезаются канавки для колец, причем наружные кромки закругляются, а внутренние углы подрезаются специальным резцом. По ширине канавок допуск на неточность +0,02 *мм*. 5) Подрезка торца для соединения. 6) Разметка, сверление, нарезка и постановка шпилек для соединения с поршнем. 7) Соединение тела поршня с головкой. 8) Расточка и подрезка гнезд под цапфы поршневого пальца на горизонтально-расточных станках с припуском на шлифовку или пришабривание по оправке; расточка д. б. перпендикулярна к оси поршня. 9) Долбление шпоночной канавки для крепления цапфы. 10) Сверление и нарезка отверстий для стопоров цапфы. 11) Пригонка и постановка цапфы. 12) Шлифовка поршня с точностью до ±0,02 *мм*. Практика показала, что во время работы поршень деформируется с увеличением размеров в направлении оси цапфы (иногда от нагревания цапфы), почему рекомендуется шлифовать его слегка овально. Диаметр поршня должен обеспечивать зазор между втулкой и поршнем $0{,}008D$, а для крейцкопфных поршней до $0{,}012D$. Поршень двигателя двойного действия изображен на фиг. 12; он состоит из шести частей: *а* и *б*—днища поршня, *в* и *г*—тело поршня, *д* и *е*—рубашки. Для регулировки обеих камер сжатия применяют прокладки *жс*.

Сборка. К днищу *а* крепят болтами *з* часть *в*; гайки застопоривают проволокой. На шток навинчивают гайку *и*. Установкой трубки *к* обеспечивают подвод и отвод охлаждающей воды; трубка закреплена фланцем *л*. Собранное на шпильках *м* днище *б* с телом *г* присоединяют болтами *н* к остальной части поршня. Одновременно устанавливают неразъемную часть *е* рубашки. При этой операции кладут соответствующее количество прокладок *жс*. Последней ставится разъемная часть *д* рубашки. Полости поршня охлаждаются водой, подводимой по каналам пустотелого штока и по трубке *к*. Днища поршня (*а* и *б*)—стальные отливки или поковки; последние лучше, но дороже. Зазор для ⌀ 680 *мм*—1,2 *мм* на диаметре.

Поршневые кольца отливают из специального чугуна, сост.: 3,2—3,4% C, 1% связанного углерода, 1,8—2% Si, 0,7—0,9% Mn, 0,5—0,7% P, ≤ 0,1% S; $H_{Br} = 180 \div 220$. Поршневые кольца отливаются в форме цилиндрич. барабанов с прилитыми лапами для удобства крепления при обработке. Различные формы стыков и детали поршневых колец изображены на фиг. 13: *а*—поршневое кольцо, *б*—маслособирательное кольцо, *в*—штифт для скрепления при обработке и *г*—стопор. Операции обработки: 1) обдирка внизу и вверху барабана мест для проверки твердости; 2) обточка внутри и снаружи с припуском и отрезка по высоте; 3) фрезерование и изготовление замка; 4) пригонка замка и склепывание штифтом; 5) окончательная обточка внутри и снаружи колец, собранных в патрон и прижатых зажимом; 6) шлифовка торцевых плоскостей; 7) закругление наружных и внутренних кромок; 8) слесарная работа. Кольца по высоте изготовляют с точностью +0, −0,02 *мм*, а по толщине до +0,1 *мм*. При постановке кольца в поршень между кольцом и канавкой д. б. зазор, равный примерно 0,01 высоты кольца. В четырехтактных двигателях не рекомендуется застопоривать кольца штифтами, а при плохом топливе не ставят стопоров и в двухтактных двигателях, тщательно закруглив кромки окон, во избежание поломки замков колец.



Фиг. 12.



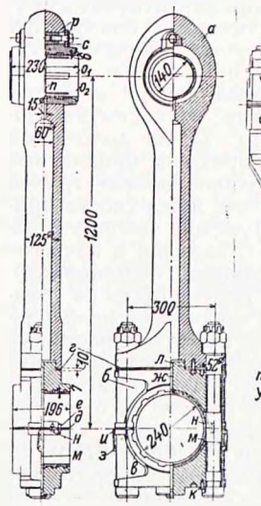
Фиг. 13.

Цапфы поршней изготовляют из сименс-мартеновской стали с содержанием <0,18% C, <0,05% S, <0,05% P и <0,08% S+P. Трущаяся часть цапфы после обточки с припуском на шлифовку 0,8—1,2 *мм* подвергается цементации при $t°$ 950° в течение 20—30 ч. После цементации ее охлаждают и затем вновь нагревают до 750° и закаливают. Обработка проходит примерно в следующем порядке: 1) отрезка заготовки, 2) обточка средины под цементацию, 3) цементация всей цапфы, 4) обдирка концов цапфы, 5) разметка, 6) фрезерование канавки для шпонки, 7) слесарная работа, 8) закалка, 9) обточка, 10) шлифовка, 11) слесарная работа. Твердость цапфы после калки определяется по Шору и должна составлять не менее 70—75.

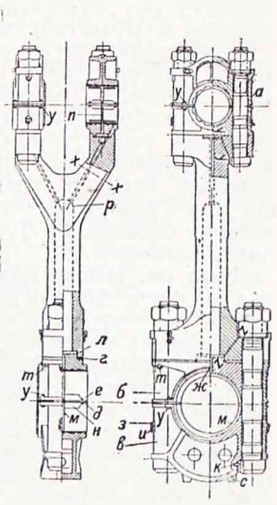
Шатун, головки и болты. Формы шатунов различны для двигателей бескрейцкопфных или крейцкопфных, а в последнем случае—для двигателей простого или двойного действия. В двигателях бескрейцкопфных в тронковом поршне мало места для поршневой головки шатуна, и она обыкновенно выполняется закрытого типа (фиг. 14), где: *а*—верхняя головка, *б* и *в*—половинки нижней головки, *г*—прокладка для регулирования объема сжатия, *д*—прокладка для регулирования зазора подшипника кривошипа, *е*—установочные штифты для *д*, *жс*—отверстие для подвода смазки к верхней головке, *з*—стопор шатунного болта, *и*—стопор винта *з*, *к*—стопор против вращения болта, *л*—центрирующий выступ, *м*—кольцевая канавка, *н*—распределительная канавка для масла, o_1, o_2—вкладыши верхней головки, *п*—кольцевая канавка для смазки, *р*—регулирующий клин и *с*—нажимная пластина. Для крейцкопфного двигателя применяется конструкция шатуна вильчатого типа, подобно изображенной на фиг. 15, где: от *а* до *и* и *п*—как на фиг. 14, *р*—закругление в конце сверления, *с*—нарезанные отверстия для подъемных колец, *т* и *у*—штифты для облегчения монтажа, *х*—*х*, *у*—*у*, *z*—*z*—сечения, требующие проверки напряжений на изгиб и срезывание. Стержень шатуна отковывается из сименс-мартеновской стали и только для малых двигателей иногда штампуется. Характеристику материала см. выше—Коленчатый вал. Стержень шатуна рассчитывают по ф-ле Эйлера:

$$S \cong P = \frac{\pi}{L^2} \cdot \frac{EI}{\sigma},$$

где S—сила, действующая вдоль оси шатуна, L—длина шатуна в *см*, I—минимальный момент инерции поперечного сечения, σ—степень надежности, равная 15—20, E—модуль упругости, равный 2 200 000 *кг/см²*. Кроме



Фиг. 14.



Фиг. 15.

того шатун проверяется на изгиб от сил инерции. В вильчатых шатунах необходимо еще проверять опасное сечение *х*—*х* (фиг. 15). Суммарное напряжение в нем на изгиб и срезывание допускается не свыше 500 *кг/см²*.

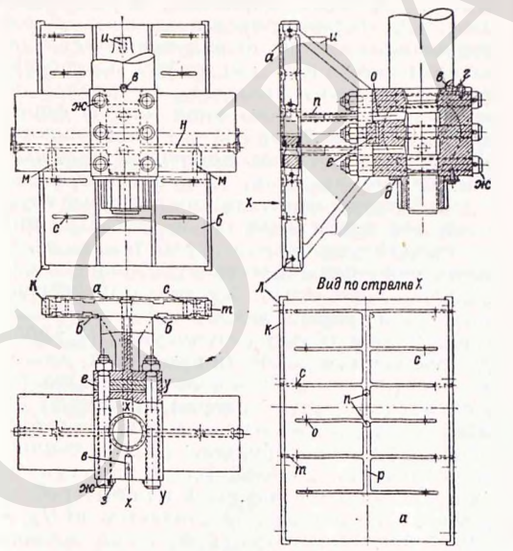
Кроме того следует проверить сечения $y—y$ и $z—z$, но суммарное напряжение не должно превосходить 350 *кг/см²*. Отковку производят под молотом или гидравлич. прессом, а затем поковку подвергают отжигу. Сечение шатуна в большинстве случаев круглое, цилиндрич. или слегка конич. формы. Часто стержень делают сверленым внутри, используя этот канал для подвода смазки к поршневой или крейцкопфной цапфам, а также с целью выяснения доброкачественности материала. Одновременно с обточкой стержня производится и подрезка концов. Концы обрабатываются тщательно, а стержень может быть оставлен со следами резца. Головки шатуна отливаются из стали и только в целях облегчения веса или выигрыша в габарите делаются коваными; последние прочнее, но дороже. Стальные отливки подвергаются отжигу для уничтожения литейных напряжений. Кривошипная головка всегда делается разъемной и обычно отъемной от стержня шатуна; только в газовых двигателях ее отковывают за одно целое с шатуном и уже в процессе обработки они разрезаются. Между фланцем стержня и приставной головкой ставятся прокладки, в целях возможности регулировки при сборке двигателя объема сжатия. Между половинками головки тоже ставят набор латунных прокладок для регулирования зазора по мере изнашивания баббитовой заливки. Примерный набор прокладок для головки (фиг. 15):

1 прокладка	толщиной	. . . . .	0,1 *мм*	0,1 *мм*
2 прокладки	»	. . . . .	0,2 »	0,4 »
1 прокладка	»	. . . . .	0,5 »	0,5 »
1 »	»	. . . . .	1,0 »	1,0 »
1 »	»	. . . . .	4 »	4,0 »
		Итого		6 *мм*

Два комплекта этих прокладок устанавливают на штифты e, ввинченные в нижнюю часть головки, причем толстые прокладки ставят сверху. Отверстия для штифтов в прокладках должны сверлиться по кондуктору в целях взаимозаменяемости. Обработка головки шатуна ведется примерно в следующем порядке. 1) Расточка внутри и выточка канавок для баббита; одновременно обтачивают также торцы. 2) На долбежном или фрезерном станке проходят продольные канавки; канавки обрабатываются грубой стружкой для увеличения поверхности прилегания баббита. 3) Лужение головки и заливка баббитом (способ заливки и качество баббита см. выше—Рамовые подшипники). 4) Сверление дыр для болтов (одна из трудных и ответственных операций); необходимо сохранить взаимную параллельность дыр при параллельности их к оси шатуна, кроме того расстояние между отверстиями как в головке, так и фланце шатуна д. б. строго выдержаны (отклонение $\pm$ 0,3 *мм*). Сверление дыр производится по кондуктору на гориз.-расточных станках. Предварительно просверливают дыры с недомером 1—2 *мм* на диаметре, затем проходят резцом в оправке, опертой обоими концами, с недомером 0,1—0,2 *мм* под развертку; последней операцией является развертывание. Отверстия обрабатываются с точностью до —0, +0,005 *мм*. Верхние головки шатунов крейцкопфных двигателей изготовляются подобно нижним. Вкладыши закрытых головок часто делают из фосфористой бронзы: в малых мощностях цельными, а в средних разрезными с зажимным клином (фиг. 14). Зазоры в бронзовых вкладышах делаются на 25% бо́льшими, чем в залитых баббитом; также делают бо́льшим и осевой зазор, учитывая бо́льший коэф. расширения бронзы. В настоящее время з-ды заливают бронзовые вкладыши баббитом, создавая более благоприятные условия для работы поршневой цапфы. При установлении размеров вкладышей следует проверить на удельное давление в смазочном слое, допуская в кривошипных головках до 90—110 *кг/см²*, а в крейцкопфных или поршневых и выше—до 125—150 *кг/см²* из-за недостатка места. Во вкладышах устраивают распределительные канавки (так наз. холодильники) u для масла (фиг. 14 и 15), но эти углубления не должны доходить до краев вкладыша во избежание утечки масла через зазоры. Стяжные болты в составных головках должны сидеть возможно ближе к цапфам в целях уменьшения изгибающего момента. С этой целью иногда ставят по 4 болта, хотя это усложняет обработку головки. Желательно по возможности обходиться 2 болтами. Материал для болтов четырехтактных двигателей применяют высокого качества, так как напряжение, к-рому они подвергаются, меняет величину и направление. Нек-рые з-ды применяют хромоникелевую сталь с K_z=70÷80 *кг/мм²*. Предел пропорциональности 50 *кг/мм²*, $\delta > 15\%$, ударная проба 10 *кгм/см²* для образца 30 × 30 × 160 *мм*. Но можно применять и сименс-мартеновскую сталь с K_z=50÷60 *кг/мм²*, $\delta > 20\%$, а для двухтактных — с K_z=40÷50 *кг/мм²*, $\delta > 22\%$. Напряжение на растяжение не должно превосходить 350—400 *кг/см²*. Стяжные болты—одна из ответственнейших деталей, и разрыв их влечет серьезные последствия для двигателя, почему рекомендуется заменять их после 10 000 ч. работы двигателя. Выполнение их д. б. очень тщательным. Высаживание головок не рекомендуется, но иногда в целях экономии материала их куют, а чаще изготовляют болты целиком из катаного материала. Резьба рекомендуется мелкая или Акме (трапецоидальная). Переход к стержню плавный; необходимо предусмотреть закругление большим радиусом при переходе к головке. Многие заводы снабжают болты у головки и в соединительных стыках утолщениями, плотно входящими в отверстия, а остальной стержень ослабляют до внутреннего диаметра резьбы. Гайки цементируют и калят грани под ключ. Гайки законтривают контргайками, закрепляют стопорными болтиками Пена; лучше всего ставить корончатые гайки со шплинтами.

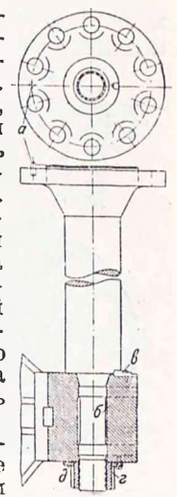
Крейцкопф и шток. Назначение крейцкопфа (крестовины)—соединить шток поршня с шатуном. Крейцкопфы выполняются с одним (фиг. 16) или двумя башмаками; в первом случае широкая плоскость воспринимает давление прямого (рабочего), а две узкие стороны—обратного хода шатуна. Такая двусторонняя заливка требуется для судовых двигателей. В газовых двигателях чаще башмаки обтачиваются по кругу, тогда как в дизелях выполняются плоскими. На фиг. 16

изображен крейцкопф с одной направляющей четырехтактного двигателя простого действия: a—поверхность скольжения переднего хода, $б$—то же заднего хода, $в$, $г$—стопор против поворачивания штока, $д$—стопор гайки штока, $е$—шпонка, $эс$—соединительные болты. $з$—стопоры для болтов $эс$, $и$—отверстия для рымов, $к$—боковые бронзовые полосы направляющих, $л$—винты для укрепления $к$, $м$—радиальные отверстия для



Фиг. 16.

сбора смазки, $н$, $о$ и $п$—каналы для подведения смазки к направляющим, $р$—вертикальная распределительная канавка, $с$—отверстия для подвода смазки к $б$, $т$—отверстия для подвода смазки к $к$, $х$—$х$, $у$—$у$—сечения, проверяемые при расчете на изгиб. Башмак отливается из стали (качество материала см. выше—Рамы) и заливается баббитом, а крестовина с цапфами отковывается из стали и соединяется с башмаком болтами. Для крестовины сталь должна иметь: K_z=70—80 *кг/мм²*, $\delta > 14\%$. Сталь д. б. твердая—H_B 200, чтобы можно было допускать удельные давления 100—120 *кг/см²* и выше. В центре крестовины просверливают отверстие для пропуска конца штока, закрепляемого на резьбе гайкой. Большим усилиям подвергаются крейцкопфы двигателей двойного действия, т. к. воспринимают не только силы инерции, но и давление горения. Расчет крестовины довольно прост. Проверяются на изгиб сечения $х—х$, $у—у$ (фиг. 16). В сечениях $х—х$ допускается напряжение на изгиб до 600 *кг/см²*, в сечении $у—у$ до 470 *кг/см²*, причем принимается, что усилие приложено в средине крейцкопфных цапф; оно вообще распределено неравномерно по всей длине. Цапфы крестовин отковывают за одно целое с фланцем для присоединения к башмаку; они представляют значительные трудности для обработки. Особенно тщательна д. б. пригонка хвоста штока в отверстие крестовины. Ось этого отверстия д. б. перпендикулярна к оси цапф, т. к. при малейшем отклонении, при значительной длине поршня, вверху его получится большой перекос. Цапфы д. б. тщательно отшлифованы. Т. к. здесь допускается высокое давление смазки, то обычно смазка производится особым насосиком с давлением до 20 *атм*. Башмак крейцкопфа представляет собой стальную отливку; для устранения литейных напряжений его подвергают тщательному отжигу. После предварительной обработки трущиеся поверхности должны быть залиты баббитом, причем их предварительно вылуживают. Заливка производится в чугунной разъемной форме; т. к. заливается большая площадь, то необходимо по окончании заливки проверить плотность приставания баббита простукиванием молотком. Звук д. б. ясный,—глухой звук указывает на плохую заливку, и крейцкопф необходимо снова залить баббитом. После обработки рабочих поверхностей на них выфрезеровывают канавки для смазки, тщательно округляя их кромки. Резьба на конце штока должна быть мелкая или пилообразная.

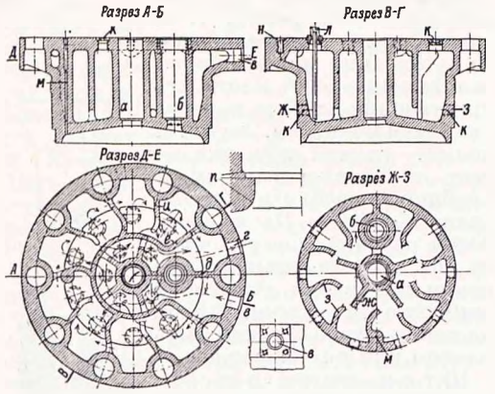


Фиг. 17.

Шток двигателя простого действия работает в более благоприятных условиях, чем двигателя двойного действия, так как он не проходит через камеру горения и сальник. Материал—сименс-мартеновская сталь с K_z = 50 ÷ 60 *кг/мм²*, $\delta > 20\%$. Шток работает преимущественно на сжатие; при расчете допускается напряжение 600 — 700 *кг/см²*, а при расчете по формуле Тетмайера запас прочности принимается 6—7-кратным. Шток работает на растяжение только при всасывании, причем возникающие напряжения весьма малы. Один конец штока снабжают фланцем для соединения с поршнем посредством шпилек, а другой—хвостом, снабженным 2 буртиками и конусом, для соединения с крестовиной. Сделанные между пригнанными поверхностями заточки обеспечивают более легкую пригонку. На фиг. 17 изображен шток поршня: $а$—стопор против вращения штока, $б$—кольцевые канавки для подвода масла к башмаку крейцкопфа, $в$—стопор, $г$—гайка штока, $д$—замок гайки.

Цилиндровые крышки. Крышка четырехтактных двигателей значительно сложнее, чем двухтактных, так как в ней приходится устраивать гнезда для 5 клапанов (топливного, впускного, выпускного, пускового и предохранительного), тогда как в двухтактном впуск и выпуск газов в большинстве случаев производится через окна в цилиндре; термич. напряжения в последних однако выше. В двигателях двойного действия внутренняя крышка еще усложняется устройством сальника для штока. На фиг. 18 изображена верхняя крышка цилиндра двухтактного двигателя: $а$—патрубок топливного клапана, $б$—патрубок пускового клапана, $в$—впуск и $г$—выпуск охлаждающей воды, $д$, $е$. $эс$, $з$, $и$—ребра жесткости и ребра для направления воды, $к$—пробки для закрытия

нишечных отверстий, *л*—водоспускная трубка, *м*—отверстие для индикатора, *н*—нарезанные отверстия для ушков, *п*—закругления входящих углов обработанных поверхностей. Крышка является одной из ответственнейших деталей двигателя. Все крышки охлаждаются водой; особенно интенсивного охлаждения требует днище, обращенное к камере сгорания; для усиления циркуляции иногда устраивают особую перегородку вблизи основного днища. Крышки должны снабжаться специальными люками, об-

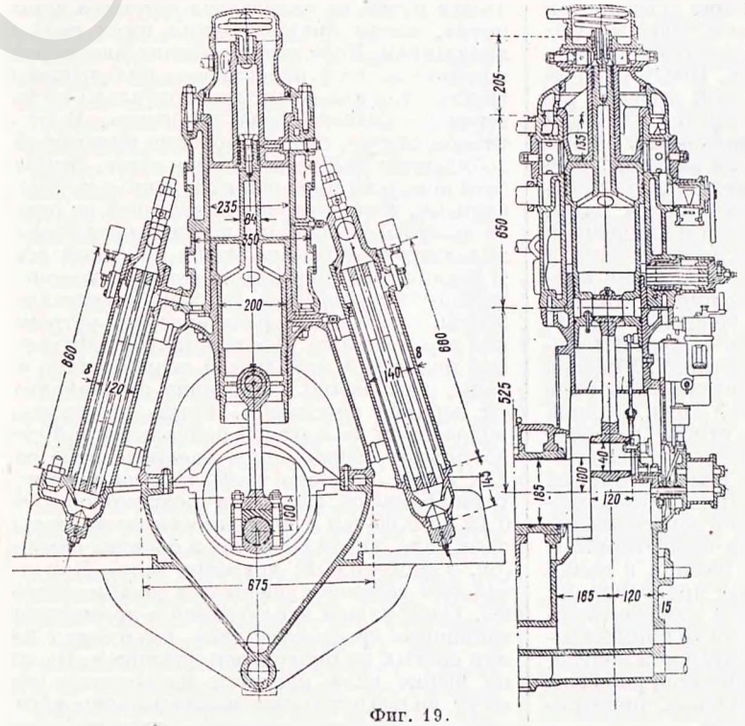


Фиг. 18.

легчающими очистку крышки от накипи и грязи. В стальных крышках верхнее днище иногда делают в виде съемного диска. Несмотря на ряд мероприятий повреждения в крышках происходят все же чаще других. Это наименее долговечная деталь в двигателе. Основным материалом для крышек служит чугун, по качеству близкий к чугуну для цилиндровых втулок. Для уничтожения литейных напряжений крышки подвергаются отжигу при $t°$ 450—500°. Аналитич. расчету крышка почти не поддается. Эта деталь представляет значительные трудности для конструктора. В нижнем днище крышки возникают напряжения сжатия, в верхнем днище—растяжения от давления при горении и от затяжки болтов. Высота крышки четырехтактных двигателей определяется размерами каналов для подвода воздуха и отвода продуктов горения. При выборе размеров приходится преимущественно руководствоваться зарекомендовавшими себя конструкциями и опытом конструктора. При отливке крышки приходится соблюдать известные предосторожности. Отливают их вниз днищем, примыкающим к камере сгорания, а сверху устраивают значительную прибыль с соответствующим количеством выпоров и литников, в зависимости от конструкции и размеров. При обработке крышки особенное внимание нужно обращать на округление всех кромок в области камеры сгорания и у отверстий для клапанов. По изготовлении крышка подвергается гидравлич. испытанию в полости для охлаждающей жидкости на давление в 6 *atm*. Реже подвергают испытанию нижнюю полость крышки на двойное рабочее давление. Т. к. в крышках устраиваются каналы, то приходится ограничиваться небольшим числом болтов—от 8 до 12, и только в очень крупных двигателях число их достигает 16. Напряжение в болтах не должно превосходить 400 *кг/см*²; материал болтов—мягкая сталь.

Кулачные шайбы. Открытие и закрытие клапанов обычно производится кулачками, лишь у некоторых типов газовых двигателей эксцентриками. Иначе говоря, кулачные шайбы предназначены для преобразования непрерывного вращения распределительного вала в периодич. движение, передаваемое клапанам. Форма кривой подъема и опускания клапана зависит от получающихся соотношений скоростей. При графич. построении кулачка можно исходить из выбранной заранее диаграммы ускорений или из формы кулачка. Первый способ дает возможность выбора наиболее благоприятного соотношения сил, но очертание кулачка получается более сложным и представляет нек-рые трудности для правильной обработки. При втором способе упрощается обработка, но получается менее благоприятное соотношение сил (большие ускорения). Кулачные шайбы небольших и средних двигателей изготовляют из цилиндрового твердого чугуна (H_{Br}>200); для выпускных шайб применяется иногда отбеленный чугун. Для больших мощностей применяется сталь, которая принимает закалку до H_{Br} > 350. Кулачки газовых двигателей делаются разъемными. Шайбы топливных клапанов у дизелей делают из чугуна со стальной вставкой, несущей на себе гребень кулачка. Эта вставка закаливается до H_{Br} = = 350÷400. Конструкция кулачка должна давать возможность просто и удобно перемещать эту вставку, что необходимо при регулировке двигателя. Выбранные размеры шайбы проверяются на смятие; допускаемое напряжение $\delta = 4\,000$ *кг/см*² для дизелей и 3 500 *кг/см*² для больших газовых двигателей. Ширину кулачка можно рассчитать по формуле $b = \frac{P}{kD}$, где D—диаметр ролика, P—давление на ролик, k=10 для впускного клапана, $k \leq 40$ для выпускного клапана. Обрабатывают шайбы на фрезерных или шлифовальных станках, применяя соответствующие копиры.

Компрессор. В компрессоре атмосферный воздух сжимается до 50—80 *atm* и используется гл. обр. для распыливания топлива в компрессорных дизелях. Кроме того сжатый воздух необходим для пуска двигателей, а в судовых установках и для реверсирования. Для двигателей малой и средней мощности компрессоры выполняются двухступенчатыми, для крупных тихоходных—трехступенчатыми, а для быстроходных (типа подводных лодок) даже четырехступенчатыми. Основные размеры компрессора можно определить, исходя из потребного количества сжатого воздуха; последнее однако зависит не только от расхода форсуночного воздуха, но и от количества сжатого воздуха, накапливаемого для пуска двигателя в ход, а в судовых установках и для реверса. Чем чаще остановки или перемены хода двигателя, например в судовых установках, тем больше д. б. размеры компрессора. Расход форсуночного воздуха при полной нагрузке составляет от 1,9 до 2,2 *кг*, или от 1,6 до 1,9 *м*³ на 1 *кг* топлива. Часовой расход воздуха на 1 ℍ составляет от 0,3 до 0,4 *м*³ при 0° и 760 *мм* ртутного столба. Для стационарных четырехтактных дизелей объем принимается равным 8—10 *л*/м. на 1 ℍ_{eff} двигателя. Судовые двигатели требуют больших компрессоров, чем стационарные. Для двухтактных двигателей приведенные цифры удваиваются. Отношение длины хода к диаметру цилиндра низкого давления компрессора выбирается в пределах от 0,9 до 1,3; скорость поршня от 0,75 до 1,2 *м/сек* в тихоходных и от 2 до 3 *м/сек* в быстроходных двигателях. При выборе отношения объемов нужно учитывать, что при нормальной работе двигателя компрессор используется только частично. По конструктивным соображениям иногда трехступенчатые компрессоры делят на два: два цилиндра низкого давления комбинируются—один с цилиндром высокого, другой с цилиндром среднего давления, и приводятся от двух кривошипов. Чаще всего трехступенчатые компрессоры выполняются с дифференциальным поршнем (фиг. 19). Литье цилиндра и поршня д. б. плотным, что иногда трудно достижимо при значительной разнице в диаметрах и толщине стенок в разных ступенях, почему некоторые з-ды как цилиндры, так и поршни делают составными. Цилиндры и поршни отливают преимущественно в вертикальном положении. Стенки



Фиг. 19.

цилиндра д. б. снабжены достаточным количеством люков для очистки зарубашечного пространства от пишек после отливки и от накипи и грязи во время эксплоатации. Толщина стенки выбирается для ступени низкого давления $\cong \frac{1}{12} D$ (диам. цилиндра), а для высокого давления $\cong \frac{1}{} D$; стенки часто делают с запасом, учитывая возможность расточки и вставки новых втулок после износа. Преимущественно применяют вертикальную конструкцию компрессоров, более соответствующую типам самих двигателей и более благоприятную в смысле условий работы клапанов. Штуцера для смазки обычно ставят только в ступени низкого давления. Методы и последовательность операций при механич. обработке цилиндров, поршней, колец и других частей компрессоров в основном аналогичны соответствующим деталям главного двигателя. Необходимо учитывать трудности расточки в одну операцию цилиндров, резко различных по диаметру, при условии соблюдения строгой концентричности и при отсутствии конусности и овальности, особенно в цилиндре высокого давления, т. к. приходится применять длинную борштангу малого диаметра. Зазор между поршнем и цилиндром в ступени высокого давления выполняется в 0,05—0,15 *мм*, а для ступени низкого давления он примерно в 3 раза больше. При малых диаметрах цилиндров высокого давления поршневые кольца делаются преимущественно стальными; иногда же верхнюю часть поршня делают составной из нескольких частей, в промежутках которых располагают кольца; весь этот комплект скрепляется с телом поршня болтом и клином. По окончании обработки зарубашечное пространство испытывается гидравлическим давлением на 6 *atm*, а внутренние полости цилиндра соответственно на 120, 40 и 10 *atm*. Клапаны применяются автоматические, преимущественно пластинчатые, из никелевой стали. Всасывающие и нагнетательные клапаны делают обычно конструктивно одинаковыми, но ставят в обратных положениях, скорость же воздуха регулируют изменением количества клапанов. Подъем клапанов делается в 2—4 *мм*. Средние скорости воздуха, отнесенные к средней скорости поршня, для разных ступеней различны. Скорость всасывания и нагнетания в ступени низкого давления 70—100 *м/сек*, в ступени среднего давления 50—75 *м/сек* и высокого давления 30—50 *м/сек*. Охлаждение воздуха производится змеевиком или трубчатыми холодильниками с трубами красной меди.

Сборка двигателя (главные части). Сборка двигателя производится на специально приспособленном для этого станде—б. или м. солидного устройства в зависимости от веса и мощности двигателя. Главные части станда—две горизонтальные параллели (чугунные литые), служащие для непосредственного закрепления на них фундаментной рамы дви-

гателя. Установка и закрепление фундаментной рамы на параллелях является весьма ответственной операцией, так как от правильности и надежности выполнения ее зависит правильность сборки всех прочих частей, а следовательно и работы двигателя при испытании. Фундаментная рама д. б. установлена т. о., чтобы ось коленчатого вала была строго горизонтальна, а опорные поверхности станин, стоек или картера (в зависимости от конструкции) были тоже горизонтальны. Выверка этих положений рамы производится при помощи: а) жесткой поверочной линейки, размеры которой берутся в зависимости от величины рамы, б) ватерпаса с плоской опорной поверхностью длиной 300 *мм* и ценой деления, соответствующей уклону 0,1—0,2 *мм* на 1 *м* длины. Поверочную линейку вместе с ватерпасом последовательно накладывают в разных положениях на выстроганные поверхности рамы и т. о. определяют правильность положения рамы. Между рамой мотора и параллелями станда по бокам крепежных болтов прокладывают специальные прокладки, к-рыми пользуются при установке рамы в горизонтальном положении, путем увеличения или уменьшения их толщины или количества. После установки рамы ее закрепляют на параллелях болтами и снова выверяют линейкой и ватерпасом, так как перекашивание рамы при затяжке болтов неизбежно. Это перекашивание устраняется опять-таки за счет прокладок, причем обращается внимание на последовательную равномерность затяжки болтов. После окончательной и удовлетворительной выверки закрепленной рамы (с точностью до $^1/_4$ деления ватерпаса) ее положение фиксируют в большинстве случаев при помощи реперов—специальных приливов, находящихся на уровне верхней строганной поверхности рамы. Эти приливы пришабриваются по линейке и ватерпасу как вдоль, так и поперек рамы и служат для последующего контроля правильности положения рамы при монтаже и ремонте. Во избежание повреждений шаберных плоскостей реперов, их закрывают железными пластинками на болтиках. Укладка рамы горизонтального двигателя в основном идет совершенно одинаково. Здесь главной заботой будет установить строго горизонтально оси рабочего цилиндра и коленчатого вала (осуществляемые в виде натянутых струн) так, чтобы: 1) ось цилиндра была перпендикулярна оси вала и с ней пересекалась, 2) ось цилиндра и ось вала были горизонтальны, оси же цилиндров лежали в одной плоскости, 3) ось цилиндра проходила на равном расстоянии от кромок соответствующих вкладышей. При этом весьма внимательно следят за равномерной затяжкой болтов, во избежание сильных деформаций рабочего цилиндра. Отсутствие последних проверяют, как обычно, штихмасами.

Прежде чем приступить к укладке коленчатого вала, в установленной раме снимают крышки рамовых подшипников, вынимают вкладыши и проверяют по краске плотность их прилегания к постелям фундаментной рамы и крышек. Эта операция необходима, т. к. при затяжке рамы могли появиться деформации. Коленчатый вал до укладки в фундаментную раму проходит ряд слесарно-сборочных операций; сюда относятся: сборка частей, в случае если вал составной, насадка шестерен, колец центробежной смазки, противовесов. Однако при сборке для облегчения обращения с валом и во избежание поломок все эти детали временно удаляют. Как вал, так и подшипники рамы тщательно очищают от грязи и стружек, смазочные отверстия вала закупоривают тавотом или тряпками во избежание попадания в каналы стружек и грязи. Вал требует бережного застропливания и обращения, т. к. несмотря на кажущуюся прочность он легко деформируется. Коленчатый вал должен равномерно и плотно прилегать на всех нижних половниках вкладышей рамовых подшипников и быть горизонтален с точностью до $^1/_4$ деления ватерпаса. Первое проверяется по краске, второе при помощи ватерпаса с призматич. опорной поверхностью длиной 150—300 *мм* и ценой деления, соответствующей уклону в 0,1—0,2 *мм* на 1 *м* длины. Проверку по краске производят следующим образом: нижние половинки вкладышей подшипников тщательно вычищают и протирают, коренные шейки вала равномерно окрашивают берлинской лазурью и вал осторожно опускают на подшипники; затем вал поворачивают вручную или краном на один оборот и так же осторожно с подшипников снимают. Таким путем на вкладышах остаются синие пятна, следы прикосновения шеек вала к вкладышам. Если пятна располагаются равномерно по всей поверхности вкладышей и вместе с тем вал лежит горизонтально по ватерпасу—укладка вала закончена. В противном случае, путем шабровки вкладышей, добиваются требуемых результатов. Эта работа довольно кропотлива и отнимает много времени, если расточка вкладышей на станке произведена неточно и центры отдельных вкладышей не расположены на одной оси. В этом случае приходится спабривать с поверхности вкладышей очень много металла, иногда только с одной стороны, для устранения перекоса и пр. После пришабровки нижних половинок вкладышей подшипников по валу, совершенно аналогично пришабривают верхние половинки. Когда на верхних половинках вкладышей подшипников будет достигнуто равномерное распределение синих пятен, подобно тому как на нижних, устанавливают зазоры в подшипниках от 0,15 до 0,60 *мм* в зависимости от диаметра шеек вала, числа оборотов и системы смазки (ок. 0,0001—0,0012 диаметра вала). Для установки зазоров существуют разные способы. Один из них заключается в применении свинцовых проволочек диам. ок. 0,5 до 1 *мм* или свитых из проволочек жгутиков. Вдоль по шейке вала кладется проволочка или жгут, на нее осторожно накладывается верхняя половинка вкладыша, затем крышка подшипника туго затягивается гайками до плотного соприкосновения стыков половинок вкладышей и прокладок. После освобождения гаек, обжатая свинцовая проволочка или жгут указывают действительную величину имеющегося зазора. Уменьшение или увеличение зазора достигается путем соответствующего подбора прокладок (бронзовых, латунных, бумажных). Помимо зазоров по диаметру вала устанавливают зазоры еще по оси вала. Подшипник, ближайший к шестерне передачи к распределительному валу, д. б. плотно пригнан по длине шейки вала, т. е. быть упорным подшипником, предохраняющим вал от продольных смещений. Все прочие подшипники должны иметь зазоры вдоль оси, постепенно возрастающие по мере удаления от упорного подшипника (в крупных валах зазоры достигают 10 *мм*). Эти зазоры обеспечивают свободное расширение вала от нагревания в работе и располагаются при сборке на стороне, обращенной к упорному подшипнику.

После укладки коленчатого вала приступают к установке стоек (здесь речь идет об А-образной станине; работы с колонными стойками и картером аналогичны). В отношении стойки необходимо соблюдение вертикальности оси расточки цилиндра и прохождения этой оси через ось коленчатого вала точно посредине между щеками колена. Проверка этого положения производится при помощи струны ~ 0,5 *мм* диаметром, нагруженной гирей в 5—10 *кг*. Вверху струна прикреплена к перекладине, внизу груз опущен в ведро с маслом, глушащим качания струны с грузом; лучше применять более легкие грузы, снабженные крыльями. При помощи штихмасов устанавливают центральное расположение струны по отношению к верху расточки цилиндра; затем штихмасом проверяется отстояние струны в нижней части цилиндра. Проверка ведется 4 измерениями вдоль оси вала и перпендикулярно подкладке. Одновременно проверяют прохождение струны через ось коленчатого вала посредине между коленами при помощи штихмасов и линейки. Когда стойка займет правильное положение, производят щупами замеры зазоров между опорными поверхностями фундаментной рамы и лапами стойки. Эти зазоры указывают, на какую величину и в каком месте необходимо спилить опорную поверхность фундаментной рамы или стойки для того, чтобы стойка заняла правильное положение без подкладок. В процессе опиловки несколько раз (в зависимости от опыта сборщика) выверяют по струне, как указано выше, правильное положение стойки. Когда опиловка окончательно приведет стойку в правильное положение (нек-рое отклонение от оси в плоскости перпендикулярной оси вала допустимо), ее фиксируют при помощи конич. установочных штифтов, загоняемых в специальные пройденные развертками отверстия в лапах стойки и теле рамы. После пригонки стойки ее удаляют для облегчения пригонки шатуна к коленчатому валу. В большинстве конструкций нижняя головка шатуна выполняется съемной. Эта съемная головка пришабривается при вынутых прокладках к кривошипной шейке коленчатого вала совершенно аналогично коренным подшипникам. При пригонке следят лишь за тем, чтобы плоскость прилегания головки к стержню шатуна была параллельна оси вала при четырех положениях кривошипа (в верхнем и нижнем мертвых положениях и в 2 перпендикулярных к ним). При шабровке вкладыша нижней головки шатуна ориентируются на указанную поверхность прилегания стержня шатуна. Зазор в подшипнике регулируется при помощи набора прокладок. Зазор дается обычно в пределах от 0,1 до 0,40 *мм* в зависимости от диаметра коренных шеек вала. Этот зазор несколько меньше зазора в коренных подшипниках. Кроме диаметрального дают еще осевой зазор, необходимый для разбега шатуна и компенсации удлинений коренного вала от нагрева. Величина зазоров берется в соответствии с величиной осевых зазоров в коренных подшипниках. Применяемое нек-рыми з-дами перенесение осевых зазоров в верхние вкладыши нецелесообразно. После пригонки нижней головки шатуна к ней прибалчивают стержень шатуна, на котором предварительно наносят центровую риску. По этой риске и отвесу выверяют вертикальность оси стержня шатуна. Отклонения от вертикали устраняются припиловкой плоскости стыка стержня и нижней головки шатуна. Верхняя головка, обычно составляющая одно целое со стержнем шатуна, пригоняется к поршню с цапфой отдельно. Эта операция ведется следующим образом. Цапфа пригоняется первоначально к своим гнездам в поршне; здесь требуется тугая посадка и хорошее прилегание во избежание недопустимого хлябания цапфы во время работы. Затем поршень собирают вместе с шатуном и цапфой; при этом поршень ставят вертикально в перевернутом положении. Шатун удерживается также в вертикальном положении деревянными распорками. В собранном виде ось поршня должна совпадать с плоскостью качания шатуна. Проверка ведется по линейке со специальными лапками для удержания ее на боковой поверхности поршня, контролируя при посредстве штихмасов симметричность расположения шатуна по отношению к поршню. Отклонения шатуна выправляют шабровкой вкладыша верхней головки. Цапфе верхней головки шатуна дают в подшипнике диаметральный зазор обыкновенно 0,08—0,25 *мм* в зависимости от диаметра цапфы и способа смазки. Помимо этого дают еще торцевые зазоры по бокам подшипника в пределах 0,3—0,5 *мм* на сторону.

После того как закончена пригонка шатуна к кривошипной шейке коленчатого вала и к цапфе поршня, стойку вновь ставят на место по контрольным конич. штифтам и окончательно закрепляют ее на шпильках. Затем поршень, собранный вместе с шатуном, спускают сквозь цилиндр сверху на место. При этом проверяют правильность взаимного расположения поршня и цилиндра, обусловливаемого точностью сборки шатуна вместе с коленчатым валом и поршнем; проверка производится в 4-х положениях кривошипа, причем пользуются лампой для просвечивания зазора между поршнем и цилиндром. Таким путем исследуют зазор по всей окружности. Кроме того проверяют «качку» поршня в тех же четырех положениях кривошипа. Эти операции производятся при отсутствии поршневых колец. Поршневые кольца еще до надевания их на поршень поочередно заводятся в цилиндр, где щупом проверяется плотность их прилегания к стенкам последнего и величина зазора на стыке,

который берут равным 2—3,5 *мм* в зависимости от диаметра цилиндра (300—700 *мм*). Надевают кольца на предварительно вычищенный и промытый поршень при помощи 3—4 тонких железных пластинок последовательно, начиная с нижнего кольца. Между кольцом и его канавкой должен быть зазор 0,1—0,15 *мм*, считая по высоте; необходимо убедиться в достаточной свободе движения колец в их гнездах, т. к. иначе возможно заедание в работе колец и задирание цилиндра.

Крышка рабочего цилиндра в четырехтактных двигателях несет в себе топливный, впускной, выпускной, пусковой и предохранительный клапаны. Каждый из клапанов образует отдельную сложную деталь вместе с заключающим его корпусом (клеткой клапана). При сборке обращают внимание на исправность движения клапана, целость пружины, чистоту и хорошую притирку клапана. При постановке клапанов в гнезда рабочей крышки и при закреплении их заботятся о равномерной затяжке гаек во избежание перекоса корпуса и седла клапана или защемления шпинделя клапана. Особое внимание уделяют топливному клапану, набивке его сальника, притирке седла, смазке и затяжке пружины. После сборки всех клапанов на крышке рабочего цилиндра последняя ставится на свое место. Уплотнение крышки лучше всего достигается проволокой из красной меди, закладываемой в выточку на цилиндре в виде плоской спирали, скрепленной припоем в нескольких местах; применяют также кольца из листов красной меди или из клингерита. Положение крышки на цилиндре выверяют по имеющимся на ней рискам. Если крышка несет на себе рычажный валик, заботятся о параллельности его распределительному валу, что необходимо для правильного соприкосновения роликов рычагов и кулачных шайб. Затяжку крышечных гаек производят осторожно, равномерно и постепенно по всей окружности во избежание перекоса и неравномерного натяжения шпилек. Затяжку гаек лучше всего производить при помощи короткого ключа и ручного молотка или небольшой кувалды. Применение длинного рычага недопустимо. Постановкой крышки заканчивается сборка крупных частей двигателя. Полная сборка двигателя заканчивается следующими работами: 1) установкой компрессора, продувочного насоса, если таковые имеются; 2) установкой площадки, лестницы и прочих частей гарнитуры двигателя; 3) проводкой труб охлаждающей воды, смазки, топлива, воздуха; 4) установкой передаточного вала; 5) установкой распределительного вала с кронштейнами; 6) установкой регулятора; 7) установкой топливного насоса и соединением его с регулятором; 8) установкой моллерупов, масляных насосов, капельников и пр.; 9) надеванием на вал двигателя маховика; 10) установкой механизма управления двигателем; 11) присоединением к двигателю динамо или тормоза. Методы и способы, указанные здесь, в основном применимы и к двигателям других конструкций и типов, с учетом их особенностей. Бо́льшую сложность при сборке представляют двигатели крейцкопфные, реверсивные и двигатели двойного действия.

Регулировка двигателя. Закончив сборку, проверяют функционирование отдельных частей, проворачивая двигатель вхолостую. Это дает возможность обнаружить и своевременно устранить неизбежные при сборке упущения, могущие привести к аварии. Затем переходят к регулировке двигателя, установке необходимых зазоров, углов и положений распределительных органов. Кулачки клапанов, временно закрепленные на распределительном валу, окончательно заклинивают после регулировки двигателя по снятым при работе индикаторным диаграммам. Одновременно регулируют зазоры между роликами рычагов и кулачными шайбами. Это достигается подвинчиванием или отпусканием болтов на концах рычагов, упирающихся в шпиндели клапанов. Величины зазоров берут следующие (в *мм*):

Клапаны	Зазоры
Впускной	0,5—0,8
Выпускной	0,6—1,0
Топливный	0,3—0,5
Пусковой	0,6—0,8

Отсечку топливного насоса устанавливают при двух крайних положениях муфты регулятора. При крайнем верхнем положении муфты двигатель должен иметь число оборотов на 4—5% больше нормального, а отсечка топливного насоса должна соответствовать подаче топлива при холостом ходе горячего двигателя. При крайнем нижнем положении муфты двигатель должен иметь скорость на 4—5% ниже нормальной, а нагрузку наибольшую для данного двигателя, включая и допускаемую перегрузку. Отсечка в данном случае должна обеспечивать двигатель подачей топлива, имея как всегда известный запас, так как топливные насосы рассчитываются на значительно бо́льшую подачу топлива, нежели это требуется для двигателя. Механизм регулятора весьма тщательно проверяется. Все его движения д. б. легки, свободны, но вместе с тем детали не должны иметь игры в соединениях. Проверка ведется при расцепленной от катаракта и отсекателя муфте регулятора. Движение шаров регулятора, муфты и пр. проверяется вручную. Тугой ход механизма регулятора вызывает ущемление движения рычагов и тяг и прекращение регулирования двигателя. Слабина в соединениях вызывает неравномерн. ход двигателя.

Работа двигателя зависит от исправного действия топливного насоса (т. е. правильной подачи топлива), смазочных аппаратов, всех вспомогательных приспособлений и устройств и охлаждения. Подача топлива, смазки и охлаждающей воды зависят от состояния трубопроводов, их соединений и клапанов, а также от исправности соответствующих насосов. Поэтому еще до первого пуска двигателя в ход производят тщательную проверку всех этих частей. Особенно неприятны всякие забытые временные пробки, о к-рых следует помнить и своевременно их удалять; кроме того необходимо тщательно очистить все части, продуть воздухом трубопроводы и пр. Прокачка вручную топлива, смазки и пропуск воды по линиям трубопроводов помогают обнаружить неисправности. Пуск двигателя в зависимости от его

мощности производится либо вручную либо при помощи сжатого воздуха; последний способ самый распространенный.

После нескольких минут работы вхолостую, двигатель останавливают, тщательно осматривают и при обнаружении ненормальностей их немедленно устраняют. Первые пробы двигателя сразу говорят о качестве сборки, об исправности действия отдельных частей, механизмов и устройств. При испытаниях наблюдают за числом оборотов, действием регулятора, работой топливного насоса, рабочих клапанов, состоянием подшипников (стуки, нагрев), подачей смазки, $t°$ и составом отходящих газов и охлаждающей водой. Стуки в подшипниках говорят о ненормально больших зазорах или о недостаточной смазке. Нагрев подшипников напротив указывает на малую величину зазоров, на перекосы или недостаток смазки. Стуки поршня служат признаком большого зазора между поршнем и цилиндром, неправильной работы колец или же несвоевременной подачи топлива в цилиндр. Во всяком случае правильное определение причин тех или иных явлений в двигателе—дело опыта персонала, обслуживающего двигатель. На стенде сборочной мастерской двигатель окончательно отрегулировывается, положение всех органов распределения фиксируется при помощи отметок, клейм, штифтов, шпилек. По всем этим данным производится установка распределения при монтаже, ремонте и прочих работах. При регулировке двигателя снимаются индикаторные диаграммы, позволяющие определять отдельные моменты работы двигателя и получать равномерную мощность в отдельных цилиндрах (см. *Индикатор*). Разница мощности в отдельных цилиндрах не должна превосходить ± 5%. Нагрузку двигателя следует увеличивать постепенно во избежание нагрева или заедания движущихся частей, внимательно следя за исправным состоянием отдельных частей двигателя. При заводских испытаниях проверяется выполнение технич. условий, касающихся часового расхода топлива на 1 Hp_{eff}, числа оборотов, равномерности хода, кпд. Обыкновенно испытание двигателя средней и крупной мощности производится на том же стенде, что и сборка, причем нагружают двигатель посредством динамомашины или тормоза, соединяемых с двигателем приводным ремнем или при помощи муфты. По индикаторным диаграммам вычисляется индикаторная мощность двигателя. Число оборотов двигателя указывает тахометр или счетчик оборотов. Равномерность хода определяется по тахограммам. Развиваемая полезная мощность определяется из показаний амперметра и вольтметра (при нагрузке динамомашиной) либо, при работе с тормозом, по навеске на рычаге тормоза и скорости обода тормоза. Расход топлива чаще всего определяют взвешиванием расходного бака; при этом фиксируется расход топлива за измеряемый период времени, при сохранении постоянных нагрузки и числа оборотов. Простое деление дает часовой расход топлива на 1 Hp_{eff}. Механический кпд получается делением полезной мощности двигателя на его индикаторную мощность. По окончании регулировки и испытания необходимо замерить высоту камеры сжатия в каждом цилиндре при посредстве оттиска на свинце, вредных пространств в разных ступенях компрессора, продувочного насоса, конечно, если таковые имеются. Все эти замеры, а также величину зазоров, установленных при сборке, и результаты испытаний необходимо занести в особый акт, один экземпляр которого с комплектами индикаторных диаграмм отправляется заказчику для руководства при монтаже и эксплоатации двигателя.

Лит.: Бехтерев П., Сборка двигателей Дизеля, Л., 1927; Шварцбек П., Рациональная эксплоатация двигателей Дизеля, пер. с нем., М., 1928; Голубев С., Двигатель Дизеля, его устройство, действие, установка и уход за ним, М.—Л., 1928; Кернер К., Конструирование дизелей, пер. с нем., Л., 1928; Гюльднер Г., Двигатели внутреннего сгорания, пер. с нем., т. 1, Москва, 1928; Дуббель Г., Двигатели внутреннего горения, пер. с нем., Л., 1928; Sass F., Kompressorlose Dieselmaschinen, Berlin, 1929; Seiliger M., Kompressorlose Dieselmotoren und Semidieselmotoren, B., 1929; Valentin E., Fabrikation von Motoren und Automobilen, B., 1915; Sothern J. W., A Manual of Marine Oil Engine Practice, 2 ed., L., 1925; Ford L. K., Practical Marine Diesel Engineering, N. Y., 1925; Purday H. F., Diesel Engine Design, 3 ed., London, 1928; Morrison L., Diesel Engines, N. Y., 1923; Suppino G., Land a. Marine Diesel Engines, L., 1924; Cook F. J., Diesel Engine Castings, L., 1920. См. также *Двигатели газовые*, *Двигатели Дизеля*, *Двигатели нефтяные мелкие*, *Двигатели судовые*. **Н. Макаревич.**

М. авиационных двигателей.

Особенности производства авиамоторов. Производство авиамоторов относится к среднему машиностроению, обладая вместе с тем некоторыми особенностями, выделяющими его в особую группу. Эти особенности вытекают: 1) из технич. требований, предъявляемых к деталям мотора и ко всей машине в целом, 2) из экономич. условий (ограниченность сбыта) и 3) из назначения мотора. Технич. требования обусловливают: а) применение материалов, наилучшим образом отвечающих условиям наибольшей прочности и надежности детали в работе при минимальном весе, б) кузнечную и тепловую обработку, позволяющую наиболее полно и целесообразно использовать свойства металла в зависимости от назначения детали, в) высокую степень однородности материала как в пределах одной детали, так и в сериях одних и тех же деталей, г) точную механическую обработку, вызываемую требованием определенных зазоров или натягов в сочленениях, д) строгий контроль материалов, полуфабрикатов, тепловой и механической обработки и монтажа. Ограниченность сбыта связана с тем, что авиация до сих пор является еще недостаточно доступным и надежным способом транспорта; производство самолетов и авиамоторов невелико, и их изготовление идет не по принципам массового производства, а мелкими или крупными сериями. Главными потребителями авиамоторов являются военные воздушные флоты различных стран; бо́льшая часть моторов конструируется в соответствии с требованиями военной авиации. Поэтому производство авиамоторов стоит в ряду с производством других предметов вооружения, и в развитии М. и совершенствованиях конструкции мото-

ров прежде всего заинтересованы военные ведомства каждой страны. Та конкуренция, которая существует в области вооружения в капиталистических странах, сказывается и в М. В мирное время она проявляется в создании новых, все более совершенных конструкций моторов с точки зрения возможности использования их для того или иного военного типа самолетов, а в военное время также и в числе выпускаемых из производства единиц. По этой же причине всякое существенное улучшение качеств мотора путем изменения конструкции или применения нового материала или нового способа обработки, хотя бы это было связано со значительным удорожанием изделия, проводится и закрепляется практикой.

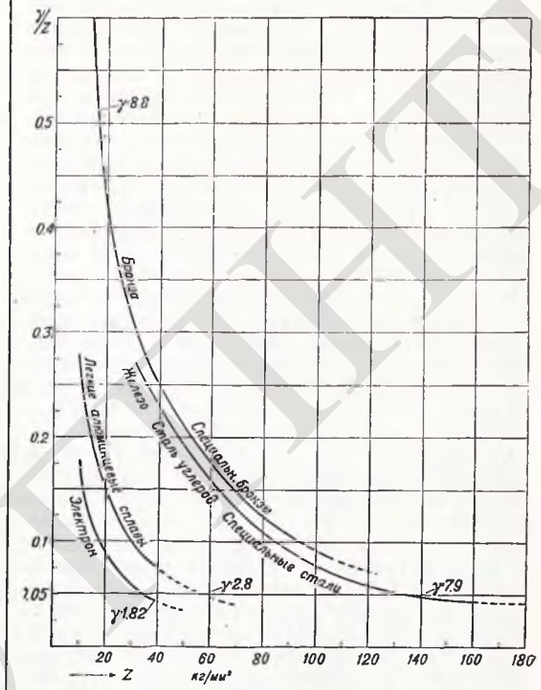
Состав цехов и организация авиамоторного завода. По величине затрат на оборудование основным цехом авиамоторного з-да является цех механич. обработки. Многие европ. и америк. авиамоторные з-ды получают от поставщиков все поковки и отливки; такие з-ды состоят обычно из следующих главных цехов, не считая вспомогательных: механического, термического, слесарно-сборочного и испытательной станции. Некоторые заводы имеют свои литейные и кузнечные цехи; однако и в этом случае часто з-ды сами не изготовляют наиболее крупных поковок, например коленчатых валов, а получают их со стороны. Сравнительно небольшой масштаб производства авиамоторов делает выгодной передачу изготовления целого ряда отдельных приборов и деталей на сторону—заводам, специализировавшимся в данной области; как правило все карбюраторы, шарикоподшипники, ролики, магнето, свечи и другие приборы зажигания, поршневые кольца, трубки, кранники, пружины и пр. изготовляются на специальных заводах. В отдельных случаях сторонние з-ды поставляют моторным такие детали, как коленчатые валы, в совершенно законченном, обработанном виде. Возможность такого сотрудничества и коммерч. соображения определяют в каждом случае целесообразный состав цехов моторного з-да. На каждом моторном з-де имеются свои конструкторский и опытный отделы, занимающиеся созданием новых моделей моторов. Особенно сильно развиты конструкторские и опытные отделы на америк. заводах. В отношении структуры и организации авиамоторные з-ды от других машиностроительных з-дов не отличаются. Следует лишь отметить, что конструкторское бюро и контроль производства имеют здесь гораздо большее удельное значение, чем в других предприятиях; поэтому вопрос соподчиненности руководителя конструкторским бюро и директора завода решается в каждом частном случае. Контрольный отдел обычно подчинен непосредственно директору, будучи независимым от руководителей производства и цехов.

Материалы, употребляемые для постройки авиамоторов. Как было указано выше, применение материалов наиболее прочных при наименьшем весе представляет одну из основных особенностей авиамотора. Коэфициентом, характеризующим материал с этой стороны и позволяющим производить сравнение материалов разных уд. весов и крепости, является, в случае работы сравниваемых деталей на чистое растяжение, отношение $\gamma : Z$—уд. веса γ к временному сопротивлению на растяжение Z; веса двух прутков равной длины и равного запаса прочности, работающих на растяжение, будут прямо пропорциональны соответствующим отношениям $\gamma : Z$. В табл. 1 приведены величины $\gamma : Z$ для средних значений Z разных материалов.

Табл. 1.—Значения величин γ, Z и $\gamma : Z$ для некоторых материалов.

Название материала	γ	Z в кг/мм²	$\gamma : Z$
Чугун серый	7,2	15	0,480
Бронза литая (88 : 10 : 2)	8,8	24	0,367
Железо	7,9	35	0,226
Сплав для картеров (8%Cu, 92%Al)	2,88	13	0,215
Сталь литая	7,8	55	0,143
Сплав Y литой, термически обработанный	2,8	24	0,116
Электрон литой AZG	1,82	18	0,101
Дуралюмин, кованный после термообработки	2,8	41	0,068
Хромоникелевая сталь, термически обработанная	7,8	120	0,066
Электрон штампованный VI II	1,82	38	0,048

Значения величины $\gamma : Z$ для бронзы, стали, алюминиевых и магниевых сплавов при различных Z приведены на диаграмме фиг. 1. По этой диаграмме можно быстро



Фиг. 1.

решать задачи по замене одного материала другим (для случая детали, работающей на растяжение). Пунктиром обозначены те участки кривых, для к-рых сплавы с соответствующими величинами Z еще не находят применения.

При выборе материала для тех или иных деталей учитываются также другие механич. свойства: вязкость, способность противостоять ударным нагрузкам (коленчатые валы, шатуны), устойчивость при высоких температурах (клапаны), антифрикционные (поршневые кольца, втулки) и технологические свойства: возможность получения деталей сложной формы путем отливки, способность свариваться и т. д. Основными материалами, из к-рых изготовляется современный авиамотор, являются специальные стали и алюминиевые сплавы. Следует отметить две основные тенденции, сказывающиеся на конструкции многорядных моторов: применение стальных сварных цилиндров и цилиндров в алюминиевых блоках; относительные количества стали и алюминия в этих моторах различны. Можно считать, что около 50% по весу современного мотора блочной конструкции приходится на алюминиевые части, что составляет по объему около 75%. В моторе Либерти (стальные сварные цилиндры) на алюминиевые части приходится по весу ок. 36%.

Сорта употребляемых в М. сталей. Сталь для М. идет в виде поковок, катаных и тянутых полуфабрикатов (прутки, листы, трубы, проволока). Количество разных по составу сортов сталей, употребляемых для М., у каждого з-да колеблется около 10. По составу стали делятся на углеродистые, к-рые не содержат специальных примесей (например Cr, Ni, W, V и др.), и на специальные стали, к-рые такие примеси в большем или меньшем количестве содержат. Углеродистые стали обладают более низкими механич. качествами, чем многие специальные стали, и употребляются поэтому на менее нагруженные детали. Углеродистые стали, принятые в СССР, применяются нескольких марок, различающихся как по содержанию C, так и по способу выработки: 1) в виде поковок или прутков, поставляемых в отожженном виде и получающих термич. обработку на авиамоторных заводах (марки У2, У3 и У4), 2) в виде горячекатаных прутков, поставляемых в термически обработанном виде (марки ГС и ГПТ), и 3) в виде светлотянутых калиброваных прутков, поставляемых в термически обработанном виде (марки СС и СПТ). Стали У2, У3 и У4 различаются содержанием C (0,2—0,3% в У2, 0,3—0,4% в У3 и 0,36—0,46% в У4) и содержат: 0,35—0,75% Mn, < 0,4% Si, < 0,045% S и < 0,05% P. Требования, предъявляемые техническими условиями к механическим качествам стали после закалки и отпуска, приведены в табл. 2.

Табл. 2.—Механические свойства углеродистых сталей У2, У3 и У4 (по техническим условиям).

Характеристики	Марки стали У2	У3	У4
Z в кг/мм²	54—56	62—78	72—88
Предел текучести в кг/мм²	⩾32	⩾40	⩾40
Относительное сужение в %	⩾50	⩾45	⩾40
Ударное сопротивление в кгм/см²	⩾ 6,5	⩾ 4,5	⩾ 3,5

Табл. 3.—Механические свойства углеродистых сталей СС, ГС, ГПТ и СПТ.

Характеристики	Марки стали СС и ГС	ГПТ и СПТ
Врем. сопротивление на растяжение Z в кг/мм²	55—65	65—75
Относительное удлинение в %	⩾16	⩾14
Относительное сужение в %	⩾45	⩾40
Ударное сопротивление в кгм/см²	⩾ 4,5	⩾ 3,5
На загиб все марки должны выдерживать один загиб в холодном состоянии на 180° вокруг стержня двойного диаметра.		

Назначение: У2—для мало нагруженных деталей, У3—для деталей нагруженных, работающих без трения (напр. втулка пропеллера), У4—для деталей нагруженных, работающих с трением (например цилиндры). Требования, предъявляемые к механическим свойствам сталей марок ГС, ГПТ, СС и СПТ, согласно техническим условиям, приведены далее в табл. 3.

Эти стали употребляются для изготовления не сильно нагруженных болтов, гаек и других нормалей. Для изготовления рубашек цилиндров водяного охлаждения (штамповка, сварка) в СССР употребляется мягкая сталь марки ОМ в виде листов, с содержанием: ⩽0,12% C, ⩽ 0,6% Mn, ⩽ 0,1% Si, ⩽ 0,045% P, ⩽ 0,045% S, ⩽ 0,1% Cr. Механич. свойства согласно техническим условиям должны быть: временное сопротивление на разрыв (для листов толщиной ⩽ 1,5 мм) от 28 до 38 кг/мм², относительное удлинение ⩽ 25%; при приемке листы подвергают испытанию на загиб и выпрямление, на выдавливание по Эрихсену и на способность свариваться.

Специальные стали, употребляемые для деталей моторов, можно разбить на группы в зависимости от назначения деталей или характера получаемой тепловой обработки: стали для цементации, для напряженных деталей, работающих при невысоких температурах, для деталей, работающих при высоких температурах, для пружин. В виду того что детали, работающие с большими нагрузками в трущихся частях, являются в то же время и сильно напряженными, для цементации употребляют специальные стали, а не углеродистые. Состав применяемых в СССР сталей для цементации приведен в табл. 4.

Табл. 4.—Химический состав (в %) сталей, употребляемых в СССР для цементации.

Марка стали	C	Mn	Si	Ni	Cr	P	S
ЦК	0,10—0,16	⩽0,50	⩽0,30	1,7—2,3	0,20—0,5	⩽0,035	⩽0,035
ХПІ	0,10—0,16	⩽0,60	⩽0,35	2,8—3,4	0,55—0,9	⩽0,035	⩽0,035
ХМІ	0,10—0,16	⩽0,60	⩽0,35	3,4—4,0	0,76—1,1	⩽0,035	⩽0,035

Механические свойства этих сталей после термообработки (закалка, отпуск), но без цементации, приведены в табл. 5.

Табл. 5.—Механические свойства сталей, употребляемых в СССР для цементации.

Характеристики	Марки стали		
	ЦК	ХІН	ХМІ
Z в *кг/мм²*	⩾ 58	⩾ 85	⩾ 100
Предел текучести в *кг/мм²*	⩾ 38	60	80
Относит. удлинение в % .	⩾ 10	8	7
Относит. сужение в % . .	⩾ 50	50	50
Ударное сопротивление по Шарпи в *кгм/см²*	⩾ 7	⩾ 7	⩾ 6

Следует отметить, что в последнее время некоторые заводы (Испано-Суиза, Кертис) начали в серийном производстве применять азотизацию цилиндров (обработка уже шлифованной рабочей поверхности цилиндра аммиаком при $t°$ 500—550°, длительностью до 90 ч., в результате чего поверхностный слой стали делается весьма твердым и хорошо сопротивляющимся истиранию). Для азотизации применяется напр. сталь следующего состава: 0,33% C, 1,6 % Cr, ⩽ 2% Ni, ⩽ 0,3% Mo, 1% Al. Химический состав хромоникелевых сталей, употребляемых в СССР для напряженных деталей и подвергающихся термич. обработке, приведен в табл. 6.

Табл. 6.—Химический состав (в %) хромоникелевых сталей для ответственных деталей.

Марка стали	C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S
X2H	0,17—0,25	0,5—0,9	2,65—3,35	⩽0,6	⩽0,4	⩽0,035	⩽0,035
X3H	0,25—0,33	0,9—1,2	2,8 —3,5	⩽0,6	⩽0,4	⩽0,035	⩽0,035
X4H	0,33—0,41	1,2—1,6	3,0 —3,7	⩽0,6	⩽0,4	⩽0,035	⩽0,035
ЭХН2 . . .	0,16—0,24	0,7—1,1	3,9 —4,6	⩽0,7	⩽0,4	⩽0,035	⩽0,035
X3	0,25—0,33	0,7—1,1	3,3 —4,0	⩽0,6	⩽0,4	⩽0,035	⩽0,035

Сталь марки X2H употребляется для не сильно нагруженных болтов, рычагов, валиков и т. п.; сталь X3H, ЭХН2 и X3—для деталей сильно нагруженных, как шатуны. коленчатые валы и т. п.; X4H—для деталей, как например шестерни, материал которых подвергается значительным напряжениям и должен хорошо сопротивляться износу.

Механич. свойства хромоникелевых сталей для ответственных деталей, требуемые нашими технич. условиями, приведены в табл. 7.

Табл. 7.—Механические свойства хромоникелевых сталей.

Характеристики	Марки стали				
	X2H	X3H	X4H	ЭХН2	X3
Z в *кг/мм²*	85—105	100—120	110—130	95—115	113—137
Предел текучести в *кг/мм²* .	⩾68	⩾80	⩾85	⩾80	⩾90
Относит. удлинение в % . . .	⩾ 8	⩾ 7	⩾ 7	⩾ 8	⩾ 6
Относит. сужение в % . . .	⩾55	⩾55	⩾45	⩾55	⩾50
Ударное сопротивление по Шарпи в *кгм/см²*	⩾ 9	⩾ 7	⩾ 5	⩾ 7	⩾ 4

Употребляются также стали более сложного состава с присадкой кроме Cr и Ni еще V, W или Mo, механические свойства которых: временное сопротивление на разрыв > 150 *кг/мм²* при относительном удлинении > 7% и ударном сопротивлении свыше 7 *кгм/см²*. Для выхлопных клапанов употребляются специальные стали; в табл. 8 приведен химический состав наиболее употребительных сортов этих сталей. Для сильно нагруженных пружин, например клапанных, применяется хромованадиевая сталь; согласно нашим техническим условиям состав этой хромованадиевой стали: 0,45—0,55% C; 0,7—0,9% Mn; 0,1—0,2% Si; 1,0—1,2% Cr; 0,15—0,25% V.

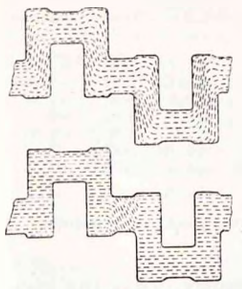
Табл. 8.—Химический состав (в %) специальных сталей для клапанов.

Мотор	Тип стали	C	Si	Cr	W	Co / Mo	Ni
Испано	Хромовольфрамовая . .	0,58	0,32	2,1	17,2	—	—
Кондор	Сильхром . .	0,53	3,6	7,8	—	—	—
Либерти	Сильхром . .	0,48	3,0	6,9	1,8	—	—
Непир	Высокохромистая	0,50	0,18	11,3	—	—	—
BMW	Высокохромистая	1,72	0,35	11,3	—	—	—
Юпкерс	Высокохромоникелевая . .	0,35	1,7	18	2,5	—	15,5
Юпитер	Хромокобальтомолибд. . .	1,2	0,4	12,0	—	1,0	—
»	Сильхромоникелевая . . .	0,4	3,5	17,0	—	1,0 —	25,0

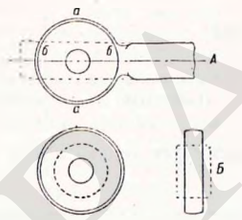
Стальные поковки. Требования, предъявляемые к стальным поковкам, помимо требования соответствия заданному химич. составу в части основных компонентов и примесей, следующие: а) однородность материала в пределах поковки, б) хорошая уковка, в) отсутствие трещин и других пороков, г) такое расположение вытянутых при ковке дендритов или «волокон» в готовой детали, чтобы их направление совпадало с направлением наибольших нормальных напряжений растяжения.

На фиг. 2—6 показано направление волокон в различных деталях: на фиг. 2 дано схематич. изображение направления волокон стали в коленчатых валах, кованных разными способами: *1*—волокна следуют за контурами вала без скручивания в шейках (наиболее благоприятное расположение волокон); *2*—волокна не следуют за контурами вала и скручены в коренной шейке; на фиг. 3 изображена схема изготовления шестерен двумя способами: *А*—раздача конца прутка или полосы в лепешку с последующим прошиванием отверстия, *Б*—высадка в торец из отрезанного пруткового материала. На фиг. 4 показано направление волокон в зубьях шестерни, к-рая изготовлена по варианту *А* (фиг. 3). Внизу фиг. 4 показано расположение волокон на участках *бб* (правильное расположение); вверху—на участках *аа* (зуб ослаблен неправильным расположением волокон). При ковке по варианту *Б* (фиг. 3) волокна во всех зубьях расположены одинаково, а именно радиально. На фиг. 5 показано правильное расположение волокон в тюльпанном клапане, на фиг. 6—неправильное

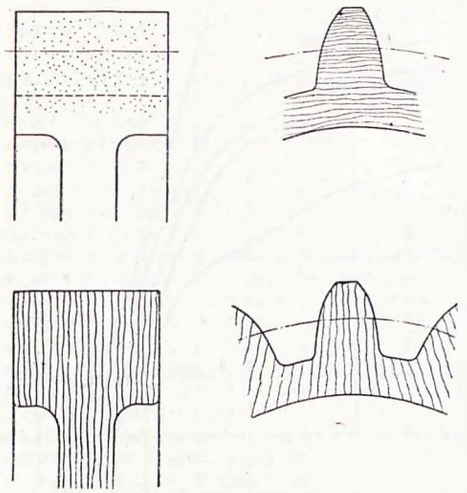
расположение волокон в тарельчатом клапане. Помимо этого предъявляется ряд требований производственного порядка, сводящихся к гарантии поковки от дефектов, связанных с неудовлетворительным процессом изготовления слитка, неправильной ковкой, отжигом и т. д. Размеры ковочных средств зависят от размера заготовки и детали, а также и от ее материала. Для ковки применяют обычно паровые или пневматические молоты, для штамповки—падающие молоты. Изготовление поковок должно производиться в определенном интервале температур, с возможно меньшим числом нагревов. После ковки поковки подвергают отжигу и протравке в ваннах с кислотным раствором, нейтрализации в щелочи, промывке и контролю по внешнему осмотру и размерам. Поковки эти тем более совершенны, чем меньший припуск при прочих равных условиях остается на последующую механич. обработку; в этой части качество поковок сильно влияет на количество обдирочных станков в механич. цехах моторного завода. Контроль качества материала поковок производится весьма



Фиг. 2.



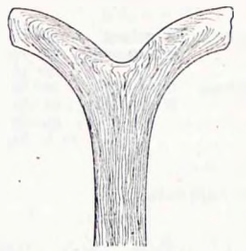
Фиг. 3.



Фиг. 4.

тщательно и заключается в производстве химич. анализа (по плавкам), исследовании однородности, проверке механич. свойств испытанием образцов на растяжение, удар и твердость и исследовании макро- и микроструктуры. При этом механические испытания производят над образцами, вырезанными из припуска у каждой из таких ответственных деталей, как коленчатый вал, шатун, вал редуктора и др.

Чугунные отливки. Чугунное литье в авиамоторах применяется для крайне ограниченного числа деталей (поршневые кольца, направляющие втулки клапанов, втулки поршневого пальца в шатуне, вставные гильзы цилиндров и т. п.), а именно для деталей, не сильно нагруженных и требующих устойчивости на изнашивание при повышенных $t°$. Наилучшим сортом чугуна, удовлетворяющим этим требованиям, является чугун с перлитовой основой; при этом детали малой толщины требуют для достижения достаточной прочности мелко раздробленного графита. Отливка гильз цилиндров, имеющих в обработанном виде толщину ок. 1 мм, хорошо удается при центробежной отливке. При изготовлении поршневых колец или отливают отдельно каждое кольцо в песок (этот способ, как наиболее дешевый, распространен на специальных заводах поршневых колец Европы), или отливают в песок заготовки (маслоты), из которых вытачивается 12—20 колец, или центробежным способом отливают маслоты, из к-рых вытачивают по 10—15 колец.



Фиг. 5.

Фиг. 6.

Литье из алюминиевых сплавов. Наиболее известные заводы, поставляющие авиамоторным заводам отливки из алюминиевых сплавов, следующие: в Германии Rautenbach (в Золингене), во Франции Montupet (Нолан) и Debard, в Англии British Aluminium Co., в США Aluminium Co. of America. Некоторые крупные авиамоторные заводы имеют свои литейные, например Райт в США, BMW (Bayerische Motoren Werke) в Германии, Гном-Рон во Франции. Для изготовления литых алюминиевых деталей употребляются сплавы, химический состав которых приведен в табл. 9. Некоторые отдельные заводы применяют также и иные сплавы, как например «лауталь» (для картеров), «неоналиум» (для головок цилиндров воздушного охлаждения), KS (для поршней) и др., но они не имеют столь широкого распространения, как сплавы, указанные выше. Механич. свойства перечисленных выше картерных сплавов приведены в табл. 10. Испытания образцов дают только приближенную ориентировку в механич. качествах материала самой детали, так как вследствие разных скоростей охлаждения различных частей одной и той же отливки механич. свойства в разных ее местах бывают различны. Для поршневых сплавов, работающих при повышенных $t°$, необходима достаточная механич. прочность при рабочих $t°$ поршня. Значения временного сопротивления на разрыв разных сплавов Al при повышенных $t°$ показаны на фиг. 7 (сплав 8%-ный соответ-

Табл. 9.—Химический состав (в %) легких алюминиевых сплавов для литья.

№ по пор.	Наименование сплава	Cu	Zn	Si	Mg	Fe	Ni	Случайные примеси	Al	Уд. в.
1	Американский картерный	7—8,5	—	. . .	—	. . .	—	≪1,7	>90	~2,86
2	Германский картерный.	2,5—3,0	12,5—14,5	. . .	—	. . .	—	≪1,7	>81	~2,90
3	Силюмин	—	—	12,8—13,2	—	. . .	—	≪0,6	~86	~2,60
4	№ 195	4—5	—	. . .	—	. . .	—	≪0,5	~95	~2,77
5	Поршневой с 12% Cu . .	11—13	—	. . .	—	. . .	—	≪1,7	>85,5	~2,90
6	Поршневой с Fe	9,25—10,75	—	. . .	0,15—0,35	0,9—1,5	—	≪0,75	>87,5	~2,90
7	«Y»	3,75—4,5	—	. . .	1,25—1,75	. . .	1,75—2,25	≪1,5	>92	~2,90

Многоточия обозначают, что данный элемент присутствует только в качестве случайной примеси. Сплавы № 4, 6 и 7 употребляются с термообработкой.

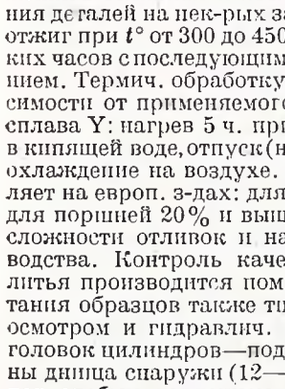
Табл. 10.—Механические свойства картерных алюминиевых сплавов.

№ по табл. 9	Название сплава	Вид отливки	Z в кг/мм²	Относит. удлинение в %	Твердость по Бринелю
1	Америк. картерный . .	В песок	12—16	2—4	63
	» » . .	В кокиль	12—18	3—5	68
	» » . .	»	12—18	3—5	90—120
2	Германский картерный	В песок	12—18	1—3	60
	» » .	В кокиль	12—20	2—5	65
3	Силюмин		14—22	1,5—10	60
4	№ 195*		19,5—24,5	6—10	75

* После термической обработки.

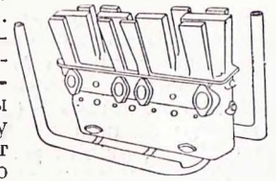
ствует № 1 табл. 9, 12%-ный—№ 5, сплав с железом—№ 6, сплав Y—№ 7). При выборе сплавов для определенных деталей кроме механических свойств сплава, уд. веса, способности противостоять коррозии и других свойств, имеющих значение в эксплоатации в зависимости от назначения, весьма важную роль играют литейные свойства. Алюминиевые сплавы обладают значительной усадкой, что является одним из основных затруднений при производстве литья сложных и крупных деталей. Усадка при переходе сплавов из жидкого состояния в твердое сильно зависит от состава сплава; дефекты, к к-рым она ведет,—рыхлость, пористость. Усадка при остывании затвердевшего металла для всех сплавов приблизительно одинакова; будучи значительной, она требует, чтобы формы и стержни не стесняли сокращения размеров; дефекты, которые в противном случае образуются,—трещины и значительные внутренние напряжения в отливках. Для приготовления картерных сплавов, кроме тех, которые подвергаются термообработке, употребляется первичный чушковый алюминий с содержанием не менее 98% Al; для ответственных отливок в кокиль и для сплавов, проходящих термообработку, применяется чушковый алюминий с содержанием не менее 99% Al. Применяемые для приготовления алюминиевых сплавов лигатуры—см. *Алюминиевые сплавы*. При составлении шихты многие заводы для отливки деталей авиамоторов вовсе не используют своего литника и брака, а работают лишь с первичным чушковым алюминием и лигатурами.

Плавка алюминиевых сплавов ведется в тиглях (на коксе, газе или нефти), в электрич. печах сопротивления или в барабанных пламенных печах (на нефти). Последний способ является наиболее дешевым, но неизбежно связан со значительным (до 10%) угаром алюминия и загрязнением ванны окислами, почему при приготовлении ответственных отливок не применяется. При плавке температуру ванны нельзя держать высокой во избежание поглощения газов металлом. Плавка в стальных или чугун. тиглях не применяется вследствие перехода железа в сплав. Разноска металла производится обычно в стальных тиглях. Некоторыми заводами применяется рафинировка металла фтористыми и другими солями; рафинировка силюмина является обязательной операцией при его приготовлении. Формы для отливки алюминиевых сплавов употребляются или песочные или металлические в зависимости от отливки. В металлической форме остывание сплава идет более интенсивно и структура получается более мелкая, что дает лучшие механические качества. На фиг. 8 изображена зависимость механических качеств литья из одного и того же алюминиевого сплава от рода формы. Поршни желательно отливать в металлический кокиль с металлическим же стержнем. Отливка под давлением для изготовления деталей моторов в настоящее время почти не применяется. В песочных сложных формах для обеспечения возможно равномерного остывания в разных частях отливки, применяют металлические холодильники в виде пластин, вставляемых в песочную форму возле утолщенных мест или галтелей. Песок употребляется тощий с небольшим количеством глины для связи; формы подсушивают с поверхности перед сборкой и литьем. Питание металлом производится обычно снизу, в более тонкие стенки. Над утолщенными местами во избежание «утяжин» ставят (фиг. 9) высокие (20—25 *см*) выпора.

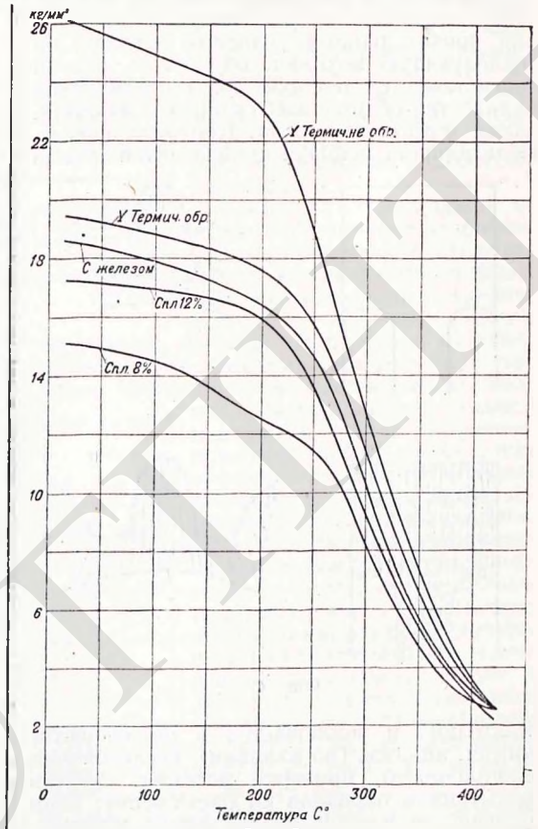


Фиг. 8.

Темп-ра литья д. б. возможно более низкой, насколько допускает условие заполнения всей формы (690—740°). Выбивку отливки производят возможно раньше, до полного остывания, для возможности свободного сокращения при остывании. Для уменьшения внутр. напряжений в отливках и последующего коробления деталей на нек-рых заводах применяется отжиг при $t°$ от 300 до 450° в течение нескольких часов с последующим медленным остыванием. Термич. обработку производят в зависимости от применяемого сплава; напр. для сплава Y: нагрев 5 ч. при 510°, замачивание в кипящей воде, отпуск (нагрев 8 ч. при 190°), охлаждение на воздухе. Брак литья составляет на европ. з-дах: для картеров 10—20%, для поршней 20% и выше, в зависимости от сложности отливок и налаженности производства. Контроль качества алюминиевого литья производится помимо механич. испытания образцов также тщательным внешним осмотром и гидравлич. пробой: поршней и головок цилиндров—под давлением со стороны днища снаружи (12—30 *atm*), картеров—под слабым давлением или открытой пробой бензином. В последнее время получает все увеличивающееся распространение просвечивание отливок лучами Рентгена (см. *Рентгенография*). С целью придания большей плотности стенкам деталей картеров, помп, рубашек блоков, подогревателей и др. на многих з-дах производится пропитка их разными способами, из к-рых наиболее распространены пропитка вареным маслом, лаками, растворимым стеклом и бакелитом. Алюминиевые отливки можно сваривать автогенной сваркой или паять, но к авиамоторным деталям сварка почти не применяется из-за невозможности оценить надежность произведенной операции; применение сварки ограничивается исправлением дефектов в неответственных местах деталей. Применение пайки также ограничено случаями исправления внешних несерьезных дефектов, так как паяный шов легко подвергается коррозии. Для придания изделию красивого вида отливки отделывают с поверхности обдувкой на пескоструйном аппарате, полировкой на кругах или окраской. Для придания устойчивости против коррозии лучшим способом обработки поверхности является способ анодного покрытия (способ Bengough), сводящийся к искусственному утолщению пленки окислов алюминия, покрывающей поверхности детали.



Фиг. 9.



Фиг. 7.

Поковки из алюминиевых сплавов. Изготовление деталей моторов из алюминиевых сплавов путем ковки в последнее время начинает все чаще применяться. В табл. 11 приведены состав и механич. свойства сплавов, употребляемых для этой цели

Табл. 11.—Характеристика сплавов, употребляемых Aluminium Co. of America.

Составные части и свойства	Марка сплава		
	17S	25S	51S
Номинальный состав в %			
Медь	4	4,5	—
Марганец	0,5	0,8	—
Магний	0,5	—	0,6
Кремний	—	0,8	1,0
Алюминий	95,0	93,9	98,4
Механические свойства после термообработки и старения			
Z в кг/мм²	38,5—44	38,5—44	31— 35
Предел текучести в кг/мм² .	21—28	21—28	21— 28
Относит. удлинение в %* .	18—25	16—25	10— 18
Твердость по Бринелю . .	90—105	90—110	90—100

* Образец длиной 50 мм.

Aluminium Co. of America. Сплав 17S (дуралюмин) идет гл. обр. на катаные полуфабрикаты. Из сплава 25S изготовляют ковкой картеры звездообразных моторов, подвески подшипников, лопасти пропеллеров, шатуны и др.; из сплава 51S—картеры звездообразных моторов. Ковка дуралюмина производится под молотом с предварительным нагревом до 400—450°, частыми, постепенно усиливающимися ударами, с последующей штамповкой в отделочных штампах.

Отливки из магниевых сплавов. Отливки из сплавов на магниевой основе начали применяться для изготовления деталей авиамоторов в последние 2—3 года, когда была разработана техника литья в земляные формы. В настоящее время электрон применяют для своих моторов след. заводы:

Изотта-Фраскини, BMW, Испано-Суиза. Причины, препятствующие быстрому распространению применения электрона, — сравнительная дороговизна его (чушковый магний в четыре раза дороже чушкового алюминия) и недостаточный еще опыт эксплоатации. Из электрона путем отливки изготовляются как главные картеры, так и разные фасонные детали (части карбюраторов, крышки распределительного картера и т. п.). В Германии магниевые сплавы разработаны обществом I. G. Farben (электрон), в Америке Dow Chemical Co., Midland (Дау-металл). Употребляемый для картеров германский сплав марки AZG содержит: 6% Al, 3% Zn, 0,35% Mn, но 0,3% Si и Cu, остальное Mg; его уд. в. 1,82, $t°_{пл.}$ 635°. Механич. свойства отлитых образцов: временное сопротивление на разрыв 14—17 *кг/мм²*, удлинение ~ 4%. Для поршней фирма Dow указывает сплав следующего состава: 2,0% Al, 4,0% Cu, 2,0% Cd, остальное Mg; этот сплав обладает большей теплопроводностью, нежели другие употребительные магниевые сплавы. Детали сложной конфигурации формуются в песке; формовочная земля употребляется того же состава, что и для алюминиевого литья, с добавлением ок. 5% серного цвета и 0,25% борной к-ты. Применение серы позволяет производить отливки в сырые формы; формы подсушивают лишь с поверхности. Плавку ведут преимущественно в электропечах, в стальных тиглях, причем из того же тигля производится заливка в форму. Проблему плавки разрешило применение специальных флюсов (напр. американский флюс: смесь из 60% обезвоженного хлористого магния и 40% хлористого натрия); флюс обволакивает жидкий металл и предохраняет его от образования окислов и нитридов при соприкасании с воздухом. После расплавления производится очистка путем перемешивания в тигле металла с флюсом, причем частицы вязкого флюса механически увлекают загрязнения, взвешенные в металле. При очистке производится значительный перегрев ванны. Отливают металл при темп-ре от 680° (для толстостенных предметов) до 780° (для тонкостенных). Слишком высокая $t°$ электрона при литье ведет к понижению механич. качеств, но не ведет к дефектам, как у алюминиевых сплавов. Применение флюса позволяет держать металл расплавленным любой срок. Повторные плавки, благодаря очистке, не портят металла. Для защиты поверхности от коррозии применяют различные способы: покрытие красками и лаками, обработку в горячем растворе фосфорной к-ты, обработку в водном растворе азотной к-ты с примесью двухромовокислого калия. Последний способ распространен в Германии.

Поковки и прессовки из магниевых сплавов. В настоящее время поковки из магниевых сплавов еще не получили применения в авиамоторостроении. Путем прессовки изготовляют поршни гл. обр. небольших размеров для автомобилей. Прессование поршней для авиамоторов находится в опытной стадии.

Бронза и латунь. В виду значительного уд. в. бронз и латуней применение их в авиамоторах ограничено небольшим количеством деталей; сюда относятся вкладыши подшипников, втулки, гнезда клапанов и свечей, заливаемые в алюминиевых деталях крапики, части карбюраторов и другие мелкие части. Число вариантов разных сплавов, применяемых разными з-дами, велико. Химич. состав наиболее употребительных бронз приведен в табл. 12.

Табл. 12.—Химический состав (в %) наиболее употребительных в М. бронз.

№ по пор.	Название	Sn	Zn	Pb	Fe	Ni	Al	P	Cu	Способ изготовления
1	Пушечная фосфористая	10—13	—	—	—	—	—	0,5—1,5	Ост.	Литье в кокиль
2	Американская	9—11	—	9—11	—	—	—	—	»	Литье в песок или в кокиль
3	Гидравлическая	8—11	1—3	—	—	—	—	—	»	
4	Арматурная	5—7	4—6	5—2	—	—	—	—	»	
5	Свинцовистая	6	—	23	—	—	—	—	»	Залив. по стали
6	Динамобронза	—	0,5	—	5,5	6	3—9	—	»	Ковка или штамповка
7	Алюминиевожелезная	—	—	—	2,5—3,5	—	10—12	—	»	
8	Алюминиевоникележелезная	—	—	—	4,5—5,5	4,5—5,5	10—12	—	»	
9	Катаная бронза	—	—	—	—	—	—	—	»	Прокатка
10	Муиц-латунь	3,5	остальное	<2	—	—	—	—	57—60	

Вкладыши вильчатых шатунов изготовляются обычно из бронз № 2, 3, а коренные вкладыши также из № 10; стальные вкладыши заливаются вместо баббита бронзой № 5 или аналогичной (напр. Райт, Кертис). Втулки клапанов изготовляются из бронз № 1, 3 и 9; клетки роликоподшипников из № 6; гнезда клапанов из № 7 и 8; литая неответственная арматура из № 4; жиклеры и другие части, требующие чистой резьбы, из № 10. Отливка заготовок из бронзы в виде палок производится в металлические кокили; отливка деталей кольцевой формы при достаточном диаметре производится центробежным способом (к сплавам со свинцом неприменимо).

Баббиты. Трущиеся поверхности вкладышей авиамоторов заливаются баббитом, так как баббит из всех известных до последнего времени антифрикционных материалов допускает наибольшие удельные нагрузки и скорости. Заливка производится по бронзе, латуни или стали, причем после механич. обработки слой баббита составляет ок. 1,5 *мм*. От баббита, применяемого в авиамоторах, требуется, чтобы кроме высоких антифрикционных свойств он обладал способностью выдерживать без разрушения те усилия, к-рым подвержен вкладыш или шатун (если заливка непосредственно по шатуну). Химич. состав наиболее употребительных в авиамоторостроении баббитов приведен в табл. 13. Английская практика эксплоатации указывает, что баббит должен содержать Cu и Sb в сумме не более 7%, чтобы удовлетворять указанному выше условию. Наилучшая заливка баббитом вкладышей получается при применении центробежного способа. Заливка по стали более трудна, чем по бронзе, т. к. труднее получить хорошее приставание. Перед заливкой производят тщательную очистку поверхности и облуживают ее оловом. Для успешности заливки весьма важно точное соблюдение требуемых $t°$ ванн с полудой и с баббитом, продолжительности выдержки в полуде, промежутка времени между облуживанием и заливкой и интенсивности охлаждения, причем нормы вырабатываются практикой каждого з-да. Контроль качества заливки возможен только путем наблюдения за всеми операциями рабочего процесса.

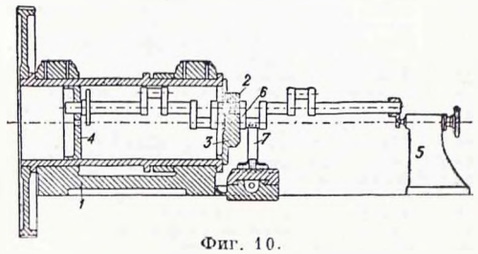
Табл. 13.—Химический состав (в %) баббитов, употребляемых для авиамоторов.

Название баббита	Cu	Sb	Ni	Sn
Английский авиационный	3—4	4—5	—	⩾90
Шарпи	2 4,5—5,5	5 10—12	до 1 —	Ост. ⩾83

Термическая обработка. Для придания материалу деталей наилучших механич. качеств их подвергают особой термич. обработке в соответствии с материалом и назначением детали, для чего на каждом авиамоторном з-де имеются специальные термич. цехи. Все детали из специальных или углеродистых сталей, употребляемые для изготовления авиамотора, подвергают термической обработке. По характеру обработки различают: а) отжиг после ковки, производимый в целях облегчения механич. обработки или для подготовки к последующей термической обработке; б) неполный отжиг для уничтожения внутренних напряжений после интенсивной механической обработки или после сварки; в) закалка простая или сложная; г) отпуск; д) цементация. В зависимости от материала и требований к детали, режимы темп-ры, выдержки и условия охлаждения варьируют в широких пределах. После термообработки производится контроль полученных результатов путем проверки однородности твердости по длине детали в случае крупных ее размеров (напр. коленчатый вал), механич. испытания образцов, прошедших ту же обработку, что и деталь (для ответственных деталей, как коленчатый вал и шатун, образцы берут от каждой детали), исследование микроструктуры. Детали из алюминиевых сплавов, как дуралюмин, сплав Y и др., значительно улучшающие свои свойства с термообработкой, подвергают последней. Некоторые заводы отжигают детали из алюминиевых сплавов, не подвергаемых нормально термообработке, с целью уменьшения внутренних напряжений, оставшихся от литья или вызванных интенсивной механич. обработкой.

Механическая обработка в производстве авиамоторов характеризуется: а) снятием большого количества металла со стальных деталей, что определяется, с одной стороны, их облегченными формами, а с другой—размерами заготовок, в большинстве случаев грубо приближающихся к окончательной заданной конфигурации детали; б) значительн. количеством деталей из алюминиевых сплавов; в) серийным (а не массовым) производством; г) точностью окончательной отделки; д) сложностью обработки, связанной со сложностью самих деталей. Механический цех—основной цех на авиамоторном заводе по величине вложенного в оборудование капитала и стоимости затрат на рабочую силу, к-рые являются наибольшими сравнительно с другими цехами. Общее число станочных часов, требуемых на обработку одного мотора, зависит от конструкции его и от характера снабжения, составляя в среднем около 1 000 ч. От этих двух обстоятельств, а также от масштаба производства зависит соотношение между количеством станков по типам. Для производства двурядных моторов средней мощности приблизительно можно принять следующие числа каждого рода станков: токарных, револьверных и автоматов 45% общего числа станков, фрезерных 20%, сверлильных 15%, шлифовальных 12% и разных других 8%. Расположение станков зависит от постановки производства на данном з-де: при выпуске относительно большого числа моторов в ограниченном числе моделей станки для наиболее крупных деталей (картер, коленчатый вал, цилиндр, шатун и т. п.) расставляют по порядку их операций, остальные станки группируют по их типам (з-д Гном-Рон, Испано, BMW). При механич. обработке широко применяют приспособления, которые необходимы не только для ускорения и упрощения обработки, но и для получения необходимой точности. Изготовление приспособлений и инструмента составляет задачу специальной механической мастерской, значительного размера (число станков ок. 15% общего числа станков в механич. цехе), оборудованной первоклассными станками (см. *Приспособления*). Ниже приводятся характерные операции по основным деталям мотора.

а) Характерными операциями при механич. обработке многоколенчатых валов являются: обточка шатунных шеек, высверливание отверстий по оси коренных и шатунных шеек, шлифовка шатунных шеек, доводка (хонинг) шеек и уравновешивание (балансировка). Обточка шатунных шеек производится на специальных токарных станках с приводом на две бабки (Рейнекер, Леблон, Ледж-Чиплей и др.) или на специальных станках Гарднера (фиг. 10), являющихся



Фиг. 10.

наиболее производительными. У этого станка шпиндель передней бабки *1* сильно развит, и вал проходит внутрь шпинделя, центрируясь в зажиме *2* крышки передней шайбы *3* шпинделя. Один конец вала поддерживается подвижной шайбой *4*, могущей передвигаться внутри шпинделя, другой конец поддерживается центром задней бабки *5*. Вращающий момент передается валу щечками, расположенными по сторонам щеки *6* колена, смежной с шейкой, подлежащей обработке. Резец, укрепленный в резцодержателе *7*, снимает стружку во всю ширину шейки; подобных резцов два: передний для обдирки и задний для отделки. Для обработки на станке Гарднера необходима предварительная отделка коренных шеек и щек со стороны коренных шеек. Сверление отверстий в коренных шейках ведется при вращающемся вале на токарных или горизонтально-сверлильных станках (Берингер). Сверление отверстий в шатунных шейках производится при вращающемся сверле на горизонтальносверлильных станках, причем подается вал (Магдебург) на специальных многошпиндельных горизонтальносверлильных, или на обыкновенных радиальносверлильных станках. Для шлифовки шатунных шеек употребляются специальные шлифовальные станки (Черчиль, Наксос-Унион и др.). Для отделки шеек вместо полировки в последнее время начинает применяться операция «хонинг» (у нас называемая доводкой), состоя-

Табл. 14.—Примерная последовательность основных операций при механической обработке многоколенчатого вала.

№ операции	Название операции
1	Разметка поковки по длине, разметка щек
2	Отрезка концов, центровка
3	Черновая обдирка коренных шеек и щек со стороны коренных шеек
4	Черновая обдирка шатунных шеек
5	Термич. обработка, контроль ее
6	Центровка
7	Предварительная обточка концов вала
8	Обточка коренных шеек и щек со стороны коренных шеек
9	Обточка шатунных шеек и щек со стороны шатунных шеек
10	Первая шлифовка шатунных шеек
11	Сверление отверстий в коренных шейках
12	Сверление отверстий в шатунных шейках
13	Фрезеровка по ширине щек и скосов
14	Фрезеровка закруглений щек со стороны коренных шеек
15	Фрезеровка закруглений щек со стороны шатунных шеек
16	Сверление отверстий для смазки в щеках, коренных и шатунных шейках
17	Фрезеровка скосов щек
18	Подрезка концов, расточка под пробки
19	Обточка носовой части вала и хвостовой части под шлифовку
20	Обточка конуса на носке вала
21	Фрезеровка шпоночной канавки на носке
22	Шлифовка корен. шеек и конуса на носке
23	Нарезка резьбы на носовой части вала
24	Шлифовка шатунных шеек
25	Сверление отверстий во фланце
26	Полировка коренных шеек
27	Полировка шатунных шеек
28	Слесарная отделка щек
29	Динамическая балансировка

Вместо операций 26 и 27 может применяться операция «доводки» на хонинг-машине.

щая в притирке шейки камнями, заложенными в оправку, имеющую вид вкладыша и сжимаемую с некоторым усилием: вращение получает коленчатый вал (станок Скранера). Для спокойного хода мотора весьма существенна операция уравновешивания вала, применяемая всеми лучшими заводами (станки для балансировки Ольсен, Гишольт, Леблон, Шенк и др.). Последовательность основных операций при механической обработке см. табл. 14.

б) Цилиндры обычно изготовляются из одной заготовки с фланцами и ребрами, вследствие чего требуется снятие большого количества стружки: так, заготовка для цилиндра мотора Юпитер весит 100 *кг*, а обработанный цилиндр всего 15 *кг*. Обдирку и расточку ведут на мощных револьверных станках (напр. Гишольт). Фрезеровка фланцев с торца производится на копировальных фрезерных или на специальных станках. При сверлении отверстий и расточке клапанных гнезд применяют специальные приспособления. Шлифовка зеркала производится на *шлифовальных станках* (см.) с планетарным и возвратно-поступательным движением наждачного диска при неподвижном цилиндре (Черчиль, Мейер-Шмидт, Наксос-Унион), или с планетарным движением диска и возвратно-поступательным движением цилиндра (например Гильд), или с вращающимся цилиндром и возвратно-поступательн. движением нормально вращающегося диска (Брайент); окончательная отделка — методом хонинг. Последовательность основных операций при механической обработке цилиндра сварной конструкции указана на табл. 15.

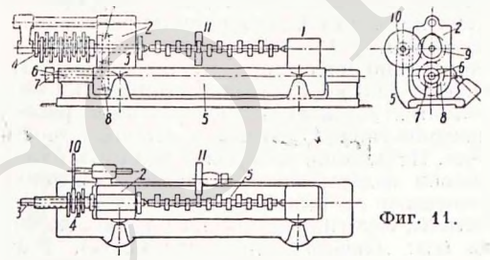
Табл. 15.—Примерная последовательность основных операций при механической обработке цилиндра сварной конструкции.

№ операции	Название операции
1	Обдирка штамповки снаружи
2	Обдирка штамповки изнутри
3	Термическая обработка
4	Расточка цилиндра изнутри
5	Обточка снаружи боковой поверхности
6	Обточка изнутри днища, подрезка по длине
7	Обточка снаружи днища
8	Подрезка фланца по длине
9	Сверление отверстий во фланце
10	Расточка отверстий для клапанных головок
11	Обточка гнезд для свечей, нарезка резьбы
12	Окончательная обточка боковой поверхности цилиндра снаружи
13	Приварка гнезд клапанов
14	Гидроиспытание
15	Приварка трубок и рубашек
16	Гидроиспытание
17	Приварка фланцев головок
18	Отжиг (неполный, для устранения напряжений, обязанных сварке)
19	Подрезка фланца
20	Шабрение цилиндра изнутри разверткой
21	Фрезеровка фланцев клапанных гнезд
22	Расточка под втулки клапана и фрезеровка гнезд клапана
23	Шлифовка изнутри рабочей поверхности
24	Запрессовка втулок и их развертка

в) Шатуны обрабатывают главн. обр. на фрезерных и токарных станках, причем соотношение этих работ зависит от конструкции самого шатуна (вильчатый, простой «с ухом», для звездообразного мотора, для ротативного мотора, стержень круглый или

двутавровый). При всех отделочных операциях применяются специальные приспособления. Окончательная отделка поверхности под вкладыш и под палец производится путем шлифовки, причем предпочтительнее тот способ, при к-ром вращается шатун.

г) Кулачковые валики. Обдирку и обточку производят на токарных многорезцовых станках типа Гейденрейх и Гарбек; сверление центрального отверстия—на горизонтально-сверлильных станках (напр. Берингер); фрезерование кулачков—на специальных копировально-фрезерных станках (например Рейнекер); шлифовку кулачков—на аналогичных копировально-шлифовальных станках (напр. Черчиль, Рейнекер, Вернер и др.). Схема последнего станка показана на фиг. 11, где *1*—задняя бабка, *2*—передняя бабка, *3*—шпиндель, *4*—копир, *5*—корпус, могущий качаться около оси *6*, *7*—шкив, *8* и *9*—передача к шпинделю, *10*—ролик, *11* — шлифовальный диск. Основные операции при механической обработке кулачкового валика приведены в табл. 16.

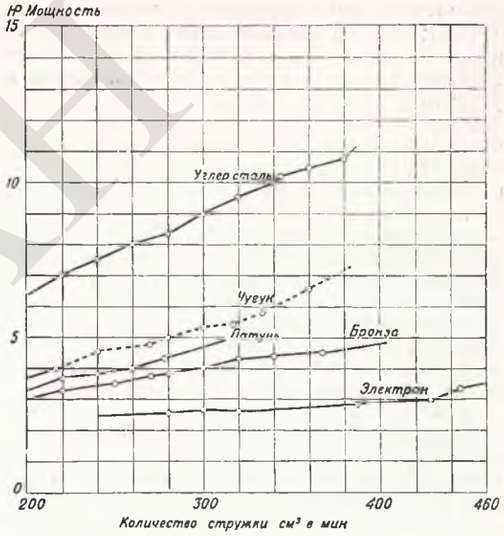


Фиг. 11.

Табл. 16.—Примерная последовательность основных операций при механической обработке кулачкового валика.

№ операции	Название операции
1	Отрезка концов поковки, центровка
2	Обдирка валика между кулачками
3	Проточка концов
4	Высверливание внутреннего отверстия
5	Проточка кулачков, мест между кулачками и подрезка кулачков с одной стороны
6	То же с другой стороны
7	Прорезка кулачков
8	Фрезеровка кулачков
9	Первая шлифовка кулачков
10	Цементация
11	Центровка и правка
12	Обточка фланца, нарезка резьбы
13	Сверление отверстий для смазки
14	Термическая обработка, правка
15	Шлифовка шеек и фланца
16	Шлифовка кулачков
17	Сверление отверстий фланца
18	Зачистка и слесарная отделка

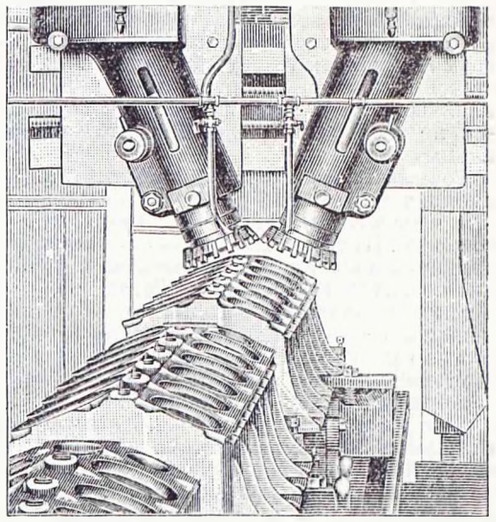
д) При изготовлении картеров V-образных моторов из алюминиевых или магниевых сплавов фрезеровка плоскостей разъема и плоскостей под цилиндры ведется на продольнофрезерных станках (например Рейнекер, Ингерсоль; фиг. 13) многорезцовой головкой. Рассверливание гнезд под цилиндры—на аналогичных станках или радиальносверлильных. Обработка гнезд под вкладыши и прорезка гнезд с торцов—на горизонтальнорасточных станках (например Унион, Ветцель, Ричардс) оправкой с наборными фрезами или резцами. Развертка



Фиг. 12.

гнезд в собранном картере—на горизонтальнорасточном или на вертикальносверлильном станке. Рассверливание гнезд под наклонные передачи—на поворотном столе горизонтальнорасточного станка или на продольнофрезерном.

Алюминиевые и электронные детали допускают обработку при значительно больших скоростях резания (до 500 *м/мин* и более), чем стальные детали. Кроме того мощность, расходуемая на снятие того же объема стружки, у них значительно меньше, чем у стальных деталей (фиг. 12).



Фиг. 13.

е) Картеры звездообразных моторов проще в обработке, так как большая часть обрабатываемых поверхностей м. б. обточена или рассверлена. Завод Гном-Рон ведет обработку на группе карусельных станков с револьверными головками. Картеры, штампованные из дуралюмина, имеют лишь

приблизительные внешние очертания готовой детали; ребра и углубления вырезаются торцовыми фрезами на копировально-фрезерных станках, что значительно усложняет и удорожает изготовление.

ж) Блоки цилиндров из алюминиевых сплавов необходимо растачивать на станках, гарантирующих правильное расстояние между осями соседних цилиндров, для чего применяются специальные вертикальносверлильные или же горизонтальнорасточные многошпиндельные станки; завод Испано-Суиза ведет обработку своих четырех- и шестицилиндровых блоков на специальных шестишпиндельных станках (2 типа станков, на которых проводятся операции—расточка, нарезка резьбы под гильзу, обработка гнезд клапанов и втулок).

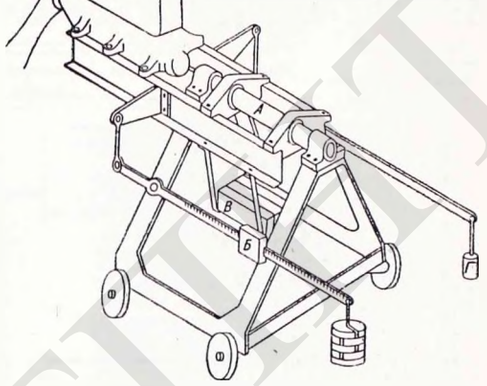
з) Поршни из алюминиевых сплавов обрабатываются на револьверных быстроходных станках. Для окончательной отделки в последнее время применяют алмазные резцы, дающие чрезвычайно гладкую блестящую поверхность. Некоторые заводы производят уплотнение поверхностного слоя днища путем накатки, с целью улучшить его противостояние выгоранию.

и) Шестерни цилиндрические применяют с эвольвентным профилем прямого зуба и изготовляют по методу обкатки червячным фрезером (Пфаутер, Рейнекер), или строжкой гребенкой (Мааг), или строжкой резцом в виде обкатывающейся шестерни (Феллоу, Лоренц, Рейнекер). Наименьшее встречающееся число зубьев—5, в передачах самопусков. В виду возможности деформации при термообработке, применяется шлифовка зубьев (Мааг, Браднер) после закалки.

к) Шестерни конические, обычно с прямым зубом, обрабатываются по методу обкатки на станках Глисон или Биллграм (Рейнекер). Шлифовка конических шестерен не применяется, но возможна на специальных станках Рейнекера. Готовые конические шестерни прирабатывают на специальных станках.

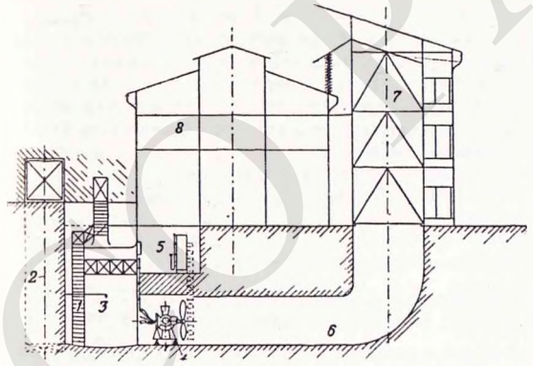
Точность механической обработки определяется тем, что для большинства сопряженных мест посадки отвечают второму классу точности. В отдельных случаях посадки (под ролико- и шарикоподшипники или внутренние поверхности, по к-рым катятся ролики, а также неподвижн. посадки) требуют применения более точной обработки, соответственно первому классу, или специальной. Система допусков и посадок на наших заводах приближается к германской системе DIN.

Сборка и испытание. Хотя ручная слесарная работа, вследствие сложности и большого числа разнообразных деталей, занимает много времени при сборке, но механизация всех работ, вследствие немассового характера производства, экономически себя не оправдала бы. Нек-рые ручные работы связаны с индивидуальной пригонкой деталей, напр. притирка пропеллерной втулки к носку вала, шабровка вкладышей по валу, притирка клапанов и др. Работа по сборке обычно ведется по узлам или группам деталей, на которых специализируются отдельные бригады сборщиков. Полная взаимозаменяемость требуется лишь от деталей, сменяемых в нормальных условиях эксплоатации; требование взаимозаменяемости некоторых собранных комплектов уменьшает производственные трудности, связанные с изготовлением совершенно взаимозаменяемых частей в пределах самого комплекта. Отдельные агрегаты, как напр. карбюраторы, помпы, самопуски, испытывают и прирабатывают отдельно, до постановки на мотор. На нек-рых з-дах отдельные собранные комплекты и детали перед постановкой их на мотор также проходят приработку, напр. комплект распределительного валика, комплект промежуточных передач, поршневые кольца и др. Эта приработка целесообразна, т. к. уменьшает длительность приработки мотора. Мотор после сборки проходит приработку при постепенно увеличивающихся скоростях, будучи приводим в движение от электромотора (напр. у Гном-Рон) или работая самостоятельно на станке. Число часов приработки—от 3 до 12. Конец приработки определяется установившимся режимом работы, постоянством $t°$ масла и главное опытом з-да. Испытание моторов с водяным охлаждением ведется на балансирных станках, с торможением толкающим винтом или мулинеткой, или гидравлическим тормозом Фруда (см. *Автомобильный двигатель*), Ранзи и др., реже торможением балансирной динамомашиной. На фиг. 14 дана схема передвижного балансирного станка для торможения моторов винтом или мулинеткой: *А*—ось качания



Фиг. 14.

люльки, совпадающая с осью винта, *Б*—грузы, уравновешивающие момент, опрокидывающий люльку, по которым определяется крутящий момент мотора, *В*—груз, уравновешивающий мотор относительно оси *А*, *Г*—груз, уравновешивающий веса рычагов. Выхлоп при работе на балансирных станках обычно свободный, причем для устранения влияния реакции выхлопа газов направление патрубков д. б. такое, чтобы момент от действия выхлопа относительно оси качания люльки был равен 0. При торможении гидравлич. тормозом, работающим бесшумно, обычно заглушают и выхлоп путем отвода газов в глушители через патрубки, охлаждаемые водой. Охлаждение масла при торможении мотора на станке достигается или пропусканием его через холодильник или обдувом нижнего картера специальным вентилятором. Моторы с воздушным охлаждением испытывают на специальных тормозах, производящих одновременно обдув цилиндров (Хенан-Фруде), или на гидравлич. тормозах с обдувом отдельным мощным вентилятором (завод Лорен), или с нагрузкой толкающим винтом в туннеле, причем подсасываемая струя воздуха производит интенсивное охлаждение цилиндров (з-д Гном-Рон). На фиг. 15 дана схема под-



Фиг. 15.

земной испытательной станции з-да Гном-Рон в Париже: *1*—лестница для персонала, *2*—подъемник для моторов, *3*—помещение для приработки моторов от электромоторов, *4*—испытуемый мотор, *5*—помещение для управления испытуемым мотором, *6*—канал для отвода воздуха, *7*—приспособления, заглушающие звук, *8*—здание мастерских з-да. Моторы малой мощности испытывают на передвижных балансирных станках лафетного типа. Для испытания высотных моторов применяется или испытание в полете или испытание в горах на большой высоте; высотные камеры с искусственным созданием разрежения и низкой $t°$ воздуха применяют лишь для исследовательских целей. После приработки (с разборкой или без нее) мотор подвергают испытанию в течение 3—5 ч. на «режимной» работе, после чего разбирают для осмотра и после сборки и контрольного 20-минутного испытания выпускают с з-да. Режим работы при 3-часовом испытании: 2 мин. на полной мощности, 30 мин. на номинальной мощности, 2 мин. в конце на максимальной мощности и остальное время на мощности, равной 0,9 номинальной. Числа об/м. берутся изменяющимися по кубич. параболе при изменении мощности, причем исходными являются номинальные мощность и числа об/м. при нормальных атмосферных условиях. Пересчет мощности, полученной при других атмосферных условиях, на нормальную производится по особой ф-ле или по графикам поправок. При серийной сдаче моторов один из моторов серии подвергается длительному испытанию в течение 50 или 100 ч.; испытание обычно разбивается на 5- и 10-часовые периоды, проводимые на режимах: 2 мин. вначале на максимальной мощности, затем 30 мин. на поминальной, 2 мин. на максимальной, остальное время на мощности, равной 0,9 номинальной. Условия испытания и обслуживания мотора при этом точно регламентируются соответствующими технич. условиями.

Лит.: I. Легкие алюминиевые сплавы для М. и производство литья: Пентон Э., Обработка алюминия и его сплавов, пер. с англ., М., 1929; Грард Г., Алюминий и его сплавы, пер. с франц., М., 1926; Клаус Б., Плавка цветных металлов и сплавов, Л., 1929; Вейнберг Г., Легкие алюминиевые сплавы, М.—Л., 1929; Технические условия по авто-авиапроизводству, Комиссии по стандартизации авто-авиаматериалов при Главметалле ВСНХ, Москва, 1927 и 1928, вып. 22, 23, 24, 25; то же, Комиссия по стандартизации авто-авиаматериалов при Комитете по стандартизации при СТО, М., 1929, вып. 112 и 113; «Техника воздушного флота», М.; Anderson R., The Metallurgy of Aluminium a. Aluminium Alloys, N. Y., 1925; «Journal of the Institut of Metals», L.; «Trans. of the Am. Foundrymen's Association», Chicago; «Trans. of the American Institute of Mining a. Metallurgical Engineers», New York; «Journal of the Society of Automotive Engineers», New York; «Automotive Industries», Philadelphia; «Automobile Engineer», L.; «The Foundry», Cleveland; «Ztschr. für Metallkunde», Berlin; «Revue de Métallurgie», P.—II. Легкие магниевые сплавы и отливка из них: Дзиган М., «Техника воздушного флота», М., 1927, *1*; Хрущов М., там же, 1930, *4*; Лавров, «Вестник металлопромышленности» М., 1928, *9* и *10*; Zann a. Winston, «I. Eng. Chem.», 1927, *10*; Player, «Automobile Engineer», L., 1929, *250*; Bonaretti, «L'Ala d'Italia», Milano, 1929.—III. Стальные поковки для авиамоторов: Минкевич Н., Авиационное материаловедение, т. 1, М.—Л., 1930; Judge A., Aircraft and Automobile Materials of Construction, v. 1, 2, L., 1920—21; Jenkin C., Report on Materials of Construction Used in Aircraft a. Aircraft Engines, London, 1920; «Техника воздушного флота», М.; «Вестник металлопромышленности», М.; иностр. журналы, указ. в п. 1, а также «Trans. of the American Society for Steel Treating», Cleveland; «The Journal of the Royal Aeronautical Society», L.; «Flight», L.; «Aero Digest», N. Y.; «Trans. of the American Society of Mechanical Engineers», N. Y.; «American Machinist», L.—IV. Механическая обработка деталей авиамоторов: Шейбе Х. и Тулошинский В., Современные рабочие приспособления, пер. с нем., М., 1926; «Техника возд. флота», М.; «American Machinist», L.; «Machinery», L.; «Automobile Engineer», L.; «Maschinenbau», B.; «Werkstattstechnik», B.; «Motorwagen», B.—V. Испытания моторов: Чудаков Е. А. и Хрущов М., Пособие для приемщиков по наблюдению за производством и приемкой авиационных моторов, М.—Л., 1929; «Техника возд. флота», М.; Judge A., The Testing of High Speed Internal Combustion Engines, L., 1924; «L'aéronautique», P.; «Motorwagen», B. **М. Хрущов.**

МОТОЦИКЛ, двухколесный механич. экипаж, движение к-рого совершается за счет работы установленного на нем двигателя внутреннего сгорания.

Классификация М. Все М. в зависимости от рабочего объема цилиндров двигателя внутреннего сгорания принято классифицировать на следующие группы. 1-й класс—рабочий объем цилиндров до 125 *см*³; к этому классу относится велосипед с «вспомогательным», обычно двухтактным, одноцилиндровым мотором. Мотор часто устанавливают на передней вилке. Передача от мотора к ведущему колесу при помощи ремня. 2-й класс—рабочий объем до 175 *см*³, легкий М., в большинстве случаев с двухтактным одноцилиндровым мотором, часто с двухскоростной коробкой перемены передач; привод к ведущему колесу ремнем. 3-й класс—рабочий объем до 250 *см*³, двигатель одноцилиндровый двух- или четырехтактный; М. лучших фирм имеют трехскоростную коробку и цепную передачу. 4-й класс—рабочий объем до 350 *см*³, в большинстве случаев двигатель одноцилиндровый преимущественно четырехтактный; трехскоростная короб-

ка и цепная передача. 5-й класс—рабочий объем до 500 *см*³, двигатель преимущественно одноцилиндровый четырехтактный, реже двухцилиндровый с цилиндрами, расположенными под углом 180°; трехскоростная коробка перемены передач; к ведущему колесу передача цепью, реже—карданным валом. 6-й класс—рабочий объем до 750 *см*³, двигатель обычно двухцилиндровый четырехтактный, коробка трехскоростная; передача—цепью или, реже, — карданным валом. 7-й класс—рабочий объем до 1 000 *см*³, двигатель обыкновенно двухцилиндровый; передача та же, что и у М. 6-го класса; реже—четырехцилиндровый четырехтактный двигатель и карданная передача. 8-й класс—рабочий объем более 1 000 *см*³, двигатель и передача того же типа, что и у М. 7-го класса. Кроме классификации по рабочим объемам цилиндров различают М. двух основных типов: для туризма и для спорта. М., предназначенные для туризма (дорожные), д. б. недороги в эксплоатации, удобны для езды, прочны и обладать относительно бо́льшим тяговым усилием. М. спортивного типа должны при том же рабочем объеме цилиндров обладать относительно большей мощностью мотора и большей максимальной скоростью. М. с рабочим объемом цилиндров не менее 350 *см*³ могут быть применяемы для езды с боковой коляской.

Рабочий баланс М. может быть представлен следующим уравнением:

$$N_e = N_r + N_f + N_l + N_s + N_j, \qquad (1)$$

где N_e—эффективная мощность двигателя, N_r—мощность, теряемая в передаче от двигателя к ведущему колесу, N_f—мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению М., N_l—мощность, расходуемая на преодоление сопротивления воздуха, N_s—мощность, используемая на подъем, и N_j—мощность, затрачиваемая на ускорение. Определение величин потерь мощностей производится в лабораториях, и при расчетах пользуются результатами этих испытаний. Разность $N_e - N_r = N_m$ дает мощность на ведущем колесе М.; механич. кпд (см. *Двигатели внутреннего сгорания*), т. е. $\eta = \frac{N_m}{N_e}$ зависит от рода передачи, тщательности выполнения деталей, их сборки и смазки; для большинства М. $\eta = 0{,}7 \div 0{,}8$. Обозначив силу сопротивления качению М. через $W_f = \mu G$ *кг*, где G—общий вес М. и водителя в *кг* и μ—общий коэф. трения качения М., получим

$$N_f = \frac{W_f \cdot v}{75} \text{ л. с.}, \qquad (2)$$

где v—скорость движения М. в *м/сек*. Сила сопротивления воздуха движению М. равна

$$W_e = kFv^2 \text{ кг},$$

где k *кг/м*²—коэфициент сопротивления воздуха, отнесенный к 1 *м*² лобовой площади М. при скорости движения 1 *м/сек*, F—лобовая площадь М. и водителя в *м*²; коэфициент сопротивления воздуха k зависит от формы М. и определяется опытным путем, обычно продувкой М. в аэродинамич. трубе. Мощность N_l, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха, будет равна

$$N_l = \frac{kF \cdot v^3}{75} \text{ л. с.} \qquad (3)$$

Сила, необходимая для преодоления подъема, равна $W_s = G \cdot \sin\alpha$ *кг*, где α—угол подъема пути; мощность

$$N_s = \frac{W_s \cdot v}{75} = \frac{G \sin\alpha \cdot v}{75} \text{ л. с.} \qquad (4)$$

Мощность N_j, затрачиваемая на ускорение движения М., расходуется на ускорение вращения отдельных частей механизма и на поступательное ускорение самого М.

$$N_j = \delta \frac{M \cdot j \cdot v}{75} = \delta \cdot \frac{G \cdot j \cdot v}{g \cdot 75} \text{ л. с.}, \qquad (5)$$

где суммарная поступательно движущаяся масса (М. и седока)

$$M = \frac{G}{g} \left[\frac{\text{кг сек}^2}{\text{м}}\right].$$

j—ускорение М. (*м/сек*²), g—ускорение силы тяжести (*м/сек*²); коэф-т δ учитывает влияние вращающихся частей М. На основании ур-ия (1) и полученных значений для мощностей, затрачиваемых на отдельные виды сопротивлений, получим

$$\eta N_e = \frac{G\mu \cdot v}{75} + \frac{kF \cdot v^3}{75} + \frac{G \sin\alpha \cdot v}{75} + \frac{\delta G}{75g} \cdot jv \text{ л. с.}, \qquad (6)$$

или

$$75\eta N_e = G(\mu + \sin\alpha)\, v + kFv^3 + \frac{\delta G}{g} j \cdot v \text{ кгм}. \qquad (7)$$

Средние веса, мощности двигателей и скорости М. различных классов даны в табл. 1.

Табл. 1.—Веса, мощности двигателей и скорости мотоциклов.

Класс	Вес, *кг*	Мотоцикл спортивн.		Мотоцикл дорожный	
		эффективн. мощность, л. с.	скорость, *км/ч*	эффективн. мощность, л. с.	скорость, *км/ч*
До 175 *см*³	60	5	60	3	50
» 250 »	80—100	8	80—90	4—6	70
» 350 »	100—120	12—15	110	8—10	85
» 500 »	120—150	16—18	125	10—12	100
» 750 »	140—160			15	100—110
» 1 000 »	170	25—30	140	18	120
С боков. коляск.:					
До 600 *см*³	230	22—25	110	14	85
» 1 000 »	280	25—30	120	18	100

Расположение центра тяжести и распределение веса. Для устойчивого движения М. необходимо иметь ц. т. его низко расположенным, что не должно осуществляться за счет ухудшения качества проходимости М.; поэтому все наиболее низко расположенные части машины должны находиться на высоте не менее 10 *см* от поверхности дороги, причем эта высота определяется при сжатом состоянии рессор. Ширина М. ограничивает угол возможного наклона М. при движении его по кривой, поэтому все выступающие вбок части д. б. так расположены, чтобы в самых невыгодных случаях не затруднять наклона М. до угла в 55°. Зависимость угла наклона β М. к горизонтали (при его движении по кривой) от веса, скорости и радиуса поворота определяется из соотношения:

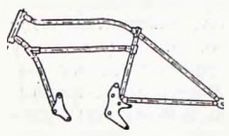
$$\operatorname{tg}\beta = \frac{G}{c} = \frac{G \cdot r}{Mv^2} = \frac{g \cdot r}{v^2},$$

где c—центробежная сила $= \frac{Mv^2}{r} = \frac{Gv^2}{gr}$ *кг*.

Угол β возможного наклона М. зависит также от следующих факторов: 1) от распределения веса М. на переднее и заднее колеса; вес М. д. б. так распределен, чтобы боковое скольжение у обоих колес начиналось в одно и то же время; во всяком случае боковое скольжение не должно начинаться у переднего колеса раньше, чем у заднего; обычно на переднее колесо приходится 0,4 общего веса G, на заднее $0{,}6G$; 2) от состояния дороги, напр. на мокром асфальте невозможно иметь сколько-нибудь значительного наклона М.; 3) от типа и состояния покрышек; для переднего колеса можно рекомендовать иметь покрышки с выступающими продольными линиями боковой и центровой дорожки (см. *Автошина*, фиг. 4); для заднего колеса целесообразно иметь протектор с боковой дорожкой такой же формы, как и у шины переднего колеса, и с центровой дорожкой, выполненной (для лучшего сцепления с полотном дороги) в виде выпуклого рисунка. При всех условиях необходимо, чтобы при движении М. по кривой никакого бокового скольжения не происходило, т. е. чтобы было соблюдено условие $\mu_1 G \geq c$, где μ_1—коэф. трения-скольжения; для сухой дороги $\mu = 0{,}25 \div 0{,}33$. М. дорожного типа должен конструктивно допускать повороты с радиусом кривизны 1—1,5 *м*.

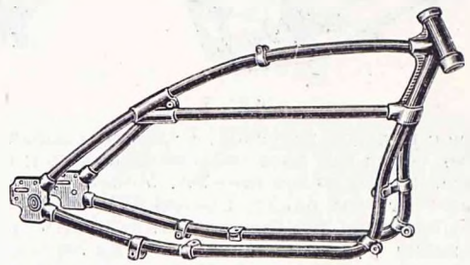
Рама М. служит для укрепления двигателя, механизма передачи и для установки ведущего и направляющего колес. Конструкция рамы должна удовлетворять требованиям прочности и доступности для осмотра всех механизмов. В настоящее время рамы конструируются преимущественно трубчатого типа и изготовляются из стальных труб. Все конструкции трубчатых рам можно разделить на следующие основные типы: 1) плоские закрытые, 2) плоские открытые и 3) двойные закрытые. Плоской называется такая рама, в к-рой оси верхней и нижней трубы, а также ось рулевой головки лежат в одной плоскости. Плоская закрытая рама (фиг. 1) находит применение для М. малой мощности, двигатель к-рых имеет небольшую высоту, и для нек-рых типов М. с двухцилиндровым горизонтально расположенным мотором. Мотор помещается внутри рамы, опираясь на нижнюю трубу, и прикрепляется болтами к специальным фасонным частям, охватывающим трубу рамы, к к-рой они привариваются или припаиваются. Недостатком плоской закрытой рамы является ограниченность пространства для установки

Фиг. 1.



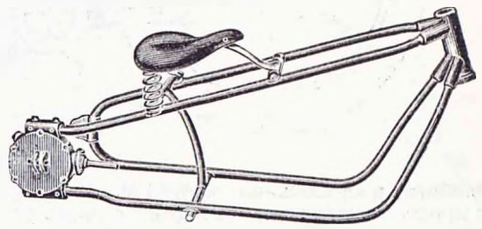
Фиг. 2.

мотора и механизмов и недостаточная жесткость рамы; кроме того, помещая мотор между верхней и нижней трубой рамы, невозможно получить ц. т. всего М. расположенным достаточно низко. Открытая рама (фиг. 2), отличительным признаком к-рой является введение в ее конструкцию картера двигателя, хотя и дает возможность расположить двигатель относительно значительно ниже, благодаря чему понижается ц. т. М., но в то же время подвергает картер двигателя дополнительным напряжениям, что не м. б. признано рациональным. Для лучшего укрепления двигателя нижние открытые концы рамы обычно снабжают серповидными фасонными частями, к-рые охватывают картер двигателя и к к-рым последний прибалчивается. Еще недавно этот тип рамы имел широкое распространение у М., имеющих двигатели относительно большой высоты. В настоящее время этот тип рам почти вышел из



Фиг. 3.

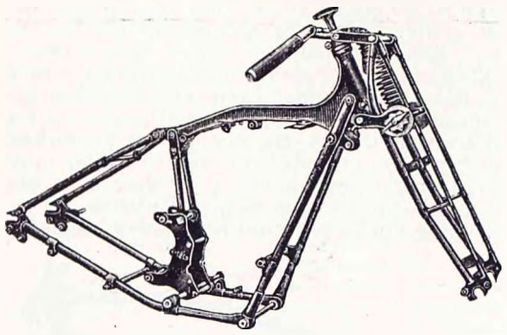
употребления. Наиболее распространенным типом являются трубчатые двойные закрытые рамы (фиг. 3). Преимуществом этого типа рам является рациональное расположение двигателя, для к-рого две нижние трубы рамы служат удобной опорой, причем картер двигателя может висеть между обеими нижними трубами. В последних моделях этого типа (как на фиг. 3) седельная труба отсутствует, и седло укрепляют на верхних трубах. Стремление придать раме наиболее простое и удобное очертание и расположить



Фиг. 4.

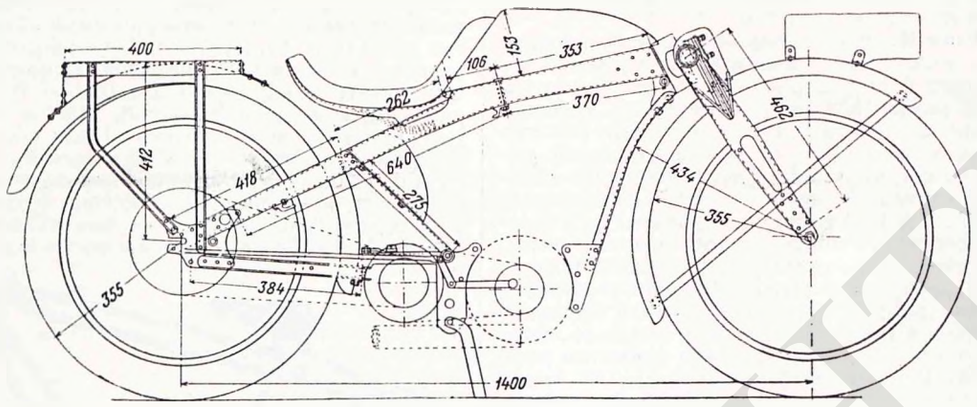
седло возможно ниже привело к конструкции рамы, в к-рой верхняя часть выполнена в виде двух труб, наклонно расположенных так, что переход от рулевой головки к опорам задней оси совершается плавно, без заметных изгибов. Примером может служить рама М. BMW (фиг. 4). В отдельных конструкциях двойных рам, для наиболее удобной установки мотора и механизма передач, нижнюю часть рамы выполняют в виде прессованной из листовой стали траверсы. В последнее время нек-рые з-ды, не изменяя общего очертания двойной трубчатой рамы, в целях достижения наибольшей прочности начинают отдельные трубы заменять штампованными деталями и снабжать раму фасонными частями, к к-рым наиболее удобно можно прикреплять двигатель и механизмы передачи. Примером такой рамы может служить тип

рамы англ. М. BSA (фиг. 5), в к-рой верхняя труба заменена штампованной деталью двутаврового сечения, составляющей одно це-



Фиг. 5.

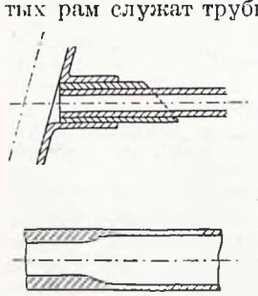
лое с рулевой головкой. Рулевая головка у всех типов рам расположена наклонно к горизонту под углом 58—70°. У большинства рам этот угол наклона равен 65°. Наряду с трубчатыми рамами начинают находить применение рамы, штампованные из листовой стали; примером может служить рама М. Неандер (фиг. 6); преимуществом их является



Фиг. 6.

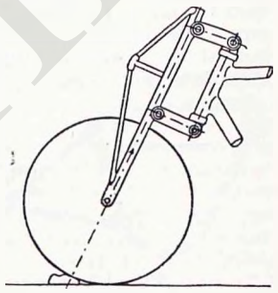
удобство расположения частей М., прочность и простота изготовления. Конструкции рам, отлитых и штампованных из легких сплавов, находятся в стадии опытного строительства.

Материалом для изготовления трубчатых рам служат трубы из стали с содержанием углерода 0,2—0,3%, времен. сопротивление на разрыв 50 *кг/мм*² и относительное удлинение до 20—30%; эти трубы хорошо свариваются и хорошо спаиваются. Трубы из стали с содержанием углерода 0,3—0,5% имеют удлинение 12% и допускают лишь пайку. Отдельные трубы рамы работают не только на растяжение и на сжатие, но также и на изгиб. Наиболее напряженные части труб усиливают вставкой внутрь трубы стержня (бужа) или надевая на основную трубу отрезок трубы и пропаивая соединение (фиг. 7); для этой же цели изготовляют специальные трубы с утолщенными стенками у концов трубы. Соединительные фасонные части для маломощных М. штампуются из листовой стали и свариваются; для М. большей мощности все фасонные части д. б. откованы, за исключением рулевой головки, к-рую в виду сложности очертания выполняют также литой из стали. Расчет на прочность рамы обычно не производится. Отдельные размеры рамы и ее конструкция вырабатываются на основе производственного и эксплоатационного опыта.



Фиг. 7.

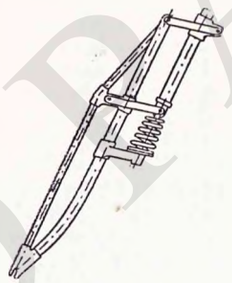
Передняя вилка служит опорой для переднего «направляющего» колеса. Все толчки и удары от неровностей дороги, действующие на колесо, воспринимаются вилкой, и последняя д. б. так сконструирована, чтобы воспринятые удары смягчались и по возможности не передавались раме М. Вилки велосипедного типа для М. не применяют, и все современные конструкции мотоциклетных вилок предусматривают наличие рессоры (пружины) для амортизации толчков. Т. к. направление силы удара всегда наклонно (фиг. 8), то для уменьшения изгибающего действия ударной силы целесообразно и вилку располагать также с наклоном под углом ~65°. По конструктивному выполнению все вилки можно разделить на следующие основные типы. 1) Вилки, полностью амортизирующие силу удара, направленного только по одному определенному направлению, параллельному оси рулевой головки рамы. В этих конструкциях вилка, выполненная для увеличения ее прочности, обычно в виде треугольной фермы, соединена с рулевой головкой рамы при помощи двух шарнирных параллелограмов (фиг. 9), так что может перемещаться, сжимая пружину только параллельно оси рулевой головки. Простая по



Фиг. 8.

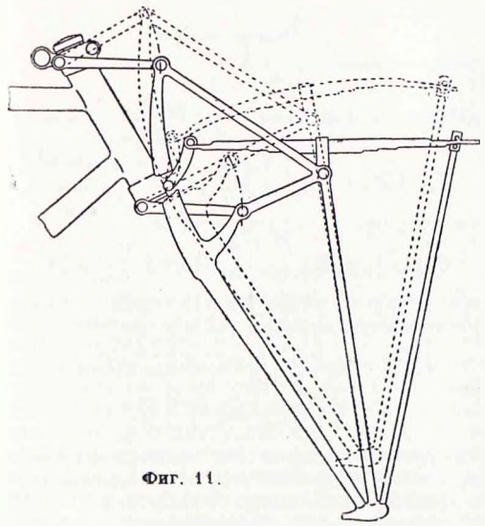
выполнению вилка этой конструкции, так же как и аналогичная ей по конструкции вилка, изображенная на фиг. 10 и 5, имеют тот недостаток, что сила удара, направленная по какому-либо направлению, отличному от направления оси рулевой головки рамы, дает горизонтальную или вертикальную составляющую, к-рая не будет амортизирована пружиной и целиком, как ударная нагрузка, передается раме М. К этому же типу вилок относится и конструкция, изображен-

Фиг. 9.



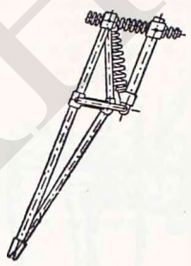
Фиг. 10.

ная на фиг. 11, в к-рой применением плоской рессоры достигнута значительно лучшая амортизация. Для того чтобы плоская рессора, изгибаясь при работе, могла изменять свою длину, конструкция предусматривает перемещение переднего конца рессоры между двумя роликами; задний конец связан с серьгою. 2) Вилки, поглощающие удар, направленный под любым углом: в этих конструкциях систему рессорных пружин стремятся так расположить, чтобы поглощать составляющие силы удара, направленные параллельно оси рулевой головки и перпендикулярно к ней. Примером такой вилки служит вилка Брамптон (фиг. 12), в к-рой одна

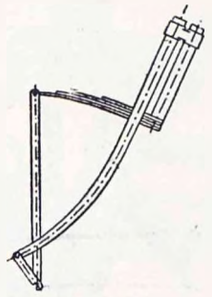


Фиг. 11.

из сторон шарнирного параллелограма заменена пружиной. Общим недостатком рассмотренных конструкций является относительно большой вес неподрессоренной части вилки. 3) Вилки, имеющие на концах качающиеся рычаги-коромысла (фиг. 13), служащие опорой для оси колес, имеют значительно меньший вес неподрессоренной части. Сила удара благодаря наличию коромысла, свя-

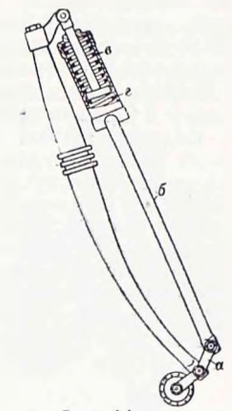


Фиг. 12.



Фиг. 13.

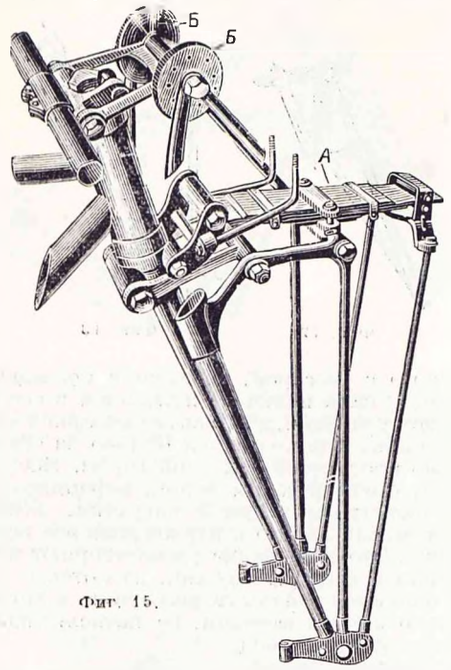
занного с рессорой, передается последней, поэтому сама вилка не нуждается в специальном усилении, как в вышеописанной конструкции, и выполняется обычно из специально протянутой стальной трубы. Необходимо, чтобы рессоры вилок, деформируясь под действием ударной нагрузки, плавно возвращали колесо в первоначальное положение. Это требование удовлетворяют применением системы пружин, из которых одни являются главными рессорами, а другие только амортизаторами, не позволяющими вилке приходить под действием главн. рессоры в колебательное движение. Примером такой конструкции служит вилка Хендерсон (фиг. 14) и Харлей Давидсон (фиг. 16); при ударе колесо повернет коромысло *а*, подвижная вилка *б* переместится и сожмет главную пружину *в*, при этом вспомогательная пружина *г* удлинится и при обратном движении затормозит действие пружины *в*, чем и будет достигнута амортизация колебаний. Для этой же цели применяются амортизаторы, действие которых основано на поглощении энергии колебаний энергией силы трения самого амортизатора. Для иллюстрации на фиг. 15 представлено изображение вилки М. Монгомери (Montgomery) с плоской рессорой *А*; вилка снабжена амортизаторами *Б*.



Фиг. 14.

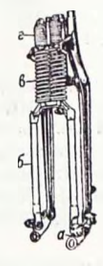
В последнее время трубчатые вилки начинают заменять вилками, откованными или штампованными из стали. Примером может служить вилка Харлей Давидсон (модель 1930 г.), откованная из стали, имеющей двутавровое сечение (фиг. 16). Примером вилки, штампованной из листовой стали, служит вилка Неандер (фиг. 17), снабженная двумя плоскими рессорами; при работе вилка поворачивается вокруг шарнира *а*, так что опора *б* оси колеса может перемещаться на 20 *мм* в обе стороны от положения оси вилки

в состоянии покоя. Для обеспечения долговечной работы пружин вилки, необходимо предусмотреть предохранение пружин от загрязнения и обеспечить хорошей смазкой. В этом смысле конструкции, изображенные на фиг. 14 и 17, являются наиболее совершенными, как позволяющие поместить пружину в соответствующие картера.

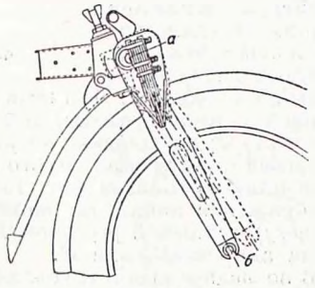


Фиг. 15.

Подвеска заднего колеса. Практика показала, что рессорная подвеска заднего колеса часто приводит к ухудшению ездовых качеств М., не улучшая заметно удобств сидения для водителя. Поэтому в настоящее время рессорная подвеска почти не применяется, тем более что применение баллонных покрышек значительно улучшило удобства езды. Примером рессорной подвески заднего колеса может служить конструкция, изобра-



Фиг. 16.



Фиг. 17.

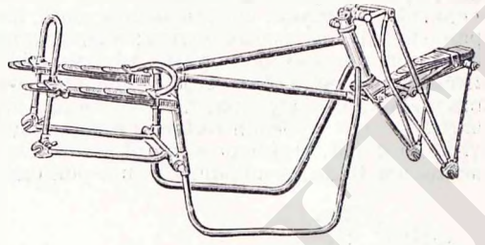
женная на фиг. 18, в к-рой задняя вилка шарнирно соединена с рамой и опирается на две плоские рессоры.

Двигатель. Для М. применяются гл. обр. одноцилиндровые и двухцилиндровые моторы, четырехтактные и двухтактные. Только отдельные фирмы ставят четырехцилиндровые моторы, еще реже применяют пятицилиндровые моторы (последние только ротационного типа, устанавливаемые непосредственно в колесе, напр. на мотоцикле Megola). Наиболее распространенное соотношение между литражем, т. е. рабочим объемом цилиндров двигателя, диаметром цилиндра и ходом поршня дано в табл. 2.

Табл. 2.—Литраж, диаметр цилиндра и ход поршня.

Число цилиндров	Литраж двигателя в см³	Диам. цилиндра в мм	Длина хода поршня в мм
1	175	55—60	62— 74
1	250	60—55	75— 88
1	350	70—75	79— 91
1	500	75—85	88—113
2	750	70—75	85— 98
2	1 000	75—85	88—113
2	1 200	80—85	105—120
4	1 300	55—60	115—137

Цилиндры одноцилиндрового мотора располагают либо вертикально либо наклонно. Двухцилиндровые моторы имеют преимущественно **V**-образное расположение цилиндров, как наиболее удобное для установки на мотоциклетную раму обычной формы. По сравнению с одноцилиндровым мотором двухцилиндровый **V**-образный мотор с углом в 90° между цилиндрами имеет бо́льшую равномерность крутящего момента и лучшее уравновешивание сил инерции частей мотора (см. *Динамика поршневых двигателей*). Для первого цилиндра **V**-образного двухцилиндрового двигателя с углом между цилиндрами равным 90° сила инерции


Фиг. 18.

$$I_1=\left(M_1+M_2\frac{L-l}{L}\right)\frac{v^2}{R}\left(\cos\alpha\pm\frac{R}{L}\cos 2\alpha\right).$$

для второго цилиндра сила инерции

$$I_2=\left(M_1+M_2\frac{L-l}{L}\right)\frac{v^2}{R}\left(\sin\alpha\pm\frac{R}{L}\cos 2\alpha\right);$$

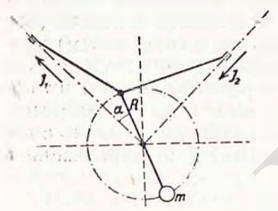
следовательно равнодействующая сил инерции первого порядка равняется

$$\left(M_1+M_2\frac{L-l}{L}\right)\frac{v^2}{R}\sqrt{\cos^2\alpha+\sin^2\alpha}=$$
$$=\left(M_1+M_2\frac{L-l}{L}\right)\frac{v^2}{R}$$

и будет направлена по радиусу кривошипа, почему и может быть легко уравновешена противовесом с массою m (фиг. 19). Равнодействующая сил инерции второго порядка будет равна

$$\left(M_1+M_2\frac{L-l}{L}\right)\frac{v^2}{R}\sqrt{\frac{2R^2}{L^2}\cos^2 2\alpha}=$$
$$=\sqrt{2}\left(M_1+M_2\frac{L-l}{L}\right)\frac{v^2}{R}\frac{R}{L}\cos 2\alpha$$

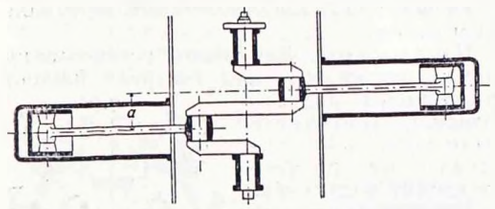
й будет направлена всегда горизонтально. При угле между осями цилиндра в 60° или 45° влияние сил инерции ухудшается, но зато двигатель требует меньшего места для его установки на раму. **V**-образное расположение цилиндров дает возможность осуществить конструкцию коленчатого вала и систему распределения наиболее простыми. Двигатель с двумя рядом стоящими цилиндрами, вертикально расположенными, и коленчатым валом, колена которого повернуты одно по отношению другого на угол 180°, находят малое применение из-за менее удобной их установки на раме мотоцикла; преимуществом этого типа моторов является возможность легко осуществить механизм распределения с верхним кулачковым валом и достигнуть относительно более совершенного охлаждения цилиндров при поперечном расположении оси вала двигателя к плоскости рамы М. В отношении уравновешивания сил инерции этот тип двигателя значительно совершеннее одноцилиндрового, а именно: равнодействующая ΣI сил инерции I обоих цилиндров равняется:



Фиг. 19.

$$\sum I=\left(M_1+M_2\frac{L-l}{L}\right)\frac{v^2}{R}\left[\cos\alpha\pm\frac{R}{L}\cos 2\alpha+\right.$$
$$\left.+\cos(180^\circ+\alpha)\pm\frac{R}{L}\cos 2(\alpha+180^\circ)\right]=$$
$$=\pm 2\left(M_1+M_2\frac{L-l}{L}\right)\cdot\frac{v^2}{R}\cdot\frac{R}{L}\cos 2\alpha.$$

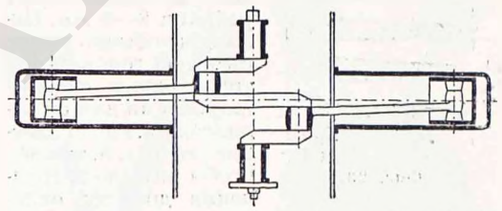
Равнодействующие сил инерции $\Sigma E=0$, но силы инерции I и E дают две пары сил, действующие на двигатель. Наиболее совершенными в смысле уравновешивания сил инерции нужно признать двухцилиндровые двигатели с горизонтально расположенными цилиндрами и с коленчатым валом, колена к-рого повернуты под углом 180° друг к другу (фиг. 20). В каждом положении коленчатого вала силы инерции I обоих цилиндров равны между собою и направлены противоположно друг другу, так что, если оба цилиндра имеют одну общую ось, то силы инерции I взаимно уравновешивают друг друга. Так как обычно оси цилиндров не совпадают, то под действием сил I на двигатель будет действовать пара сил

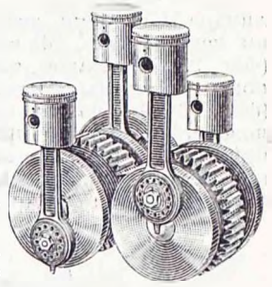


Фиг. 20.

$$I\cdot a=\left(M_1+M_2\frac{L-l}{L}\right)\frac{v^2}{R}\left(\cos\alpha\pm\frac{R}{L}\cos 2\alpha\right)a,$$

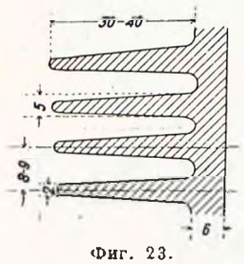
где a—расстояние между осями цилиндров. Стремление избежать действия указанной пары сил привело к осуществлению горизонтального расположения цилиндров по одной общей оси, напр. двигатель Марс (фиг. 21). Такое расположение цилиндров достигается за счет несимметричного расположения головок шатуна и небольшого наклона оси тела шатуна. Горизонтальное расположение цилиндров значительно уменьшает размер двигателя по высоте и понижает ц. т. двигателя, что также нужно отнести к преимуществам двигателя этого типа. На раму М. двигатель устанавливается или так, что оси цилиндров расположены в направлении движения М. (М. сист. Дуглас, Марс, Виктория и др.) или же оси цилиндров располагают перпендикулярно направлению движения М. (напр. М. BMW). Последнее расположение мотора на раме М. особенно удобно при карданной передаче к ведущему колесу и дает хорошее обтекание цилиндров током охлаждающего воздуха. 4-цилиндровые моторы (см. *Автомобильный двигатель*), хотя дают по сравнению с 2-цилиндровыми более равномерный ход, но из-за большого размера и связанных с этим затруднений в его расположении на раме М. применяются редко. Расположение цилиндров почти всегда в ряд и в направлении движения М., поэтому при 4-цилиндровом моторе целесообразно иметь передачу на ведущее колесо при помощи *карданного вала* (см.). В самое последнее время появились М. с 4-цилиндровыми моторами, цилиндры к-рых попарно расположены в два ряда, каждая пара имеет свой коленчатый вал; коленчатые валы связаны между собой зубчатою передачей (фиг. 22).


Фиг. 21.

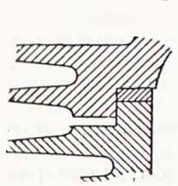

Фиг. 22.

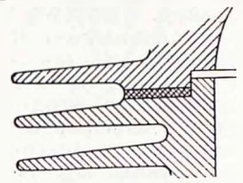
Все двигатели мотоциклетного типа нужно отнести к быстроходным двигателям. Нормальное число оборотов обычно 3 000—4 000 об/м. Степень сжатия ε (см. *Двигатели внутреннего сгорания*) не менее 4,5, обычно 5—6. Нек-рые фирмы предусматривают возможность изменять по желанию степень сжатия, для чего служит набор металлич. прокладок, подкладываемых под фланец цилиндра, благодаря чему цилиндр устанавливается немного выше, и объем камеры сжатия увеличивается; так напр., фирма Харлей—Давидсон предлагает для двухцилиндровых машин набор прокладок толщиною $\frac{1''}{64}$, $\frac{1''}{32}$, $\frac{1''}{16}$, $\frac{3''}{32}$, причем более двух прокладок не ставят.

Система охлаждения. В подавляющем большинстве случаев для мотоциклетных двигателей применяется воздушная система охлаждения, для чего цилиндры снабжаются ребрами. Ребра отливаются как одно целое с цилиндрами (фиг. 23) и имеют высоту 30—40 *мм*, толщину у основания 5—6 *мм*, на конце—2 *мм*; расстояние между ребрами 8—9 *мм*. Цилиндры обычно имеют съемную головку, которая также снабжена ребрами для ее охлаждения. Расположение ребер д. б. таково, чтобы не было затруднения доступу охлаждающему току воздуха, поэтому для вертикально или наклонно стоящих цилиндров ребра обычно выполняют горизонтальными. Цилиндры, горизонтально расположенные, снабжают вертикальными ребрами, причем для горизонтальных цилиндров, которые расположены поперек рамы, плоскость ребер цилиндров перпендикулярна оси цилиндров. Герметичность стыка ци-



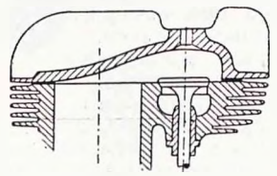
Фиг. 23.


Фиг. 24.


Фиг. 25.

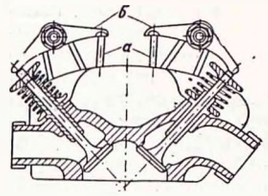
линдра и головки достигается применением медных (фиг. 24) или медно-асбестовых (фиг. 25) прокладок, точной пришлифовкой поверхности стыка или пригонкой на конус (фиг. 26). Форма головки зависит от расположения клапанов: при нижних клапанах применяют головку типа «Рикардо» (фиг. 27), при верхнем расположении клапанов легко осуществляется сферич. форма камеры сжа-

Фиг. 26.

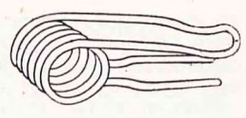

Фиг. 27.

тия; головка имеет каналы для поступления горючей смеси и для выпуска сгоревших газов (фиг. 28). Необходимо предусмотреть равномерность нагрева головки, чтобы не получить ее перекоса, могущего нарушить герметичность соединения; поэтому для более интенсивного охлаждения части головки у выпускного клапана ребрами снабжают также и часть выпускной трубы. Недостатком головки с верхними клапанами является ее относительно большая высота, поэтому целесообразно взамен обычных спиральных клапанных пружин применять пружины специальной формы, изображенные на фиг. 29, работающие не на сжатие, а на скручивание. Этот тип клапанных пружин допускает уменьшение необходимой высоты головки, и в то же время в значительно меньшей степени подвергается нагреванию.

Расположение клапанов. По расположению клапанов различают цилиндры: 1) с нижними клапанами, расположенными с одной стороны (фиг. 27), 2) с висячими (верхними) клапанами, расположенными в головке (фиг. 28) и 3) с одним нижним (выпускным) и одним верхним (впускным) клапаном. Нижние клапаны приводятся в действие толкателями, к-рые опираются на кулачки распределительного вала. Верхние клапаны приводятся в действие обычно с помощью штанги (стержня) *а* и коромысла *б*

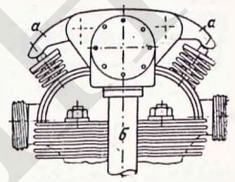


Фиг. 28.


Фиг. 29.

(фиг. 28). Эта конструкция является наиболее распространенной и работает удовлетворительно при числе оборотов мотора не выше 4 000 об/м. Необходимо предохранять систему от загрязнения. Для двигателей с большим числом оборотов коромысла *б* устанавливают на роликовых или шариковых подшипниках. Для спортивных машин привод в действие верхних клапанов часто осуществляют от верхнего кулачкового вала, через коромысла *а,а* (фиг. 30), к-рый в свою очередь получает вращение от промежуточного вертикального распределительного вала *б*. Значительно реже применяется привод к клапанам от двух кулачковых валов, которые расположены сверху и приводятся во вращение одним промежуточным вертикальным валом.

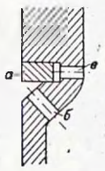
Цилиндры. Для точной установки цилиндра на картер предусмотрено наличие у цилиндра под его фланцем центрирующего кольцевого выступа, к-рый при сборке входит в отверстие картера соответствующего размера. Цилиндр прибалчивается за фланец к картеру при помощи 3—6 шпилек, ввернутых в тело картера. Под фланец для герметичности обычно подкладывается прокладка. Съемная головка, к-рая также имеет центрирующий кольцевой выступ, крепится к цилиндру на шпильках; часто головка к цилиндру и цилиндр к картеру крепятся общими болтами соответственной длины. Цилиндры отливаются из чугуна или легких сплавов. Современная техника литья дает достаточно чистые поверхности отливки, так что цилиндры не требуют наружной обработки поверхности ребер. Цилиндры, отлитые из легких сплавов, обладают лучшей теплопередачей, но рабочие их поверхности быстрее изнашиваются. Стремление улуч-



Фиг. 30.

шить теплоотдачу привело к отливке цилиндров из чугуна и снабжению их ребрами из более теплопроводных металлов, однако этот тип цилиндров распространения не получил, т. к. соединение ребер с цилиндром никогда не будет так совершенно, как при отливке из одного материала, поэтому места стыков ребер ухудшают теплопередачу. Значительно реже изготовляют цилиндры мотоциклетного двигателя из стали, т. к. изготовление последних значительно удорожает стоимость всего двигателя. Головки цилиндров также отливают из чугуна или легких сплавов; последние по сравнению с первыми имеют значительно лучшую теплоотдачу, но благодаря относительно большему коэф-ту термич. расширения ведут к более быстрому нарушению герметичности соединений; при передаче движения к верхним клапанам через штангу и коромысло от кулачкового валика, расположенного снизу, относительно большое расширение головки из легкого сплава при ее нагревании приводит к значительному увеличению зазора у толкателя и к стуку клапанов при работе мотора. Гнездо клапана при головках из легких сплавов выполняют из бронзы, имеющей одинаковый с головкой коэф. термич. расширения; гнездо укрепляется на нарезке, впрессовывается или заливается.

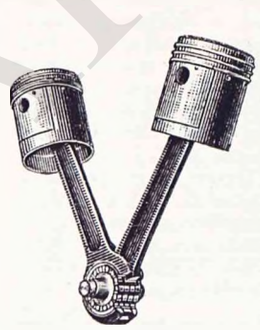
Поршень двигателя М., в целях уменьшения влияния сил инерции и улучшения теплопередачи, выполняют из легких сплавов. Поршень двигателя с воздушным охлаждением подвергается большим температурным колебаниям по сравнению с поршнем двигателя, имеющего водяное охлаждение; это обстоятельство д. б. принято во внимание при определении размеров поршня. Зазор между поршнем и поверхностью цилиндра выполняют 0,2—0,3 *мм*; выше поршневых колен, учитывая более сильное нагревание дна поршня, диам. последнего выполняют на 0,4—0,5 *мм* меньше диаметра цилиндра. Для того чтобы при указанных зазорах поршень не бил о стенки цилиндра при холодном состоянии двигателя, необходимо длину поршня делать больше его диаметра. Поршень для герметичности снабжают двумя-тремя поршневыми кольцами, расположенными выше поршневого пальца. Т. к. прочность легких сплавов при сильном нагреве значительно уменьшается, то для уменьшения износа кольцевых канавок поршня от ударов колец зазор между кольцом и канавкой выполняют $\leqslant 0{,}03$ *мм*. В связи с относительно большей темп-рой поршня, при воздушном охлаждении двигателя необходимо иметь более обильную смазку цилиндров и принять меры к тому, чтобы избыток масла не попадал в камеру сжатия; для этой последней цели применяют специальное маслособирательное кольцо *а*, которое располагают ниже поршневого пальца; под кольцом протачивают канавку для масла; собранное масло из канавки выталкивается через высверленные отверстия

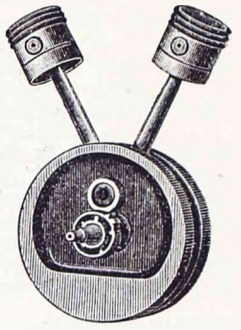


Фиг. 31.

Фиг. 32.

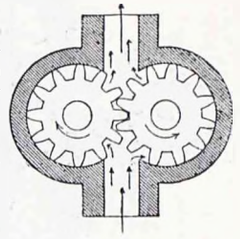
б (фиг. 31); для того чтобы в зазоре между этим поршневым кольцом и дном его канавки не образовалось давление масла, целесообразно кольцевую канавку снабдить сверленными отверстиями *в*. Дно поршня в зависимости от степени сжатия и расположения клапанов выполняют плоской или выпуклой формы. Тело поршня—обычно цилиндрич. формы; также находят широкое применение поршни с частично вырезанным цилиндрич. телом (фиг. 32).


Фиг. 33.


Фиг. 34.

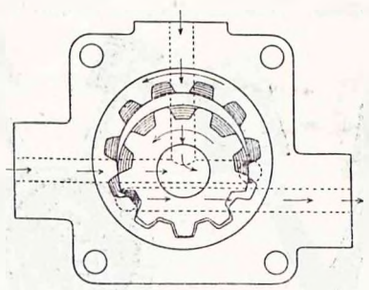
Шатун изготовляют из хромоникелевой стали, из алюминиевых и магниевых сплавов. Ограниченность места затрудняет применение скользящих подшипников, поэтому широко применяют роликовые подшипники и головки шатуна выполняют без съемной крышки. При **V**-образном расположении цилиндров один из шатунов часто имеет вилкообразную головку, внутри к-рой располагается головка второго шатуна (фиг. 33). Тело шатуна выполняют круглого или чаще двутаврового сечения. Отношение длины L шатуна к радиусу R кривошипа равно ~ 3,5.

Коленчатый (кривошипный) вал, как для одноцилиндрового, так и для двухцилиндровых двигателей, выполняют обыкновенно разъемным, состоящим из двух дисков маховиков с противовесами, соединенных между собой кривошипом, к-рый укрепляется на конусе. Коренные шейки либо впрессовываются либо также укрепляются на конусе. Общий вид кривошипного вала **V**-образного двухцилиндрового двигателя представлен на фиг. 34.


Фиг. 35.

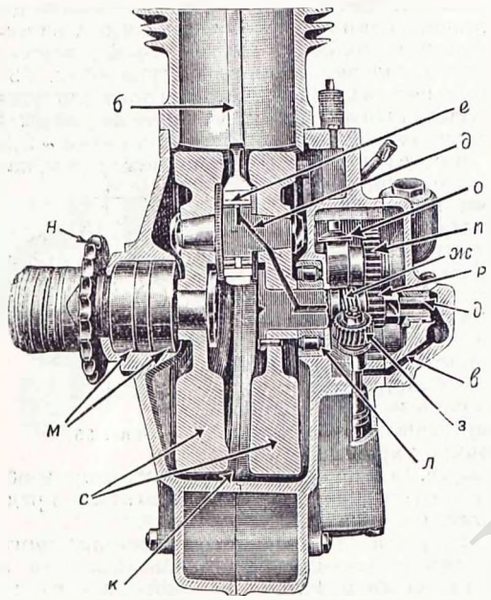
Смазка современного мотоциклетного двигателя смешанная: разбрызгиванием и под давлением. Ручной масляный насос служит вспомогательным прибором. Масляные насосы коловратного типа (шестеренчатые) с шестернями наружного (фиг. 35) или внутреннего зацепления (фиг. 36) приводятся в действие шестернями от коленчатого вала. Также находят применение бесклапанные приводные поршневые насосы. Необходимо предусмотреть возможность регулировки подачи масла. На фиг. 37 и 38 даны разрезы одноцилиндрового двигателя BSA (модель 1930 г.). Алюминиевый картер этого двига-

теля, состоящий из двух половин, со стыком в вертикальной плоскости, имеет две камеры *аа*, служащие резервуарами для масла. К роликовому подшипнику *е* нижней головки шатуна *б* масло подается насосом *г* по каналам *в* через высверленные в шейках вала и в маховике каналы *д*. Насос приво-



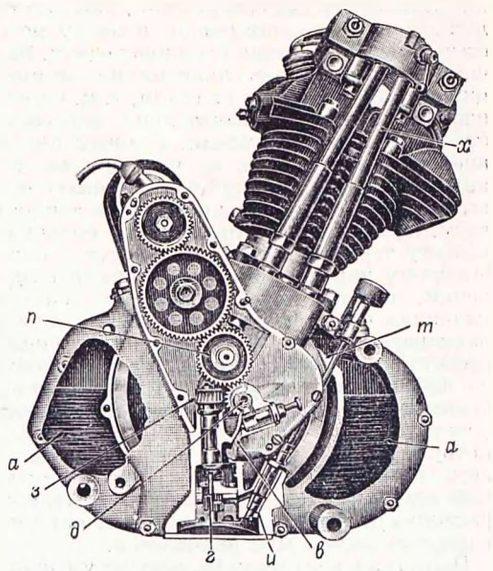
Фиг. 36.

дится в действие от червяка *жс*, находящегося в зацеплении с червячной шестерней *з*, сидящей на валу масляного насоса. Количество поступающего в насос масла регулируется иглой *и*, при помощи к-рой можно изменять сечение маслопровода. Диски (маховики) *с* кривошипного вала, будучи погружены на 3—4 *мм* в масло, находящееся в картере *к*, разбрызгивают масло, благодаря чему осуществляется смазка цилиндров и коренных подшипников: роликового *л* и комбинированных шарико-роликовых подшип-



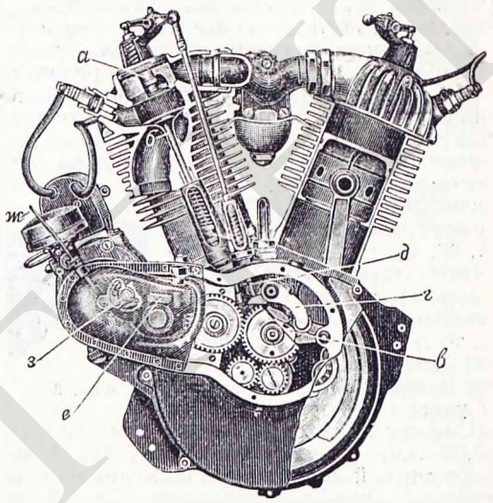
Фиг. 37.

ников *м*, коренной шейки, на конце которой насажена цепная шестерня *н*. Избыток масла от разбрызгивания улавливается маслоуловителем *т* и поступает обратно в камеру *а*. Цилиндр имеет верхнее расположение клапанов, к-рые приводятся в действие через толкатели *о* и стержни *х* от кулачкового вала, связанного распределительной шестерней *п* с распределительной шестерней *р*, сидящей на валу кривошипа. На фиг. 39 дан разрез двухцилиндрового V-образного двигателя Харлей Давидсон. Цилиндры со съемными головками расположены под углом 45°. Всасывающие клапаны *а*—верхние, вы-



Фиг. 38.

пускные *б*—нижние. Привод к клапанам—от распределительного вала *в*, кулачки которого поворачивают коромысла *г* толкателей *д*; смазка от механич. насоса *е*, регулировка смазки автоматическая, т. е. подача масла в двигатель увеличивается и уменьшается соответственно увеличению или уменьшению числа оборотов. Автоматичность регулиров-

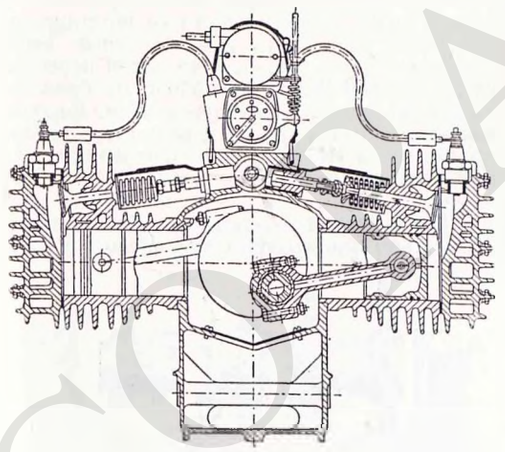


Фиг. 39.

ки смазки достигается соединением троса, управляющего дроссельной заслонкой карбюратора (см. *Карбюраторы*), с тросом *жс*, связанным с эксцентриком *з* регулятора насоса. В качестве примера двигателя с горизонтально расположенными цилиндрами на

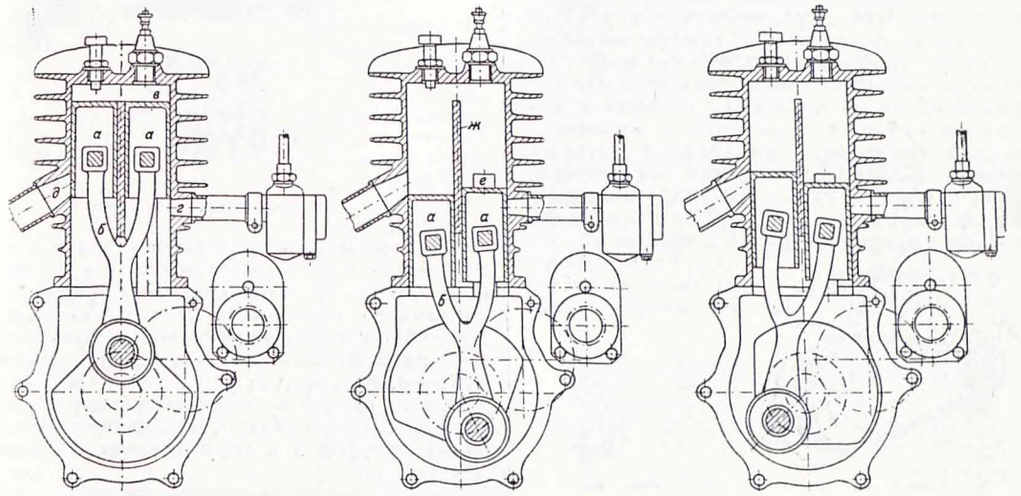
фиг. 40 дан разрез двигателя BMW, конструкция к-рого ясна из чертежа.

Двухтактные двигатели. Оригинальная конструкция двухцилиндрового двухтактного двигателя Пух изображена на фиг. 41. Два поршня *а*, связанные между собой общим шатуном *б*, работают в двух цилиндрах, имеющих общую камеру сжатия *в*.



Фиг. 40.

Тело шатуна выполнено вилчатой формы. Свежая рабочая смесь поступает через окно *г* в полость цилиндров, лежащую под поршнями; отработавшие газы выдуваются через окно *д*; засосанная рабочая смесь сжимается при движении поршней вниз и поступает в рабочее пространство цилиндров через окно *е*. Высокая, разъединяющая цилиндры, стен-



Фиг. 41.

ка *жс* предохраняет вдуваемую свежую смесь от смешения со сгоревшими газами и обеспечивает хорошую продувку двигателя. В верхней мертвой точке оба поршня стоят на одной высоте, при вращении кривошипного вала левый поршень обгоняет в своем движении правый поршень и открывает выпускное окно раньше, чем правый поршень открывает впускное окно, так что главная масса отработавших газов выпускается из цилиндров раньше поступления свежей смеси. В нижней мертвой точке оба поршня снова станут на одну высоту. При обратном движении поршней кверху левый поршень снова обгоняет правый, так что впускное окно *е* останется еще открытым, тогда как выпускное уже будет закрыто. Благодаря указанному движению поршней получается хорошая продувка и наполнение цилиндров. Для небольших мощностей этот тип двигателя хорошо себя зарекомендовал. Но для больших мощностей силы инерции спаренных поршней значительно понижают хорошие качества этого двигателя.

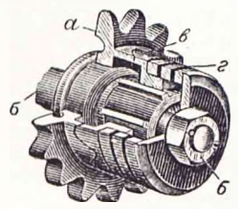
Зажигание осуществляется или от *магнето* (см.), или от магнето-динамо, служащего и для зажигания и для освещения, или от динамо-генератора, который питает аккумулятор, служащий и для освещения и для зажигания от бабины, причем прерыватель и распределитель тока имеются на генераторе.

Карбюраторы для М. в своей основе не отличаются от карбюраторов автомобильных двигателей (см. *Карбюраторы*).

Передача к заднему колесу. От двигателя к коробке скоростей передача осуществляется при помощи зубчатых колес или роликовой цепью. От коробки скоростей к ведущему колесу применяют ременную, цепную или карданную передачу. Ременная передача является наиболее эластичной, при внезапном изменении крутящего момента ремень пробуксовывает и тем самым предотвращает вредное действие ударной нагрузки. Недостатком ременной передачи для М. является скольжение ремня при сырой погоде, благодаря чему исключается возможность пере-

дачи ремнем б. или м. больших крутящих моментов, поэтому ременную передачу применяют у маломощных М. Ремень (кожаный или резиновый) изготовляют трапецоидального (клиновидного) сечения для увеличения его сцепления со шкивами. Цепная передача в настоящее время наиболее распространена. Роликовая цепь, передающая работу двигателя (моторная цепь) к коробке скоро-

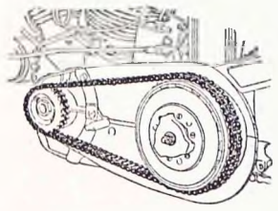
стей, по сравнению с цепью ведущего колеса (ведущая цепь) передает относительно меньшее окружное усилие, но зато имеет относительно значительно большую скорость движения, однако из-за практич. соображений



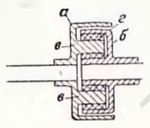
Фиг. 42.

Фиг. 43.

обычно применяют для обеих передач цепи одного размера. Для М. с рабочим объемом цилиндров до 250 *см*³ берут цепи, звенья к-рых имеют длину (шаг цепи) равную $^1/_2''$ и ширину (расстояние между боковинками внутреннего звена) равную $^1/_4''$, для М. с рабочим объемом до 500 *см*³ соответственно длина звена равна $^1/_2''$ и ширина $^3/_8''$, для всех М. с объемом > 500 *см*³—шаг цепи равен $^5/_8''$, ширина равна $^3/_8''$. Для плавной и надежной работы цепной передачи необходимо, чтобы цепные колеса имели не менее 14 зубьев, т. к. в противном случае получается сильный изгиб цепи. Необходимо наблюдать за тем, чтобы обе цепные шестерни находились в одной плоскости и цепи работали без перекоса. Цепные передачи д. б. снабжены амортизаторами для смягчения действия ударных нагрузок. Для этого цепная шестерня *а* (фиг. 42) не соединяется жестко с валом *б*, передача крутящего момента от вала к цепной шестерне осуществляется через кулачковую муфту *в*, последняя по шпоночным дорожкам может перемещаться вдоль оси вала и благодаря шпоночным дорожкам вращается вместе с валом. Силой давления пружины *г* кулачки муфты удерживаются в сцеплении с кулачками цепной шестерни. При ударной нагрузке цепная шестерня повернется относительно вала на нек-рый угол и благодаря наклонному очертанию кулачков муфты *в* переместит последнюю вдоль оси вала и сожмет пружину *г*, благодаря чему сила удара будет амортизирова-

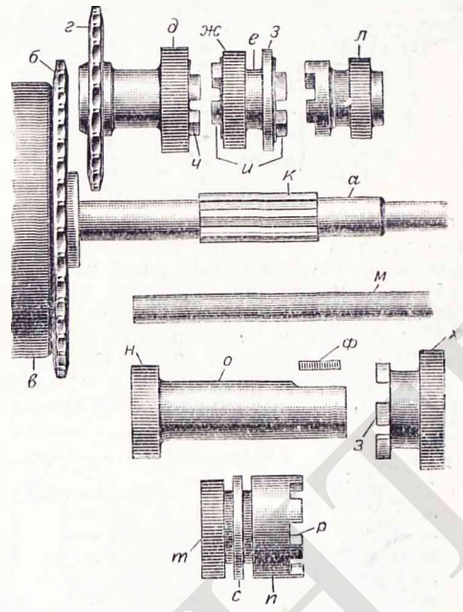


Фиг. 44.



Фиг. 45.

на. Натяжение пружины регулируется гайкой *д*. Для этой же цели применяют конструкцию цепной шестерни, изображенную на фиг. 43; втулка имеет выступы *б*, цепная корона снабжена выступами *а*, между выступами заложены спиральные пружины *в*, при помощи которых и амортизируется ударная нагрузка. Цепи д. б. обеспечены смазкой и хорошо защищены от грязи, для этого их помещают в закрытый картер. Цепи д. б. правильно натянуты и иметь нормальный провес. Предварительная натяжка моторной цепи осуществляется соответствующим передвижением коробки передач, а ведущей цепи—перестановкой оси ведущего колеса в прорезях ее опоры. Перестановка оси колеса для натяжки цепи производится при помощи регулирующих винтов. Для увеличения надежности работы моторной цепи и уменьшения ее напряжения начинают применять две моторные цепи; конструктивное выполнение такой передачи на М. Харлей Давидсон 1930 г. изображено на фиг. 44. Карданная передача (см. *Карданные валы, Гука шарнир*) к ведущему колесу применяется гл. обр. при двигателях, вал к-рых расположен вдоль рамы М. Т. к. ось ведущего колеса и коробка перемены передач установлены на жесткой раме М. и следовательно какого-либо заметного отклоне-



Фиг. 46.

ния оси вала коробки перемены передач по отношению к оси карданного вала и оси заднего колеса не происходит, то в качестве карданного сочленения достаточно иметь простейшую гибкую муфту, состоящую напр. из двух половинок *а* и *б* (фиг. 45), причем цапфы *в*, на которые одеты резиновые патрубки *г*, входят в соответствующие отверстия половины муфты *б*. Эластичность резиновых патрубков и осуществляет гибкость соединения.

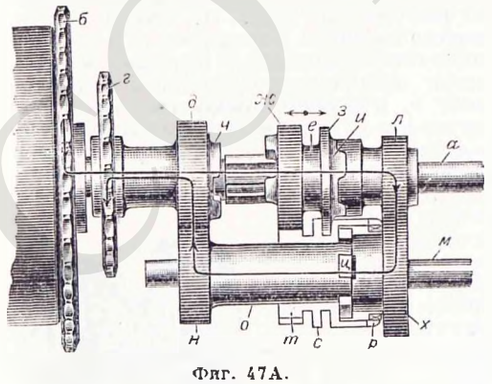
Коробка перемены передач (коробка скоростей) служит для изменения крутящего момента ведущего колеса. Только маломощные машины имеют двухскоростные коробки; наиболее распространенным является тип трехскоростной коробки перемены передач; в последнее время начинают применять для больших М. четырехскоростные коробки. Для М. большого литража, работающих с тяжелыми боковыми колясками, отдельные фирмы начинают применять коробки скоро-

стей, имеющие и задний ход. Передаточные числа на различных передачах для двигателей различных мощностей выполняют различными, как указано в табл. 3.

Табл. 3.—Передаточные числа от мотора к ведущему колесу.

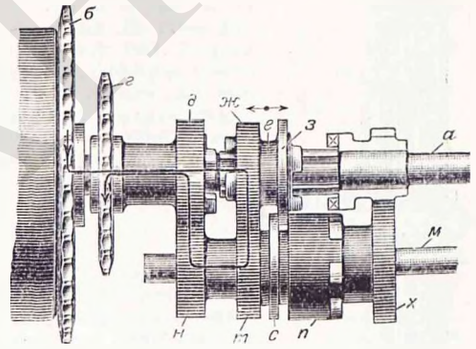
Рабочий объем цилиндров в *см*³	1-я скорость	2-я скорость	3-я скорость
250	1 : 15	1 : 9	1 : 6
350	1 : 14	1 : 8	1 : 5
500	1 : 12	1 : 7	1 : 4,5
1 000	1 : 10	1 : 6	1 : 4
С боковой коляской:			
600	1 : 15	1 : 6	1 : 5,5
1 000	1 : 14	1 : 7,5	1 : 5

В целях уменьшения износа шестерен желательно иметь коробки перемены передач с шестернями, находящимися все время в за-



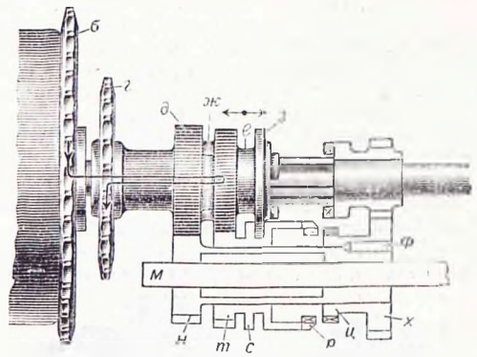
Фиг. 47А.

цеплении, причем включение шестерен в передачу осуществляется кулачками. Конструктивное выполнение такой трехскоростной коробки дано на фиг. 46 и фиг. 47, А, Б, В. Главный вал *а* через механизм сцепления *в* связан с большой сцепной шестерней *б*, к-рая соединяется моторной цепью с двигателем. На левом конце главного вала свободно вращается малая цепная шестерня *г* и составляющая с ней одно целое шестерня постоянного зацепления *д*. Каретка *е* может перемещаться по шпоночным дорожкам *к* вдоль оси главного вала; каретка *е* включает в себя шестерню *ж* 2-й скорости и шайбу *з*; шестерня и шайба снабжены кулачками *и*. Шестерня *л* 1-й скорости, свободно вращающаяся на главном валу, также снабжена кулачками. На оси *м* (контршафтный вал), лежащей параллельно валу *а*, свободно посажена вторая шестерня постоянного зацепления *н*, на ее длинной втулке *о* может вращаться и перемещаться вдоль оси каретка *п*, снабженная кулачками *р*, диском *с* и шестерней второй скорости *т*. С правого конца на втулку *о* посажена на шпонке *ф* шестерня первой скорости *х*, снабженная кулачками *ц*. Зубья шестерен *д* и *н*, *ж* и *т*, *л* и *х* находятся все время в зацеплении. Если каретку *е* переместить направо, то крутящий



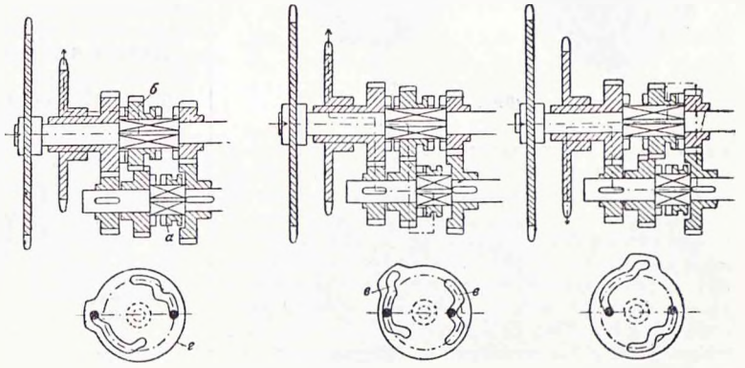
Фиг. 47Б.

момент от цепной шестерни *б* через вал *а*, каретку *е*, шестерни *л*, *х* и шестерни *н*, *д*—будет передан цепной шестерне *г*; это положение соответствует первой скорости (фиг.



Фиг. 47В.

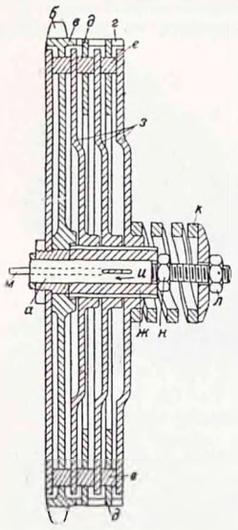
47, А). Для получения передачи второй скорости нужно каретку *е* передвинуть влево до тех пор, пока связанная с ней при помощи дисков *з* и *с* каретка *п* не сцепится кулачками *р* с кулачками *ц* шестерни *х* (фиг. 47, Б).



Фиг. 48.

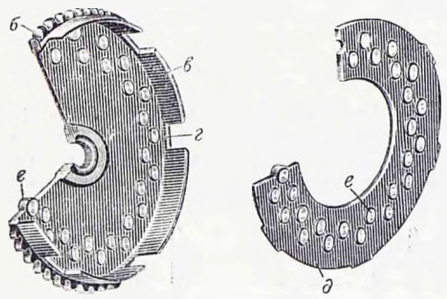
Для получения третьей скорости каретка *е* должна быть продвинута еще дальше влево до сцепления ее кулачков непосредственно

с кулачками *ч* втулки цепной шестерни *г* (фиг. 47, В). Перемещение каретки *е* и связанной с ней дисками *з*, *е* каретки *н* производится при помощи рычага, к-рый передвигают по прорези кулисы. На фиг. 48 изображен второй тип трехскоростной коробки, в к-рой две каретки *а* и *б*, не связанные между собой, перемещаются двумя вилками, взаимное движение к-рых зависит от очертания прорезей *в* шайбы *г* переключения, в к-рые входят концы вилок; при различных поворотах шайбы *г*, как видно из чертежа, можно получить различные передачи.



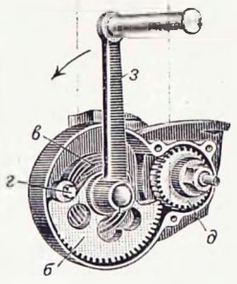
Фиг. 49.

Сцепление. Для мотоцикла применяется дисковое сцепление, с сухими дисками или же, реже, с дисками, работающими в масле. Как правило механизм сцепления помещают между мотором и коробкой скоростей. В качестве сухих дисков применяются диски с наклепанными накладками из асбестовой ткани Феррадо, а также металлические диски с впрессованными кусками пробок. Эта последняя конструкция изображена на фиг. 49. На конце полого главного вала *а* коробки перемены передач посажен свободно вращающийся барабан *в*, к-рый составляет одно целое с цепной зубчатой короной *б*. В прорези *г* барабана вхо-



Фиг. 50.

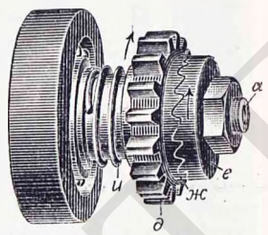
дят своими выступами стальные диски *д* с впрессованными в их отверстия пробками *е*, эти диски не соприкасаются с валом *а*, могут перемещаться вдоль прорезей барабана и вращаются вместе с последним. По шпоночным дорожкам муфты *жс* в свою очередь могут перемещаться вдоль оси вала стальные диски *з*, к-рые не соприкасаются непосредственно с барабаном *в*. Муфта *жс* закреплена на валу чекой *и* и гайкой *н*. Пружина *к*, натяжение к-рой регулируется гайкой *л*, сжимает диски *з* и *д* и благодаря силе трения, возникающей на поверхностях дисков в местах соприкосновения с пробками, при вращении цепной шестерни *б* вся система будет вращаться как одно целое и через муфту *жс* будет вращать главный вал *а*. Если при помощи стержня *м*, соединенного системой рычагов с педалью сцепления, переместить чеку *и* направо, то чека передвинет направо и крайний диск *з*, благодаря чему пружина *к* сожмется и не будет сжимать диски *д* и *з*,



Фиг. 51.

поэтому цепная шестерня *б* с барабаном *в* будут вращаться вхолостую. На фиг. 50 изображена часть барабана *в* сцепления и часть диска *д* с впрессованными пробками *е*.

Стартер. Пуск двигателя М. в ход производится при помощи стартера. Наиболее распространенной системой является кик-стартер (фиг. 51). Рычаг *з* педали жестко соединен с сегментом *б*; в нерабочем состоянии спиральная пружина *в* держит рычаг педали в вертикальном положении; болт *г*, к к-рому прикреплен один конец пружины *в*, служа упором для сегмента, исключает возможность повернуть рычаг в направлении против стрелки. При повороте ногой педали, сегмент сцепляется с шестерней *д*, свободно сидящей на валу, и поворачивает последнюю; при этом шестерня *д* (фиг. 52) будучи сцеплена кулачками *жс* с шайбой *е*, жестко соединенной с валом, повернет вал *а* коробки перемены передач и связанный с ним кривошипный вал двигателя, который сделает 3—4 оборота и мотор запустится, тогда кулачки шайбы *е* отожмут шестерню *д* налево, так что ее кулачки расцепятся с кулачками шайбы, пружина *в* повернет рычаг *з* в исходное положение, причем зубья шестерни *д* выйдут из зацепления, и она, переместившись вправо под действием силы пружины *и*, будет вращаться вместе с валом *а*.



Фиг. 52.

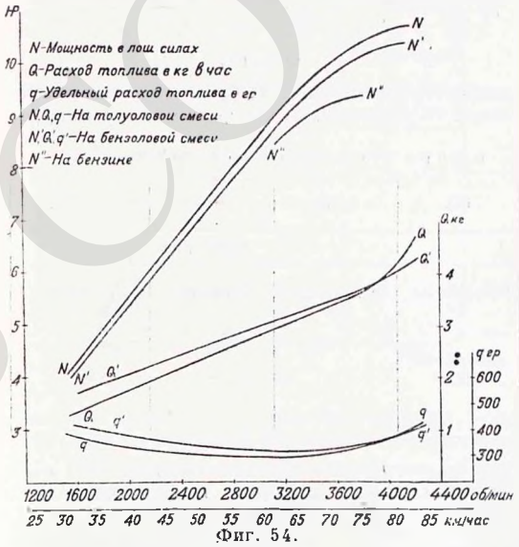
Колеса и тормоза. Колеса преимущественно тангентные, реже дисковые. Обод стальной, реже из легких сплавов. Втулки колес снабжены роликовыми или шариковыми подшипниками (фиг. 53). Для быстрой и удобной установки заднего колеса ось последнего закрепляется в вилке при помощи осевого болта *а*. Колеса выполняются под покрышки следующих размеров.

Рабочий объем двигателя (см³)	Размер норм. покрышки	Размер покрышки баллона
250	26×2¼	
350	26×2½	26×3,5
500	26×3	27×3,5
750	26×3	27×3,85
1000	28×3	27×4

Тормоза применяют как на ведущее, так часто и на переднее колесо. Тормоза обычного типа, чаще с внутренними колодками.

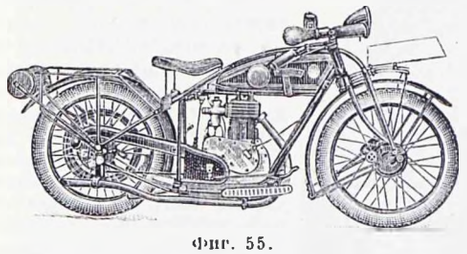
Тормозной барабан *б* (фиг. 53) прибалчивается к фланцу втулки колеса.

Испытание М. производится как в лабораториях, так и путем испытательн. пробегов. В СССР испытание М. и исследовательскую работу в области мотостроения проводят два научно-исследовательск. института: НАМИ и ЦАГИ. На фиг. 54 дана характеристика мотоцикла «D» (Дейче-Верке) с четырехтактным одноцилиндровым двигателем, рабочий объем к-рого равен 496 см³, диам. цилиндра 82 мм и ход поршня 94 мм. Кривые *N*, *N′* и *N″* дают соответственные мощности при полном дросселе на ведущем ко-



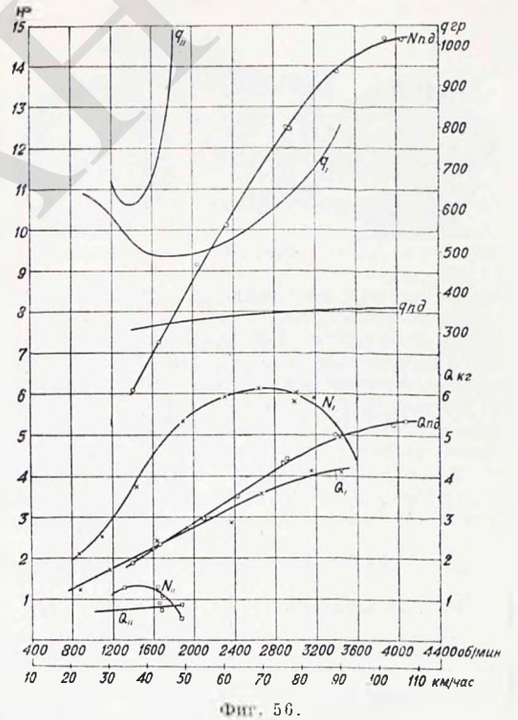
Фиг. 54.

лесе при работе двигателя на толуоловой и бензоловой смесях и на бензине; кривые *Q*, *Q′* — соответствующие часовые расходы топлив в *кг* при толуоловой и бензоловой смесях; кривые *q* и *q′* — расход на силу-час в *г*. Рама М. «D» — двойная трубчатая (фиг. 55); коробка — трехскоростная; от мотора к



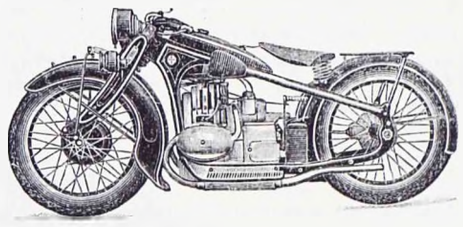
Фиг. 55.

коробке передача зубчатыми колесами, от коробки к ведущему колесу — цепью $^5/_8'' \times ^3/_8''$. Передняя вилка с плоской рессорой. На переднем колесе тормоз с внутренними колодками, на заднем — тормоз на особый обод. Для М. BMW модель R—62, имеющего двухцилиндровый двигатель с горизонтально расположенными цилиндрами и с рабочим объемом 744 см³, на фиг. 56 даны характеристики мощностей на ведущем колесе при



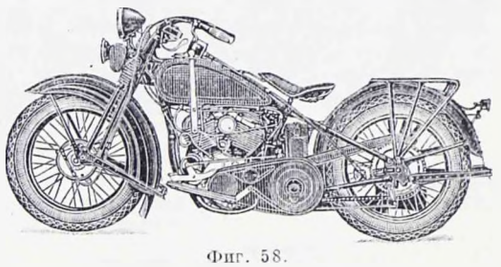
Фиг. 56.

полном ($N_{п.д.}$) и прикрытых дросселях (N', N''), также даны часовые расходы топлива $Q_{п.д.}$ при полном дросселе и при прикрытых



Фиг. 57.

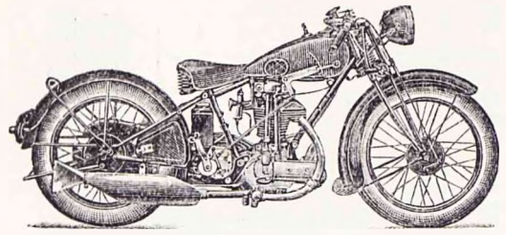
дросселях (Q', Q''). Соответствующие удельные расходы в *г* даны кривыми $q_{п.д.}$, q', q''. Мотоцикл BMW спортивная модель R—16 1930 г. (фиг. 57) с горизонтально расположенным двухцилиндровым двигателем имеет



Фиг. 58.

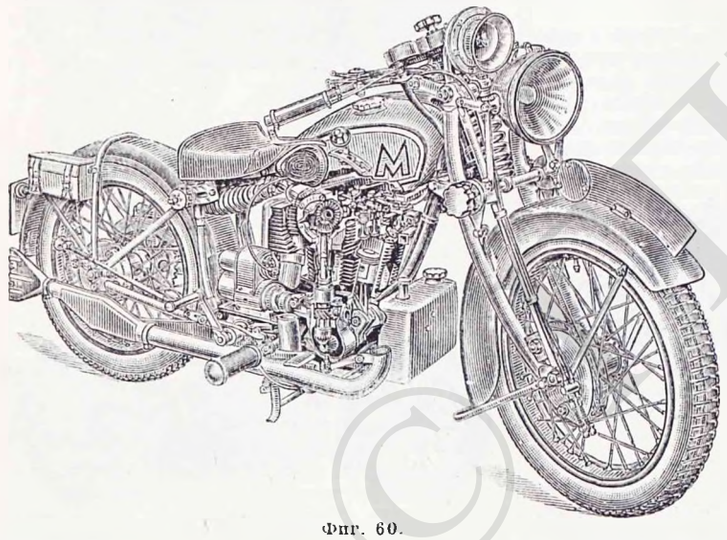
рабочий объем 734 см³, максимальную эффективную мощность двигателя 26 HP. Рама М. выпрессована из листовой стали, вилка

переднего колеса, также прессованная из стали, снабжена плоской рессорой. Сцепление однодисковое. Трехскоростная коробка



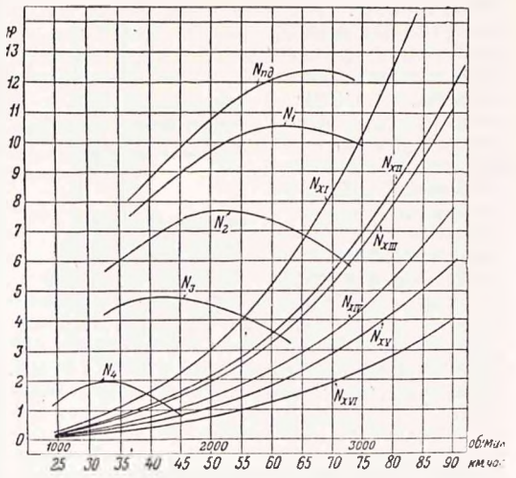
Фиг. 59.

перемены передач заключена в одном блоке с двигателем. Передача к ведущему колесу—карданным валом. На переднем колесе тормоз с внутренними колодками, второй тормоз на трансмиссии. На фиг. 58 изображен М. Харлей Давидсон (модель 1931 г.) с двухцилиндровым V-образным мотором; рабочий объем цилиндров 1 200 *см*³, ⌀ цилиндров 86,97 *мм*, ход поршня 101,6 *мм*. Рама стальная трубчатая, вилка прессованная из стали. Сцепление многодисковое сухое. Передача от мотора к коробке передач двойной цепью, от коробки передач к заднему колесу ординарной цепью. Мотоцикл BSA (модель 1930 г.)



Фиг. 60.

L30—5 с одноцилиндровым двигателем изображен на фиг. 59. Рабочий объем цилиндра 349 *см*³, ход поршня 85½ *мм*, ⌀ цилиндра 72 *мм*. Цилиндр имеет две выпускных трубы,



Фиг. 61.

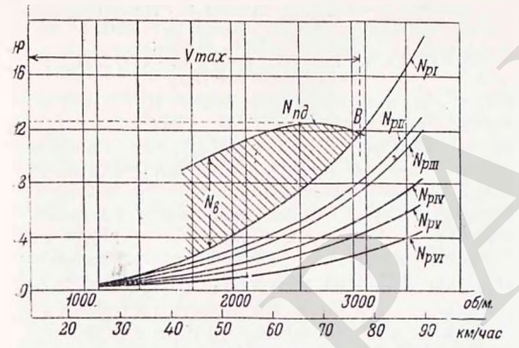
снабженные двумя симметрично расположенными глушителями. На фиг. 60 дано изображение мотоцикла Матчлес (модель 1931 г.) с 4-цилиндровым мотором, цилиндры к-рого расположены в два ряда. Оригинально выполнена рессорная подвеска заднего колеса.

Форма М. и коляски, посадка водителя имеют большое влияние на затрату мощности на преодоление силы лобового сопротивления. На фиг. 61 даны результаты испытаний в аэродинамической трубе, проведенных ЦАГИ над М. Харлей Давидсон. Кривая $N_{п.д.}$ дает мощность на ведущем колесе при полном дросселе, кривые N_1, N_2, N_3, N_4—мощности при разном дросселировании. Мощности, затрачиваемые на преодоление силы лобового сопротивления, в зависимости от скорости движения М., даны кривыми N_x, причем индексы I÷VI обозначают условия испытания, согласно табл. 4. Окончательный баланс мощности на заднем колесе, с учетом мощности N_r, теряемой на

Табл. 4.—Условия испытания М. в аэродинамической трубе.

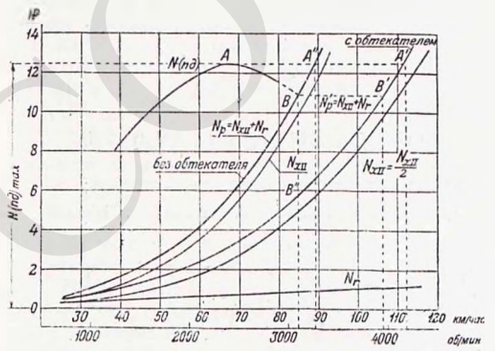
Условия испытания	I	II	III	IV	V	VI
Мотоцикл	с коляской			одиночка		
Положение водителя	Выпрямленное (нормальное)	Согнутое (гоночное)	Без водителя	Выпрямленное	Согнутое	Без водителя
Положение пассажира	Без пассажира	Пассажир лежа, прикрыт брезентом	Без пассажира	—	—	—

трение колес (кроме ведущего), для этого М. дан на диаграмме фиг. 62, на к-рой кривые



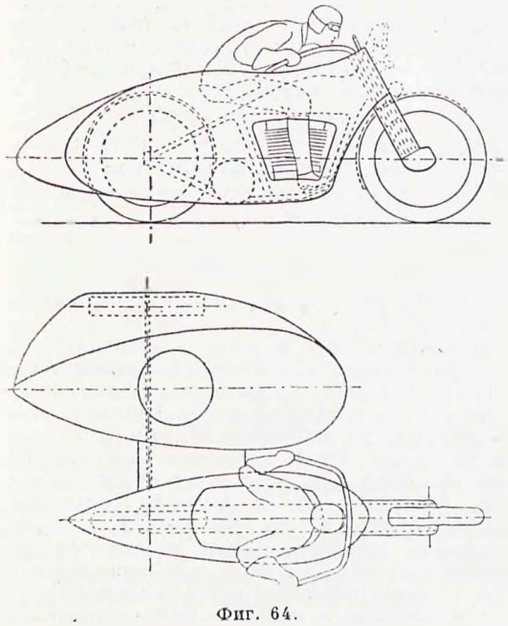
Фиг. 62.

суммарных мощностей $N_p=N_x+N_r$; кривая $N_{п.д.}$ дает мощность на ведущем колесе при



Фиг. 63.

полном дросселе. Точки пересечения кривой $N_{п.д.}$ с кривыми N_p дадут соответству-



Фиг. 64.

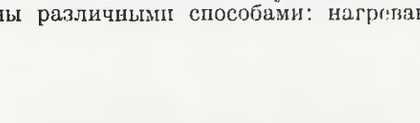
ющие максимальные возможные скорости М. при езде на прямой без подъема при данном передаточном числе, равном 4,91 от мотора к заднему колесу. Ординаты N_b между кривой $N_{п.д.}$ и кривыми N_p дают запас мощности для каждой скорости, к-рый м. б. использован для ускорения движения М. или преодоления подъемов. Диаграмма фиг. 63 дает баланс мощности на заднем колесе для испытанного М. Харлей Давидсон без обтекателя и с обтекателем, выполненным по схеме фиг. 64. Обозначение кривых и значение индексов те же, что и на предыдущих диаграммах.

В СССР производство М. осуществляется на заводах: Ижевском (рабочий объем цилиндров 220 *см*³, 500 *см*³, 700 *см*³, 1 200 *см*³), Велострой (рабочий объем цилиндров 174 *см*³), Тромасс (300 *см*³).

Лит.: Успенский И., Мотоцикл Харлей-Давидсон, Руководство по управлению, уходу и регулировке, Москва 1927; Кузнецов Б. Я., Лобовое сопротивление мотоцикла, «Труды ЦАГИ», 1929, вып 51; Neitner Fr., Das Motorrad Aufbau u. Arbeitsweise, B.—W., 1929; Bussien R., Automobiltechnisches Handb., 12 Aufl., Berlin, 1928; Hanfland C., Das Motorrad und seine Konstruktion, 2 Aufl., B., 1925; Heller A., Motorwagen u. Fahrzeugmaschinen f. flüssigen Brennstoff, 2 Aufl., B. 1, B., 1925; Dyke's Automobile a. Gasoline Engine Encyclopedia, 14 ed., Chicago, 1926. **Б. Шпринк.**

МОТЫЛЬ, см. *Шатун.*

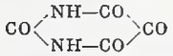
МОЧЕВАЯ КИСЛОТА, $C_5H_4N_4O_3$, 2, 6, 8-триоксопурин; строение М. к. видно из ф-лы:



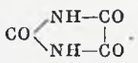
пурин мочевая к-та

Ее можно рассматривать также как диуреид триоксиакриловой к-ты, $C(OH)_2{:}C(OH)\cdot COOH$. М. к. содержится в незначительных количествах в моче плотоядных млекопитающих и человека (в патологич. случаях—также в крови и мочевых камнях), составляет бо́льшую часть экскрементов птиц и пресмыкающихся; в гуано М. к. содержится в количестве до 25%. Образование М. к. в животных организмах является результатом распада белковых веществ, происходящего под влиянием ряда энзимов; оксидазы (пуриноксидазы) окисляют ксантин (2, 6-диоксопурин) и гипоксантин (6-оксопурин) в мочевую кислоту.

Чистая М. к.—бесцветный кристаллический порошок, мало растворимый в воде и нерастворимый в спирте и эфире; крепкая H_2SO_4 растворяет ее, не разлагая. М. к.—слабая двуосновная к-та, дающая два ряда солей (у р а т о в): дву- и одноме таллические (чаще последние); одноме таллич. соли щелочных металлов плохо растворимы в воде, за исключением соли лития. При окислении посредством HNO_3 на холоду М. к. дает а л л о к с а н



дальнейшее окисление при нагревании разлагает аллоксан на углекислоту и п а р а б а н о в у ю к-т у



Синтетически М. к. получается из мочевины различными способами: нагреванием

мочевины с гликоколем, с изодиалуровой кислотой, с цианукусной, хлоруксусной или трихлормолочной к-той и т. д. Технически М. к. получают извлечением ее из гуано путем кипячения со слабой соляной к-той, растворения остатка в KOH и осаждения соляной к-той. Распознавание М. к. производится по мурексидной реакции (проба вещества, выпаренная с HNO_3 досуха, при смачивании аммиаком дает пурпуровое окрашивание), или микрохимич. путем—по характерной форме кристаллов М. к. и ее солей.

М. к. может служить для получения ряда других производных пурина; в технических размерах из нее получают синтетич. кофеин (1, 3, 7-триметил-2, 6-диоксопурин) по способу герм. фирмы Беринтер. Кроме того М. к. наряду с *барбитуровой к-той* (см.) применяется в качестве стабилизатора для продажной перекиси водорода.

Лит.: Fischer E., «B», 1897, B. 30, p. 549, 1898, B. 31, p. 2551, 1899, B. 32, p. 435; Traube W., «B», 1900, B. 33, p. 3035; Morgan E., Stewart C., Hopkins F., On the Anaerob. Oxidation of Xanthin, «Proc. of the Royal Soc. of London». London, v. 94 A, p. 109. **Н. Ельцина.**

МОЧЕВИНА, карбамид, $CO(NH_2)_2$. В природе это вещество является главным продуктом распада (окисления) белковых веществ в высших организмах и нормальной составной частью мочи млекопитающих, откуда М. и получила свое название. Содержание М. в моче человека—2—3%; общий суточный дебет ее достигает 30 *г*. В небольших количествах М. содержится в крови животных и в соках нек-рых растений. Открыта в 1773 г. Руэллем (в моче); синтезирована впервые Вёлером в 1828 г. В настоящее время природные источники М. не имеют практич. значения, так как почти вся М. получается синтетич. путем.

Физические свойства. М. образует крупные бесцветные кристаллы (призмы или иглы), устойчивые на воздухе. Уд. в. $D_4^{20°}=1{,}335$; $t°_{пл.}$ 132,7°; в вакууме М. возгоняется без разложения. Растворимость М. в воде (на 100 ч. H_2O):

при 0°	67,0 ч.	при 50°	205,0 ч.
» 10°	84,0 »	» 70°	314,6 »
» 20°	104,7 »	» 100°	700 »

Растворимость в спирте равна 20 : 100 по весу; в эфире М. почти нерастворима. Температура затвердевания конц. водных растворов М.: 87%-ного 95°; 90%-ного 107°; 95%-ного 120°. Кристаллы М. слабо гигроскопичны; ниже приведена упругость пара насыщенных растворов М. для различных $t°$:

$t°$	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°
мм Hg	7,48	10,24	14,05	18,06	23,09	37,66	57,77

Химические свойства. В химич. отношении М. представляет собою полный амид угольной кислоты. Она обладает характером очень слабого основания (водные растворы М. имеют нейтральную реакцию) и дает устойчивые соли только с сильными к-тами, напр. азотной, соляной, фосфорной, щавелевой. В этих солях одна молекула М. связывает только один эквивалент кислоты; так напр., нитрат М. ($t°_{пл.}$ 163°) имеет состав $NH_2 \cdot CO \cdot NH_2 \cdot HNO_3$, оксалат М.—состав $(NH_2 \cdot CO \cdot NH_2)_2 \cdot C_2H_2O_4$. Мочевина образует многочисленные двойные, или молекулярные, кристаллич. соединения с самыми разнообразными веществами, например:

$CO(NH_2)_2 \cdot AgNO_3$; $CO(NH_2)_2 \cdot Hg(NO_3)_2$; $CO(NH_2)_2 \cdot HgCl_2$; $CO(NH_2)_2 \cdot HgO$; $CO(NH_2)_2 \cdot HgO \cdot HNO_3$; $CO(NH_2)_2 \cdot NaCl \cdot H_2O$; $Ca(NO_3)_2 \cdot 4CO(NH_2)_2$; $Na_2S_2O_3 \cdot 4CO(NH_2)_2$

и т. п. При нагревании выше 150° (под атмосферным давлением) М. переходит сначала в биурет, $NH(CO \cdot NH_2)_2$, затем в циануровую к-ту $(CNOH)_3$. При нагревании М. с водой наступает сначала гидратация ее в карбаминат аммония (делающаяся заметной при $t° > 80°$), а выше 130°—гидролиз с распадением на углекислоту и аммиак:

$$NH_2 \cdot CO \cdot NH_2 + H_2O \rightleftarrows NH_2 \cdot CO \cdot ONH_4 \rightleftarrows CO_2 + 2NH_3,$$

причем все эти реакции обратимы (обратное течение процесса осуществляется в технич. синтезе М.). Щелочи и к-ты ускоряют гидролиз М.; в присутствии гидролитич. энзима—уреазы—этот процесс идет с большой скоростью при обыкновенной $t°$ (брожение мочи). Нагревание М. со спиртами, взятыми в избытке, приводит к образованию *уретанов* (см.). По отношению к растворам перманганата ($KMnO_4$) М. устойчива; азотистой к-той она окисляется с выделением свободного азота:

$$CO(NH_2)_2 + 2HNO_2 = CO_2 + 3H_2O + 2N_2.$$

Аналогичный распад происходит при действии бромноватистокислых солей:

$$CO(NH_2)_2 + 3NaOBr = 3NaBr + CO_2 + 2H_2O + N_2,$$

причем промежуточным продуктом реакции является гидразин $H_2N \cdot NH_2$; действуя на М. в соответствующих условиях гипохлоритом (NaOCl), можно получить т. обр. гидразин с выходом до 60% (П. Шестаков). Водород аминогрупп в М. может быть замещен алкильными, арильными и ациловыми радикалами (см. ниже). Чистая М. содержит 46,6% связанного азота.

Методы получения М. Химич. путем М. может быть получена при помощи следующих реакций: 1) изомеризацией цианата аммония при нагревании в водном растворе (историч. синтез Вёлера):

$$NC \cdot ONH_4 \rightarrow CO(NH_2)_2;$$

2) взаимодействием фосгена и аммиака:

$$COCl_2 + 2NH_3 = 2HCl + CO(NH_2)_2;$$

3) гидратацией свободного цианамида:

$$CN \cdot NH_2 + H_2O = CO(NH_2)_2;$$

4) дегидратацией карбамината аммония:

$$NH_2 \cdot CO \cdot ONH_4 - CO(NH_2)_2 + H_2O;$$

последние два способа имеют промышленное значение.

В производстве М. при помощи цианамида исходят из технич. *цианамида кальция* (см.), к-рый гидратируют обычно действием разбавленных кислот. Имеется много патентов на получение М. этим методом; из них наибольшего внимания заслуживает способ Лидгольма, уже получивший практич. осуществление в Америке (опытный з-д Карбидной К° на Ниагаре). Исходный цианамид кальция, тонко измельченный, постепенно вносят в воду при перемешивании и одновременном пропускании CO_2 в эту суспензию; в растворе получается свободный цианамид:

$$CaCN_2 + CO_2 + H_2O = CaCO_3 + CN \cdot NH_2.$$

Гидратация цианамида в М., после отделения его от осадка $CaCO_3$ на фильтр-прессе, достигается действием разбавленной серной к-ты при нагревании и проводится с возможной быстротой, во избежание накопления нежелательных побочных продуктов. После окончания реакции раствор нейтрализуют мелом, вторично фильтруют для отделения $CaSO_4$ и упаривают в слабом вакууме до такой концентрации, чтобы продукт по охлаждении застывал в твердую массу. Продукт содержит около 44% связанного азота, из них 41% в виде М., 1%—солей аммония, 1,5%—гуанилмочевины и ~1% в виде дициандиамида (примесь, вредная для растений). Метод, применяемый во Франции (Soc. des produits azotés), отличается тем, что порошкообразный $CaCN_2$ вносится в разбавленную серную к-ту, причем освобождающийся цианамид здесь же гидратируется в М., для чего реакционную смесь нагревают до 60—70° и энергично перемешивают; в осадке получается $CaSO_4$; весь процесс длится ок. 1 ч., выход М. близок к теоретическому.

В дальнейшей разработке цианамидного способа получения мочевины можно отметить следующие усовершенствования и оригинальные варианты. 1) Для избежания легко наступающей полимеризации свободного цианамида в дициандиамид, $(CN_2H_2)_2$, рекомендуется готовый раствор $CN \cdot NH_2$ вливать медленной струей в избыток слабой к-ты при непрерывном перемешивании. 2) По новому предложенному методу, гидратации подвергается конц. водный раствор цианамида в автоклаве под давлением 5—10 *atm* при $t°$ 60—70° и в присутствии ~5% минеральной к-ты или $NaHSO_4$; полученный раствор М. нейтрализуют мелом, фильтруют и выпаривают; на реакцию требуется ок. 6 ч. 3) Для проведения гидратации цианамида при обыкновенной $t°$ и нормальном давлении предложены различные катализаторы, напр. CuO, TiO_2, ZrO_2, ThO_2 на подкладке из силикагеля; 25%-ный раствор $CN \cdot NH_2$ перемешивают с массой катализатора в течение 2—3 суток; конверсия = 60—70%. 4) Конц. растворы цианамида можно обрабатывать серной к-той в присутствии эквивалентного к-те количества NH_4NO_3, KNO_3, $Mg(NO_3)_2$ или других солей: при нагревании в течение 1—2 ч. получается готовая азотнокислая соль М., к-рая по охлаждении раствора выкристаллизовывается. 5) Вместо гидратации в кислой среде, возможно также обрабатывать цианамид кальция насыщенными растворами карбонатов или фосфатов щелочных металлов при нагревании выше 100°; отделив осадок $CaCO_3$ или Ca-фосфата, щелочную жидкость короткое время нагревают для перевода $CN \cdot NH_2$ в М.; затем свободную щелочь нейтрализуют CO_2 и все вместе выпаривают досуха. 6) Японский метод получения М.—путем брожения раствора цианамида в смеси с отрубями, отбросами чая и т. п., с добавкой солей Mn. Все перечисленные методы повидимому в крупном масштабе еще не применялись.

Концентрирование растворов М., получаемых при цианамидном способе, в 1-й стадии может быть достигнуто их вымораживанием при $t° = -10 \div -15°$, причем получающийся лед не содержит М. Отделенный маточный раствор далее концентрируют в вакууме при 50—75°; т. о. получается раствор 70—75%-ной концентрации, к-рый поступает на кристаллизацию или подвергается дальнейшему обезвоживанию. Продажный твердый продукт—кристаллизованный или гранулированный—м. б. получен следующими путями: а) обычной кристаллизацией в чанах с наружным охлаждением; б) получением высококонцентрированного (до 90%) раствора М., выливанием его в горячем виде в формы и дроблением застывшей массы на дезинтеграторах; в) разбрызгиванием горячего конц. раствора М. в камерах, продуваемых холодным воздухом (получается продукт в виде «перлов»—зерен округлой формы), и г) кристаллизацией умеренно концентрированного теплого раствора в каплях, падающих с большой высоты.

Метод получения М. при помощи карбамината аммония, т. е. синтезом из аммиака и углекислоты, имеет повидимому наиболее широкую будущность. Применявшиеся до сих пор варианты промышленного синтеза М. сводятся в общих чертах к следующим операциям. Смесь состава $2NH_3 + CO_2$, обычно с добавкой небольшого количества паров воды, под высоким (или нормальным—на холоду) давлением превращается в карбаминат аммония. Затем твердый или расплавленный карбаминат дегидратируют в М. в том же аппарате или в отдельном автоклаве при $t°$ 135—150° и давлении 55—60 или более *atm*. Воду и остатки карбамината отгоняют в колонном аппарате при 100—130° и снова возвращают в процесс, расплавленную же технич. М. выпускают, охлаждают до затвердения и измельчают. Происходящие реакции отвечают схеме:

$$CO_2 + 2NH_3 \rightarrow NH_2 \cdot CO \cdot ONH_4 \rightarrow CO(NH_2)_2 + H_2O.$$

В способе BASF исходная смесь компонентов получается либо пропусканием сжатой CO_2 в жидкий NH_3, либо разложением углеаммиачной соли: конц. раствор $(NH_4)_2CO_3$ помещается в колонну и перегревается паром высокого давления до полной диссоциации соли на CO_2, NH_3 и H_2O; смесь газов под давлением около 12 *atm* направляется в охладитель с $t° = 110°$, где CO_2 и NH_3 частично конденсируются в карбаминат. Последний в жидком виде поступает в автоклав, где при $t°$ 135—150° заканчивается образование М. Аппаратура изготовляется из специальной стали, т. к. почти все обычные материалы в условиях процесса быстро разрушаются. В способе, разработанном Вашингтонской лабораторией связанного азота, используется углекислота, получаемая при переработке водян. газа на технич. водород, и синтетич. аммиак; смесь обоих газов под атмосферным давлением проводится через вертикальную трубу, сильно охлажденную извне и снабженную внутри вращающимися скребками для снимания кристаллов карбамината, к-рый затем перерабатывается автоклавным способом в атмосфере $CO_2 + NH_3$.

Работами Г. Яковкина в Ин-те прикладной химии было установлено, что наиболее удобным методом получения карбамината является насыщение жидкого аммиака углекислотой под давлением, без охлаждения. Наилучшие условия 2-й реакции (карбаминат → М.): $t°$ 160—170° (или ниже, но не выше) и давление в автоклаве 75—80 *atm*; процесс длится 6—8 ч.; выход М. из одной операции—около 40%. Применение катализаторов (рекомендовались уголь, тиомочевина, Al_2O_3, SiO_2, каолин, ThO_2) повидимому не дает заметной выгоды при данных $t°$-ных условиях. В качестве материала для аппаратуры наиболее пригодны никель и крупповская сталь V4A, а также м. б. монель-металл (Cu-Ni) и другие сплавы. Необходимо отметить, что за последнее время имеются предложения комбинировать непосредственно установку для получения М. с установкой для синтеза аммиака, объединив их в одну замкнутую систему, внутри к-рой осуществляется непрерывная циркуляция газов через аппараты, при введении извне необходимых количеств H_2, N_2 и CO_2 и выгрузке готовой М. Другие возможные пути получения М. пока не нашли применения в технике, хотя отмечаются попытки использовать для технич. целей и реакцию превращения цианата аммония в М. (патенты на про-

известно М. из цианистых солей) и реакцию фосгена с аммиаком (получение удобрительной смеси, состоящей из мочевины, цианамида, хлористого аммония и циануровой к-ты).

Применение М. До недавнего времени М. готовилась лабораторными методами и потреблялась в ничтожных количествах. С возникновением производства синтетич. М. заводским путем, главным потребителем этого продукта сделалось сельское хозяйство, где мочевина используется как высокопроцентное и легко усвояемое азотное удобрение, особенно пригодное для винограда, табака, хмеля и огородных культур. Для этой цели на рынок выпускается как техническая М. (85—90%-ная), так и различные комбинированные удобрения, содержащие М. в виде смесей или двойных соединений с другими веществами, напр. с $(NH_4)_2SO_4$, NH_4NO_3, NH_4Cl, $Ca(NO_3)_2$, $NaNO_3$ KNO_3, KCl, K_2SO_4, $CaH_4(PO_4)_2 \cdot H_2O$, $(NH_4)H_2PO_4$, KH_2PO_4. Смесь М. (получаемой цианамидным способом) с суперфосфатом кальция выпускается швейцарскими з-дами под названием «фосфазот»; такая смесь оказалась однако мало устойчивой, поэтому предложено заменять в ней обыкновенный суперфосфат фосфатами аммония или железа. Баденская ф-ка выпускает тройное (азотно-калийно-фосфатное) удобрение, состоящее из М., KNO_3 и $(NH_4)H_2PO_4$, а также удобрение состава $Ca(NO_3)_2 \cdot 4\,CO(NH_2)_2$—двойное соединение, содержащее 28—30% N и около 14% CaO. Следует заметить, что давно применяемые для удобрительных целей смеси *цианамида кальция* (см.) с суперфосфатом при хранении также постепенно переходят в мочевину (через свободный цианамид, образующийся путем обменного разложения компонентов) и в гуанилмочевину $NH_2 \cdot C(:NH) \cdot NH \cdot CO \cdot NH_2$ (через дициандиамид). При внесении содержащих М. удобрений в почву, М. подвергается в ней ферментативному распаду с переходом в аммонийные соли, которые и ассимилируются растениями.

Другая важная область применения М. намечается в производстве искусственных смол (см. *Смолы искусственные*) и пластич. масс. Твердые продукты конденсации М. с формальдегидом в настоящее время уже изготовляются под названием синтетического стекла; они чрезвычайно стойки, упруги, хорошо принимают окраску и механич. обработку и по всем свойствам близко подходят к *бакелиту* (см.); они м. б. получены вполне прозрачными (поглощают лишь ультрафиолетовые лучи) и в таком виде могут заменять стекло. С химич. стороны процесс смолообразования состоит повидимому в том, что М. и формальдегид конденсируются, образуя $[(NH_2 \cdot CO \cdot N = CH_2) \cdot H_2O]_n$ — продукт, который далее уплотняется, с выделением большей части воды, образуя высокомолекулярные (возможно — полициклические) мицеллы. По способу BASF, искусственные смолы из мочевины и формальдегида $CH_2:O$ готовят кипячением водного раствора обоих компонентов, после чего отгоняют воду и избыточный $CH_2:O$; полученный сироп разливают в формы, где и происходит окончательная конденсация; с целью ускорения процесса может быть применено освещение ультрафиолетовыми лучами; для получения прозрачного продукта берется ок. 3 молекул $CH_2:O$ на 1 молекулу М. По другому способу процесс получения смолы выполняется в 3 стадии: а) конденсация исходных веществ (ее начинают в нейтральной или слабощелочной среде, заканчивают в слабокислой), б) образование гидрофобного коллоида и в) желатинирование коллоида и отгонка воды. Растворением продукта конденсации в эпихлоргидрине можно получать лаки. Конденсацию можно проводить также в присутствии катализаторов, напр. уротропина. Некоторые патенты рекомендуют по окончании 1-й фазы конденсации добавлять к массе основные вещества, напр. пиридин, или просто новую порцию М., а для получения совершенно прозрачного продукта—вводить в него (перед отгонкой воды) 2—5% какого-нибудь электролита, напр. NaCl. Окончательное затвердевание массы ускоряется нагреванием до 60—100°. Для получения формованных изделий можно конденсировать М. с $CH_2:O$ в присутствии небольшого количества кислот (напр. H_2SO_4), подвергая затем полученный продукт высушиванию и горячей формовке под прессом при $t°$ 100°. Имеются также указания на возможность производства искусственных смол из М. и акролеина; при конденсации М. с фурфуролом получается твердый продукт черного цвета, могущий служить заменителем эбонита. Синтетич. продукт из М. и формальдегида, нерастворимый в воде, был недавно предложен в качестве удобрения специально для культур, выращиваемых на затопляемых участках, напр. для риса. Кроме указанных производств (удобрения и смолы) М. применяется как лечебное средство и как стабилизирующая примесь к целлулоиду, нитроцеллюлозе (повышая их стойкость к нагреванию), к препаратам перекиси водорода и для изготовления ряда ее производных.

Анализ М. I. Качественное распознавание М. производят: 1) микрохимич. путем—по образованию характерных кристаллов азотнокислой М. при обработке пробы HNO_3 и 2) нагреванием до 160° в сухом виде переводят М. в биурет, затем открывают последний при помощи реакции с $CuSO_4$ в щелочном растворе (фиолетовое окрашивание). II. Для количественного определения М. служат следующие методы. 1) Весовой способ Либиха: осаждение М. в нейтральном растворе азотнокислой солью окиси ртути; получаемый осадок—двойная соль состава $Hg(NO_3)_2 \cdot 3\,HgO \cdot 2\,CO(NH_2)_2$. 2) Объемный способ Гюфнера-Вородина: окисление М. при помощи NaOBr; количество М. определяется по объему выделившегося азота. 3) Разложение М. серной к-той по Кьельдалю, или фосфорной к-той, или препаратом уреазы; весь азот отщепляется в виде аммиака, к-рый после прибавления едкой щелочи отгоняют и определяют ацидиметрическим титрованием или колориметрически (с реактивом Несслера). 4) Микроопределение М.: осаждают М. спиртовым раствором ксантгидрола в виде диксантилмочевины, к-рую затем определяют весовым путем или нефелометрически.

Производные М. Все производные М. могут быть разбиты на две группы: к первой относятся соли М. с к-тами и другие продукты присоединения целых молекул какого-либо вещества к молекуле М.; ко второй группе принадлежат замещенные М.: алкилмочевины, арилмочевины и ацилмочевины, или уреиды, а также их сернистые и азотистые аналоги. Многие производные М. (уреиды и диуреиды) синтезируются в организмах растений и животных и частично добываются из этих природных источников; однако б. ч. этих соединений приготовляется искусственным путем.

Двойные соединения М. получаются непосредственным взаимодействием М. с требуемым вторым компонентом. Некоторые из этих веществ применяются для терапевтических целей, напр. соединения М. с салициловой к-той («урсал»), с органическими солями сурьмы, с бромистым кальцием $[CaBr_2 \cdot 4CO(NH_2)_2$ («уреабромин»)] и др. патентованные фармацевтические препараты. Двойное соединение М. с перекисью водорода, $CO(NH_2)_2 \cdot H_2O_2$, полученное в 1907 г. С. Танатаром, — кристаллич. порошок, содержащий ок. 35% H_2O_2; при действии воды или нагревании выше 60° разлагается, отщепляя в первом случае H_2O_2, а во втором — кислород. Применяется в химическом анализе и в органических синтезах как окислитель; с добавкой различных стабилизирующих веществ выпускается в продажу как дезинфекционное средство под названиями «гипероль», «пергидрит», «ортизон» и др.

Алкил- и арилмочевины могут содержать от 1 до 4 замещающих групп, соответственно числу водородных атомов в аминогруппах М. Они м. б. получены по следующим общим методам: 1) из солей аминов и солей циановой к-ты, 2) взаимодействием аминов с фосгеном (симметрич. производные), 3) конденсацией замещенных амидов хлоругольной к-ты с аминами и 4) конденсацией М. с аминами (ароматич. ряда):

I. $$NC \cdot OK + R\overset{R}{\diagdown}NH_2Cl = KCl + NC \cdot ONH_2 + R\overset{R}{\diagdown}R \rightarrow NH_2 \cdot CO \cdot N\overset{R}{\diagdown}R.$$

II. $$COCl_2 + 2R \cdot NH_2 = 2HCl + CO(NH \cdot R)_2.$$

III. $$R\overset{R}{\diagdown}N \cdot COCl + R \cdot NH_2 = HCl + R\overset{R}{\diagdown}N \cdot CO \cdot NHR.$$

IV. $$CO(NH_2)_2 + 2R \cdot NH_2 = 2NH_3 + CO(NH \cdot R)_2.$$

Дифенилмочевина, карбанилид, $CO(NH \cdot C_6H_5)_2$—бесцветные кристаллы, ее $t°_{пл.}$ 235°, $t°_{кип.}$ 260°; нерастворима в воде, растворяется в спирте и эфире. Получается действием фосгена на анилин или лучше нагреванием М. с избытком анилина при 170°. Ее симметрич. производные с аминированными или сульфированными ароматич. ядрами применялись для получения субстантивных азокрасителей и сернистых красителей. s-Динафтилмочевина, $CO(NH \cdot C_{10}H_7)_2$, в виде ее окси- и сульфопроизводных служит для синтеза красителей (купелированием с диазокомпонентами); аналогичные производные М. с нафталиновыми ядрами оказались ценными терапевтич. средствами (против сонной болезни, напр. «германин»). s-Диантрахинонилмочевина, $CO(NH \cdot C_{14}H_7O_2)_2$, применяется как желтый краситель (гелиндоновый желтый 3 GN); некоторые ее производные в свою очередь являются красителями. Тетрафенилмочевина, $(C_6H_5)_2N \cdot CO \cdot N(C_6H_5)_2$, кристаллы с $t°_{пл.}$ 183°, растворимые в спирте. Для получения ее исходят из дифениламина $(C_6H_5)_2NH$, к-рый растворяют в хлороформе и пропусканием фосгена переводят в двуфенилированный амид хлоругольной кислоты $Cl \cdot CO \cdot N(C_6H_5)_2$—листочки с $t°_{пл.}$ 85°; затем полученное вещество конденсируют с дифениламином при нагревании в присутствии цинковой пыли. Аналогично, путем конденсации того же промежуточного продукта с диэтиламином $(C_2H_5)_2NH$, получают асимметрич. диэтилдифенилмочевину, $(C_6H_5)_2N \cdot CO \cdot N(C_2H_5)_2$ ($t°_{пл.}$ 54°), легко растворимую в спирте. Таким же точно путем, исходя из метиланилина $C_6H_5 \cdot NH \cdot CH_3$ и обрабатывая его в нагретом бензольном растворе фосгеном, получают соединение $Cl \cdot CO \cdot N\overset{CH_3}{\diagdown}C_6H_5$ ($t°_{пл.}$ 88°); из последнего конденсацией с метиланилином получается s-диметилдифенилмочевина, $\overset{CH_3}{\underset{C_6H_5}{\diagdown\diagup}}N \cdot CO \cdot N\overset{CH_3}{\diagdown}C_6H_5$ ($t°_{пл.}$ 121°). Совершенно так же приготовляется и s-диэтилдифенилмочевина

$$\overset{C_2H_5}{\underset{C_6H_5}{\diagdown\diagup}}N \cdot CO \cdot N\overset{C_2H_5}{\diagdown}C_6H_5$$

($t°_{пл.}$ 79°). Все четыре соединения выпускаются в продажу под названием централита; основное применение их—в качестве ценных стабилизаторов для нитроцеллюлозных порохов (вводятся в количестве ок. 2%). Они употребляются также для частичн. замены камфоры при производстве целлулоида, т. к. обладают высоким желатинирующим действием на нитроцеллюлозу и дают вязкий, не ломкий целлулоид. За последнее время в группу централитов вошли также тетраэтилмочевина, $(C_2H_5)_2N \cdot CO \cdot N(C_2H_5)_2$ («централит I») и асимметрич. диметилдифенилмочевина, $(C_6H_5)_2N \cdot CO \cdot N(CH_3)_2$ («централит II»).

Тиопроизводные М. Тиомочевина, тиокарбамид, $CS(NH_2)_2$. Ромбич. призмы, уд. в. 1,405; $t°_{пл.}$ 182°; растворима в воде (~ 9 : 100), мало растворима в спирте. Тиомочевина легко отщепляет H_2S (напр. при действии HgO) и дает цианамид. Лабораторным путем она м. б. получена сплавлением роданистого аммония: $NH_4CNS \rightleftarrows CS(NH_2)_2$. В технике тиомочевину получают, обрабатывая цианамид сернистым аммонием либо сероводородом в кислом или щелочном растворе в присутствии сульфидов сурьмы или олова:

$$CN \cdot NH_2 + H_2S = CS(NH_2)_2.$$

Тиомочевина имеет применение в синтезе красителей. s-Дифенилтиомочевина, или тиокарбанилид, $CS(NH \cdot C_6H_5)_2$—мелкие ромбич. кристаллы; уд. в. 1,32; $t°_{пл.}$ 154°; очень мало растворима в воде, легко растворяется в спирте и в едких щелочах. Получается из анилина и сероуглерода по уравнению:

$$CS_2 + 2C_6H_5 \cdot NH_2 = H_2S + CS(NH \cdot C_6H_5)_2.$$

Для технич. проведения этой реакции применяются следующие методы: а) смесь равных весовых частей анилина, сероуглерода и спирта кипятят 8—10 час. с обратным холодильником, затем отгоняют непрореагировавший CS_2 и спирт и отмывают остатки анилина разбавленной HCl; добавляя к реакционной смеси серу (около 10%), можно значительно сократить время реакции; б) смешивают анилин и сероуглерод с конц. вод-

ным раствором NaOH при обыкновенной $t°$; реакция

$$2CS_2 + 2C_6H_5 \cdot NH_2 + 2NaOH = Na_2CS_3 + 2H_2O + CS(NH \cdot C_6H_5)_2$$

заканчивается в несколько минут (выход 86—88%); в) на смесь сероуглерода (1 моль) с анилином (2 моля) действуют 3%-ным раствором перекиси водорода (1 моль H_2O_2); реакция проходит очень быстро при обыкновенной $t°$. Тиокарбанилид служит для получения некоторых сернистых красителей и как ускоритель при вулканизации каучука. За последнее время как тиомочевина, так и тиокарбанилид получили значительное применение во флотационных методах обогащения руд (главным образом свинцово-цинковых и свинцово-медных) как «собиратели» концентратов. Ряд производных дифенилтиомочевины (а также монофенилтиомочевины и арил-бис-тиомочевины), содержащих алкильные, амино-, нитро-, или окси-группы в ароматических ядрах, также м. б. переведен в сернистые красители.

Азотистые производные М. Нитромочевина, $NH_2 \cdot CO \cdot NH \cdot NO_2$, нитрамид угольной к-ты. Получается из азотнокислой М. постепенным внесением ее в конц. серную к-ту при $t°$ 0—3°:

$$NH_2 \cdot CO \cdot NH_2 \cdot HNO_3 = H_2O + NH_2 \cdot CO \cdot NH \cdot NO_2.$$

Обладает свойствами сильной к-ты; дает однометаллич. производные; сильно взрывчата. Находит некоторое применение в качестве взрывчатого вещества.

Семикарбазид, $NH_2 \cdot CO \cdot NH \cdot NH_2$, гидразид карбаминовой к-ты. Бесцветные призмы, легко растворимые в воде и спирте; $t°_{пл.}$ 96°. Получается нагреванием М. при $t°$ 100° с гидратом гидразина:

$$NH_2 \cdot CO \cdot NH_2 + H_2N \cdot NH_2 = NH_3 + NH_2 \cdot CO \cdot NH \cdot NH_2,$$

либо действием сульфата гидразина $N_2H_4 \cdot H_2SO_4$, в присутствии 0,5 мол. K_2CO_3 на цианат калия KCNO. Семикарбазид—важный реактив на карбонильные соединения: с кетонами и альдегидами он образует хорошо кристаллизующиеся продукты конденсации (семикарбазоны), к-рые при действии разбавленных к-т дают обратно альдегиды и кетоны, вследствие чего реакция с семикарбазидом служит для выделения и идентификации этих веществ. Дифенилкарбазид, $CO\langle^{NH \cdot NH \cdot C_6H_5}_{NH \cdot NH \cdot C_6H_5}$, бесцветные кристаллы; получается путем конденсации М. с фенилгидразином $C_6H_5 \cdot NH \cdot NH_2$ (сплавлением при 155°). Дифенилкарбазон, $CO\langle^{NH \cdot NH \cdot C_6H_5}_{N \quad N \cdot C_6H_5}$, кристаллизуется в оранжевых иглах; получается из предыдущего соединения окислением перекисью водорода в спиртово-щелочном растворе. Оба вещества применяются как реактивы в аналитической химии (для открытия Mg и Hg и при объемном определении нек-рых металлов).

Гуанидин, $HN : C(NH_2)_2$—см. *Гуанидин*. Производными его являются аконины, или алкилоксифенилгуанидины, напр. ди-*п*-анизил-*п*-фенетилгуанидин $C_2H_5O \cdot C_6H_4 \cdot N : C(NH \cdot C_6H_4 \cdot OCH_3)_2$, $t°_{пл.}$ 176°, синтезируемый из *п*-анизидина и CS_2 через ди-*п*-анизилтиомочевину, которую далее конденсируют с *п*-фенетидином в присутствии PbO; о применении аконинов см. *Аконитовое масло*. Нитрогуанидин $HN : C\langle^{NH \cdot NO_2}_{NH_2}$ получается действием конц. H_2SO_4 при охлаждении на азотнокислый гуанидин. В настоящее время для технич. получения его исходят из цианамида, к-рый полимеризуют в дициандиамид, из него действием серной к-ты получают сульфат гуанидина; последний при обработке азотной к-той превращается в нитрогуанидин. Нитрогуанидин применяется как взрывчатое вещество; он дает «холодный» взрыв без пламени, обладая в то же время значительным бризантным действием. Взрывчатыми свойствами обладает также нитрозогуанидин.

Уреиды. Эти производные М. могут иметь как открытую, так и замкнутую структуру атомных цепей. Наиболее общим методом их получения является действие хлорангидридов или ангидридов кислот на М., например:

$$\underset{\text{мочевина}}{NH_2 \cdot CO \cdot NH_2} + \underset{\text{хлористый ацетил}}{CH_3 \cdot COCl} = HCl + \underset{\text{ацетилмочевина}}{NH_2 \cdot CO \cdot NH \cdot CO \cdot CH_3}.$$

Аналогичным же путем, конденсируя М. с хлорангидридами двуосновных органич. к-т либо с самими к-тами в присутствии PCl_3 или $POCl_3$, получают циклич. уреиды. Многочисленные уреиды той и другой группы применяются как фармацевтич. препараты. Из соединений с открытой цепью терапевтическое применение имеют: бромурал, или α-бромизовалерилмочевина $(CH_3)_2CH \cdot CHBr \cdot CO \cdot NH \cdot CO \cdot NH_2$, $t°_{пл.}$ 154°, получаемый из бромангидрида α-бромизовалериановой кислоты и мочевины, иодивал (иодистый аналог бромурала), абазин $(C_2H_5)_2CBr \cdot CO \cdot NH \cdot CO \cdot NH \cdot CO \cdot CH_3$, и др.: все они обладают снотворным действием. Из циклич. уреидов наибольшее значение имеет *барбитуровая кислота* (см.)

$$CO\langle^{NH—CO}_{NH—CO}\rangle CH_2 \ (+2H_2O)$$

служащая для получения ряда производных и применяемая как стабилизатор для перекиси водорода. Производными барбитуровой кислоты являются многочисленные медицинские препараты (также снотворного действия): *веронал* (см.), или диэтилбарбитуровая к-та, мединал (натриевая соль веронала), пропонал (дипропилбарбитуровая к-та) и др.

Лит.: Яковкин Г. А., О синтезе карбамида из аммиака и углекислоты, «Труды Гос. ин-та прикладной химии», М., 1928, *11* (приведен список литературы); его же, «Журнал прикладной химии», М., 1928, т. 1, 2, стр. 69; Werner E. A., The Chemistry of Urea, London, 1923; Meyer V. u. Jacobson P., Lehrbuch der organischen Chemie, 1913—29; Krase N. W., Gaddy V. L., «J. Eng. Chem.», 1922, v. 14, p. 611; McBride R., «Chemical a. Metallurgical Engineering», N. Y., 1925, v. 32, p. 791; Maugé L., «Revue des produits chimiques», p. 1923, t. 26, p. 613 (получение М. из цианамида); Hutin A., ibid., 1927, t. 30, p. 22, 843; «Chemical Trade Journal a. Chemical Engineer», London, 1928, v. 82, *2097*, p. 101 (обзор методов производства М.).—Патенты (указаны лишь позднейшие): а) получение М. из цианамида—Г. П. 301278, 422074, 426671/26, 429847/26; Ам. П. 1572638/26, 1630050/27; Швед. П. 100177; Япон. П. 40298/21; б) получение М. из CO_2 и NH_3—Ан. П. 314443/28, 321566/29; Ам. П. 1453069/23, 1730208/29; в) выделение М. из растворов—Г. П. 422075/26, 455587/28; Ф. П. 628378/28; г) удобрения из М.—Г. П. 431585/26, 460425/28; Ф. П. 597728

Ам. П. 1542986/25; Ап. П. 245768/26. 300329/27, 315485/28; д) искусств. смолы из М.—Г. П. 416753/23, 448201/27, 456082/28, 461357/28, 484972/29; Австр. П. 101656/25; Ф. П. 605970/26; Ап. П. 293872/27; е) фарм. препараты из М.—Ам. П. 1583002/26. **В. Янковский.**

МОЧКА ЛЬНА, одна из самых важных операций первичной обработки льна, от к-рой гл. обр. зависит качество получаемого волокнистого материала. Цель мочки—облегчение выделения волокна по возможности в чистом виде путем удаления из льняного стебля межклеточного вещества, склеивающего между собою отдельные лубяные волокна и связывающего их с древесиною и кожицей стебля. Это межклеточное пектиновое вещество, «пектоза», нерастворимо в воде, но легко превращается в растворимые соединения при действии на него нек-рых микроорганизмов, а также при нагревании его со слабыми к-тами или щелочами, на чем и основаны все разнообразные способы мочки. Последние можно разделить на две основных группы: 1) способы биологич. мочки (естественные и искусственные), когда лен, помещенный в определенные условия $t°$ и влажности, подвергается действию различных микроорганизмов, всегда имеющихся на растении или в воде в достаточном количестве, и 2) способы химич. мочки, когда желательный эффект достигается обработкой льна химич. реагентами.

Близкое изучение показало следующую картину процесса биологич. мочки. Вначале вода, в к-рую обычно погружается льняная солома, выщелачивает из последней углеводы и азотистые соединения, служащие пищей для находящихся на льняных стеблях микроорганизмов. Только после удаления из льняной соломы всех растворимых в воде соединений начинается процесс пектинового брожения, к-рый обусловливается гл. обр. некоторыми аэробными и анаэробными бактериями. Первые действуют сравнительно медленно и только в начальной стадии процесса, к-рый в значительнейшей мере идет за счет деятельности анаэробных бактерий. Последние весьма активны, быстро поглощают весь кислород воды, вызывая этим гибель всего населения водоема, и после окончания собственно пектинового брожения могут начать действовать разрушительным образом на целлюлозу самого волокна. Это заставляет тщательно контролировать ход процесса мочки, чтобы не допустить «перемочки» льна; мочка д. б. прекращена ранее конца пектинового брожения, чтобы не нарушить связи между отдельными элементарными волокнами, т. е. чтобы не получить котонизированного волокна (см. *Котонизация*). Действие вышеуказанных микроорганизмов сводится к тому, что они выделяют два диастатич. фермента—пектозиназу и пектазу; первый переводит пектозу в растворимые в воде пектин и различные сахара, освобождая при этом волокнистый материал, а второй (пектаза) переводит пектин в присутствии солей кальция в студенистую пектиновую к-ту. Последняя покрывает волокна тонким слоем, придавая им жирный блеск и делая их эластичными, и склеивает их в длинные пучки. Наряду с образованием пектиновой к-ты идет также разложение сахаров с выделением углекислого газа, водорода и масляной к-ты, к-рая и обусловливает неприятный запах мочильной жидкости. Оптимальными условиями для биологич. мочки является $t°$ в пределах 25—35° и чистая мягкая и слабо текучая вода, не содержащая солей железа.

Наиболее старым способом биологич. мочки является мочка росовая: высушенную после теребления льняную солому расстилают тонким слоем на низкой траве или скошенном поле так, чтобы она не касалась земли, и подвергают некоторое время воздействию атмосферных агентов (роса, дождь, солнце и ветер). Эта мочка обусловливается гл. обр. деятельностью малоактивных аэробных бактерий и грибков, почему весь процесс и длится 3—4 недели при теплой погоде и до 6—7 недель при холодной; в течение этого времени необходимо несколько раз переворачивать вымачиваемые стебли для получения более однородного волокна. Росовая мочка, к-рая бывает осенней, весенней и даже зимней, очень дешева, но отрицательной ее стороной является длительность процесса и то, что волокно получается неоднородное и пониженного качества с большим выходом пакли при трепке (что обусловливается зависимостью от погоды).

При мочке в стоячей воде соны льна укладывают в несколько рядов в ямах, к-рые лучше всего устраивать в глинистой почве или в цементных бассейнах, заполняемых затем водой. Соны д. б. покрыты сверху водой, хотя бы на 10—15 *см*, и в то же время не должны касаться дна ямы, для чего последнее выстилают обычно слоем ольховых веток, клевера и маковыми стеблями. Эта подстилка, с одной стороны, уничтожает примеси железа, а с другой—придает волокну серебристобелый цвет с голубым отливом, к-рый очень ценится рынком. За границей практикуется также покрывание уложенного в мочильную яму льна слоем грязи для защиты от действия света. Для той же мочки пользуются иногда и естественными водоемами, как озера и пруды; при этом льняные соны укладывают в особые решетчатые ящики. Мочка в стоячей воде длится 8—16 дней и требует внимательного к себе отношения, т. к. в этих условиях в ямах накапливаются бактерии и продукты брожения в таком количестве, что могут совершенно приостановить нормальный процесс мочки и вызвать загнивание мокнущей массы, вредно отзывающееся на крепости волокна. Поэтому часто применяют или двукратную мочку в свежей воде с промежуточной сушкой под открытым небом или же смешанную мочку. Последняя заключается в том, что лен выдерживают в мочильной яме 6—10 дней и вынимают его раньше, чем мочка закончилась, после чего лен подвергают росовой мочке в течение 2—3 недель. В Бретани применяется и обратный порядок смешанной мочки: сначала росовая, а затем водяная мочка. В виду того, что водяная мочка сопровождается полным вымиранием всего населения соответствующего водоема, вымачивание льна в реках запрещено во всех странах. Исключение составляет только часть (в пределах Бельгии) реки Лис, в которой мочка ведется по двукратному спосо-

бу и где получаются непревзойденные нигде результаты благодаря благоприятным естественным условиям (чистая, мягкая и медленно текущая вода и илистое дно, особенно благоприятствующее развитию микроорганизмов). Мочку иногда проводят в каналах с проточной речной водой, к-рую выпускают затем на поле.

Общим недостатком всех вышеперечисленных способов естественной биологич. мочки является длительность процесса, невозможность вести его круглый год и наличие при этом вредных бактерий, портящих волокно. Эти соображения вызвали к жизни искусственные способы биологич. мочки, из к-рых наиболее интересны мочка в теплой воде и мочка в присутствии чистой культуры одной какой-либо бактерии. Первая основана на том, что в теплой воде происходит более быстрое развитие бактерий, и процесс мочки также идет быстрее. Проводится такая мочка в чанах или бассейнах с ложным дырчатым днищем, под к-рым расположены паровые трубы, и длится она всего 4—6 дней при $t°$ в 30—32°. Но при таком быстром развитии бактерий естественно еще труднее уловить момент окончания мочки. Поэтому следует признать более удачной мочку в теплой текучей воде, при которой происходит очень медленная замена мочильной воды; этот способ является т. о. как бы синтезом речной и фабричной М. л. Представителем второго типа искусственной биологич. М. л. является работа по способу Росси в присутствии чистой культуры выделенной им аэробной бактерии Bacillus Comesii, к-рая действует только на пектозу, не затрагивая самого волокна. По этому способу льняную солому укладывают в бассейн, к-рый заполняется теплой водой, нагреваемой затем до 33°, после чего задают чистую культуру бактерии и начинают продувать через жидкость воздух. Вся М. л. продолжается 40—48 ч., причем происходит столь сильное размножение введенной бактерии, что остальные аэробные бактерии развиваются мало, а анаэробные и вовсе не развиваются. Последнее обстоятельство позволяет спускать мочильную жидкость прямо в реку. Получаемое по этому способу волокно часто не уступает по качеству бельгийскому с реки Лис.

За последнее время несколько различных приемов как аэробной, так и анаэробной М. л. разработано проф. Макриновым в Ленинграде. Наибольшего интереса заслуживает предложенное им и нек-рыми другими исследователями многократное использование мочильной жидкости, т. к. накопляющиеся в ней микроорганизмы способствуют более быстрому сбраживанию пектиновых веществ.

Что касается химич. способов М. л., то их предлагалось бесчисленное множество без заметных успехов, отчасти по соображениям экономическим, но гл. обр. потому, что они портили волокно. Частично это можно объяснить тем, что при современных знаниях химич. свойств льняного стебля и волокна трудно найти такой химич. реагент, к-рый действовал бы только на пектозу, не трогая клетчатки волокна, и в то же время не разрушая вещества, склеивающего элементарные волоконца. Наиболее интересным следует признать недавно предложенный способ Пефайна, по к-рому лен обрабатывают водою с примесью 4% нефти под давлением в 1—2½ *atm* в течение 6—12 час. в соответствующих аппаратах. При этой обработке вся пектоза растворяется, и получается весьма доброкачественное волокно с выходом до 30%. Другие, весьма многочисленные, способы химич. М. л. с применением серной к-ты, щелочи, кислых или щелочных солей или других реагентов, как в отдельности, так и в той или иной последовательности или комбинации, имеют пока незначительное практич. применение.

Лит.: Лазаркевич Н. А., Лен—на волокно, Берлин, 1923; Мопахов А. Д., Обработка льна, Петроград, 1923; Шапошников В. Г., Общая технология волокнистых и красящих веществ, Москва—Киев, 1926. **И. Хомский.**

МОЩНОСТЬ, механич. величина, определяющая количество работы в единицу времени. С понятием о М. тесно связано понятие о другой механич. величине, работе, к-рая в отличие от М. от времени не зависит. При решении напр. задачи о количестве работы, которую необходимо затратить, чтобы определенное количество воды поднять на определенную высоту, нет никакой надобности вносить в расчет элемент времени. Однако в поисках за соответствующим источником энергии, к-рый мог бы выполнить эту работу, возникает необходимость остановиться на некотором конечном промежутке времени, в течение к-рого по условиям задания целесообразно осуществить подъем воды,—другими словами, необходимо решить вопрос о способности того или другого двигателя дать определенное количество работы и притом, что самое важное, в определенный срок, т. е. решить вопрос о М. В соответствии с законом сохранения энергии, гласящим, что различные формы энергии могут переходить друг в друга, причем общий запас энергии не меняется, величина М. находит применение в упомянутом смысле не только для механической, но и для всех остальных форм энергии—для теплоты, электричества, света и т. д. Обозначив через T—работу, L—мощность и t—время, имеем согласно определению М., что $L=\frac{T}{t}$, или $T=Lt$; если М.—величина переменная, т. е. она меняется на протяжении рассматриваемого промежутка времени, то имеет место равенство $dT=L\,dt$ или, что то же, $T=\int L\,dt$.

Мерой М. какого-либо потока энергии служит количество энергии, отнесенное к единице времени. В качестве единиц измерения М. служат в технике лошадиная сила (HP) и киловатт (kW), а также *кгм/ск* или Cal/ск., где $A=\frac{1}{427}$ есть механич. эквивалент тепла (см. *Абсолютная система мер. Электрические единицы, Практическая система мер*).

Принимая во внимание, что в настоящем издании метрич. лошадиная сила обозначается сокращенно через HP, можно для сравнения различных единиц мощности пользоваться следующими равенствами:

$$1\,HP = 75\ кгм/ск = 735{,}6.10^7\ эрг/ск. = 0{,}986\ англ.\ лош.\ силы = 0{,}7356\ kW.$$

Измерение М. различных двигателей осуществляется при помощи специальных измерительных установок и приборов, как то: динамометров, тахометров, счетчиков числа оборотов и т. п. Ход рассуждений, к-рыми при этом руководствуются, сводится в общих чертах к следующему. Если в каждую секунду времени вдоль пути длиною v *м* преодолевается сопротивление в P *кг*, другими словами, если скорость движения составляет v *м/ск*, а проекция равнодействующей движущих сил на направление скорости равна P *кг*, то мощность $L=Pv$ *кгм/ск*. Если $Pv=Pr\omega=M\omega$, где $M=Pr$—вращающий момент тангенциальной движущей силы или преодолеваемого сопротивления P при постоянном на валу машины плече r, то очевидно, что измерив силу P, мы в состоянии вычислить M, а затем, зная угловую скорость ω, вычислить М. Угловую скорость можно вычислить по ф-ле $\omega=\frac{\pi n}{30}$ 1/ск., определив предварительно при помощи счетчика оборотов число об/мин. двигателя n.

Применяемые способы измерения М. можно разбить на две группы. К первой относятся способы измерения, сводящиеся к непосредственному определению входящих в аналитич. выражение М. основных величин: силы и скорости, или вращающего момента и угловой скорости. Ко второй группе относятся методы измерения, к-рые обусловлены предварительным преобразованием измеряемой энергии в другую более удобную для измерения форму; измеряют напр. М. динамомашины, соединенной с двигателем, к-рого М. необходимо определить, или вместо определения потребляемой машиной-орудием энергии измеряют энергию, которую потребляет электромотор, приводящий машину в действие (см. *Электротехнические измерения*). К первой группе определения мощности надлежит отнести определение индикаторной М. (см. *Индикатор*) поршневых двигателей и рабочих машин, выражающей отнесенную к единице времени механическую работу расширения или сжатия рабочего тела (теплоносителя в теплосиловых поршневых двигателях и воздуха или газов в рабочих машинах), произведенную или поглощенную последним при его взаимодействиях с поршнем, подвижной деталью рабочего цилиндра машины. Разницу между выраженной в тепловых единицах индикаторной М. поршневых двигателей и всем количеством введенного в двигатель в единицу времени тепла составляют потери тепла согласно второму принципу термодинамики и потери от несовершенства рабочего процесса двигателя. Последние потери зависят гл. обр. от физич. свойств рабочего тела, от особенностей рабочего цикла, к-рый присущ данному двигателю. Для характеристики потерь в теплосиловых машинах кроме индикаторной М. различают целый ряд М. специальных наименований.

Эффективной, или тормозной, М. называют отнесенную к единице времени полезную механич. работу, отдаваемую двигателем на главном валу его; она отличается от индикаторной М. на величину потерь, идущих на преодоление трения в двигателе. Номинальная, или заводская, М. придается на машиностроительных з-дах наименованиям выпускаемых из производства типов двигателей и служит вернее признаком различения типов, нежели целям характеристики истинной М. двигателей. В транспортных машинах (автомобиль) различается М. на ведущих колесах, литровая М. (см. *Автомобиль, Автомобильный двигатель*). Кроме того в автомобильном деле различных стран находят применение самые разнообразные условные ф-лы т. н. налоговой М. У нас в Союзе применяется герм. ф-ла налоговой М. $N=0{,}3\ id^2s$, где 0,3—коэф. для четырехтактных, к-рый заменяется коэф-том 0,45 для двухтактных моторов, i—число цилиндров, d—диаметр цилиндров в *см* и s—ход поршня в *м*. Ф-лы налоговой М., преследуя чисто фискальные цели регулирования налогов, взимаемых с владельцев автомобилей, тем не менее влияют весьма заметно и на конструкцию автомобильных двигателей, т. к. вызывают у конструкторов этих двигателей стремление, не выходя за пределы допускаемых ф-лой налоговой М. размеров цилиндра, путем тщательной проработки конструкции деталей карбюрации, распределительного механизма и т. п. органов и путем увеличения числа оборотов получить двигатель с возможно большей эффективной М.

В кузнечном производстве для характеристики М. кузнечного молота пользуются часто также величиной, к-рая не выражает истинной М., а именно: М. молота обозначают выраженным в m весом падающих частей его.

В электротехнике приняты след. М. специальных наименований. Действительная, или активная, мощность есть количество энергии, отдаваемое или потребляемое машиной в одну ск.; выражается всегда в W или kW. В случае переменного тока, под М. понимается среднее значение М. за полный период изменения тока. Кажущаяся М. есть произведение из действующего напряжения на действующую силу тока; выражается в VA или kVA. В случае многофазной системы под кажущейся М. понимается сумма кажущихся М. всех фаз. Коэфициент М. есть отношение М. электрич. системы переменного тока, выраженной в W или kW, к кажущейся М., выраженной в VA или kVA. Реактивная М. при синусоидальном напряжении и токе есть величина, равная корню квадратному из разности квадратов кажущейся М. и действительной (активной); выражается в VA или kVA. Кроме этих величин различают т. н. номинальные значения величин М., к-рые указаны на щитке машины и совместно с целым рядом других величин характеризуют определенные условия работы машины. Номинальной М. электрич. машин называется указываемая на щитке машины М., к-рую машина должна развивать или отдавать при своем номинальном режиме. Номинальная М. генераторов постоянного тока определяется на зажимах машин и выражается в W или kW. Номинальная М. альтернаторов определяется на за-

жимах машин и выражается в VA или kVA. Номинальной М. электродвигателей называется механич. М. на валу машины, выражаемая в W или kW. Номинальным коэфициентом мощности ($\cos\varphi$) называется отношение номинального значения активной мощности к номинальному значению кажущейся М.

Лит.: см. *Индикатор*; Autenrieth-Ensslin, Technische Mechanik, 3 Aufl., B., 1922; Gramberg A., Maschinentechnisches Versuchswesen, 3 Aufl., B. 2, B., 1924; Linker P. B., Elektrotechnische Messkunde, 3 Aufl., B., 1923; Skirl W., Messgeräte u. Schaltungen für Wechselstrom-Leistungsmessungen, 2 Aufl., B., 1923.

МРАМОР, мелкокристаллич. известняк, состоящий из чистого карбоната кальция или с примесью углекислого магния. Цвет М. очень разнообразен и находится в прямой зависимости от примесей: так, красный, розовый и коричневый цвет придают примеси марганца и железа; черный и серый—углистые вещества; зеленый — змеевик, а также актинолит, серицит и хромовая слюда, желтый—сидерит, лимонит. Полосатый М. получается вследствие неравномерного распределения примесей. Наиболее распространены белые сорта М. Твердость М. определяется его сопротивлением царапанию острием; при этом твердость кальцитового М.—3, а доломитового 3,5÷4; уд. в. кальцитового мрамора 2,7, доломитового 2,9. Хим. сост. определяется самой породой М. как карбоната кальция с примесями Mg, Fe, Mn и других элементов.

Наиболее известны месторождения М. в Италии (Каррара) и Греции (Парос, Эвбея); затем во Франции, Бельгии, Норвегии, США, Германии и др. В СССР имеется большое количество месторождений М., особенно на Урале—гл. обр. в Свердловском, Челябинском и Златоустовском округах (Нижне-Уральское, Сугомакское, Мраморское, Баландинское, Кылгинское и др.). Кроме Урала известны месторождения в Карельской АССР (район Онежского озера); в Сибири,—месторождение Кибикское (на р. Енисее), в Красноярском округе (на р. Базихе), в Иркутском округе (в Слюдянском районе). Недавно открыты прекрасные месторождения М. в Ю. Осетии, на Кавказе. Разведка месторождений М. производится алмазным бурением, а разработка ведется специальными врубовыми машинами в подземных камерах или в открытых выемках. Распиловка М. на доски происходит при помощи ленточных и проволочных пил. В Америке существуют специальные карборундовые станки для выработки из М. колонн, карнизов, рельефных форм и т. п. При правильной постановке производства все отбросы М. должны находить свое применение или в строительном деле, или в обжиге на известь как флюс, или как удобрение; зернистые сорта идут в помол для получения мраморной крупки (для облицовки зданий).

Применение М. разнообразно: 1) как строительный материал—для наружной и внутренней облицовки; 2) для декоративных украшений, перил, балюстрад и пр.; 3) для полов, лестничных плит, подоконников и пр.; 4) для памятников, погребальных урн, мавзолеев и пр.; 5) для скульптурных работ; 6) для столов, умывальников, ванн, безделушек, украшений и т. п.; 7) для мраморных горелок; 8) для извлечений угольной к-ты при производстве минеральных вод; 9) для распределительных досок, рубильников и других электротехнич. приспособлений; 10) для валов и шаров в разных видах промышленности; 11) крупка для облицовки и мозаичных полов; 12) в качестве флюса в металлургии; 13) в дорожном строительстве; 14) для обжига на известь; 15) для удобрения (наравне с известняком). К недостаткам М. относятся гл. обр. трещиноватость, рассыпчатость, неоднородность строения, включения сернистых соединений, окремнение отдельных зон, зерна кварца и т. д. Под влиянием атмосферных явлений М. меняется, теряет цвет, выветривается; его разрушают лишайники, мхи и другие живые организмы. Напр. надписи на памятниках через 100—200 лет совершенно стираются. На западе найден малоизвестный еще у нас способ предохранения мрамора от выветривания—т. н. флюатирование. Безводные соли кремнефтористой к-ты (флюаты) действуют по следующей реакции:

$$6CaCO_3 + 3MgSiF_6 = 6CaF_2 + 3MgF_2 + 3SiO_2 + 6CO_2.$$

М. — магнезия-флюат; плавиковый шпат; двуфтористая магнезия; кварц; углекислота.

В результате выделяется газообразная углекислота и остаются совершенно нерастворимые в воде: плавиковый шпат, кварц и двуфтористая магнезия. Этот способ дает хорошие результаты.

Главнейшими странами, потребляющими М., являются США и Франция. К добывающим странам в первую очередь надо отнести Италию, имеющую основное значение на мировом рынке благодаря своим многочисленным и богатым месторождениям; затем Францию, Бельгию и США. Цены на М. колеблются и зависят от сорта и способа обработки. Основная схема цен (сырья) может быть условно выражена в следующем виде: 35 фт.^{3} = 1 м^3 = 2,5 *т* = 30 ÷ 120 $.

Лит.: Зорин И. А., Шамординский мрамор, М., 1911; Гордиенко М., Мраморы Урала, «МС» М., 1926, *6*; Россиенская Р., Обработка мрамора в Москве, Каменные строит. материалы, под ред. Ф. Левинсона-Лессинга, Ю. Азангеева, Д. Белянкина и др., П., 1923; Тимофеев В. М., Мраморы Олонецкого края, П., 1921; Федоровский Н. М., Минералы в промышл. и с. х., Л., 1927; Геккер И. Ф., Год. обзор минер. ресурсов СССР за 1926/27 г., стр. 628, 630, Л., 1928 (есть лит.); Ферсман А. Е., Мрамор, «НИ». т. 2, стр. 293—330 (лит.). **Н. Федоровский.**

***МТС*-СИСТЕМА,** абсолютная система измерений, в которой приняты: за единицу длины—1 *м*, за единицу массы—1 *т*, за единицу времени—1 *сек*. Эта система была впервые введена во Франции, где соответствующий закон вошел в силу 5/VIII 1920 г. В СССР *МТС*-система введена приказом № 17 Президиума ВСНХ СССР от 5/X 1927 г. для применения при технич. измерениях, причем временно допускается пользование старой технич. системой мер: метр, килограмм-сила, секунда. Комитетом по стандартизации при СТО *МТС*-система введена как рекомендованная (ОСТ 169).

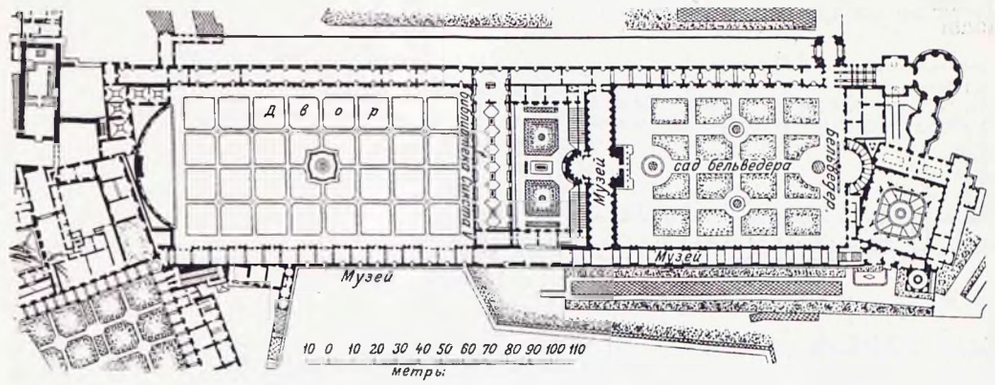
Важнейшими производными единицами *МТС*-системы являются следующие. 1 стен (произносится «стэн», обозначается «sn» или русскими буквами «сн»)—сила, к-рая массе

в 1 *т* сообщает ускорение в 1 *м/сек*^{2}; 1 стен = 10^8 дин; 1 *кг*-сила = 0,980665·10^{-2} сн. 1 килоджоуль—работа, производимая одним стеном при перемещении его точки приложения на 1 *м* в направлении силы; 1 килоджоуль = 10^{10} эргов. 1 киловатт—мощность в 1 килоджоуль в ск. 1 пьеза (pz)—давление, дающее при равномерном распределении его на поверхности в 1 *м*^{2}, общее усилие в 1 стен. Т. о. 1 *кг*-сила/*см*^{2} = 98,0665 пьезы. Грубо говоря, 1 килопьеза равняется давлению в 10 *atm*. Электрические единицы в системе *МТС* отличаются от соответствующих единиц электромагнитной системы *CGS* на множители, равные целой степени 10; так например, 1 ом = 10^7 электромагнитных единиц *МТС*, 1 ампер = 10^{-5} электромагнитных единиц *МТС*, 1 вольт = 10^2 электромагнитных единиц *МТС*, 1 кулон = 10^{-5} электромагнитных единиц *МТС*. Тепловые единицы: 1 термия (th)—количество тепла, необходимое для того, чтобы поднять на 1° С температуру массы в 1 *т* тела, удельная теплоемкость которого равна удельной теплоемкости воды при 15° под давлением в 1,013 гектопьезы (нормальное атмосферное давление); 1 миллитермия = 1 большой калории. Дальнейшие единицы измерений—см. [1].

МТС-система была создана для устранения недостатков, присущих технич. системе мер (гл. обр. непостоянство принятой в этой системе единицы силы: *кг*-сила). Кроме того *МТС*-система должна устранить затруднения, существующие благодаря двойному значению килограмма. Фактически в настоящее время происходит смешение систем абсолютной и технической. Исторически укрепившееся смешение понятий массы тела и его веса привело к тому, что на практике под килограммом понимают одновременно и единицу массы и единицу веса. Такое смешение создает совершенно излишнее осложнение в восприятии простейших механич. взаимоотношений и, что еще важнее, препятствует широкому распространению элементарных количественных представлений о массе и весе. *МТС*-система значительно упрощает основные формулы и делает ненужными коэф-ты пересчета, вроде 1 HP = 75 *кгм/сек* = 0,736 kW и т. п. Против решительного введения системы *МТС* с одновременным запрещением технич. системы было выдвинуто справедливое возражение, что техническая система пока еще допущена во всех странах, даже во Франции, где она законом признана подлежащей отмене. Поэтому запрещение технической системы в СССР создало бы затруднения в международных технических сношениях. *МТС*-система была введена в СССР'с большими усилиями вследствие противодействия ряда крупных специалистов, желавших сохранить технич. систему. К сожалению, *МТС*-система чрезвычайно плохо распространяется. В школах она не преподается, в учебниках физики не приводится, большинство техников не знает о том, что *МТС*-система узаконена в Союзе и что технич. система только допущена временно наравне с системой *МТС*.

Лит.: [1] Скобельцын В. В. и Шпильрейн Я. Н., «Техно-экономический вестник», Москва—Петроград, 1921, *1*. **Я. Шпильрейн.**

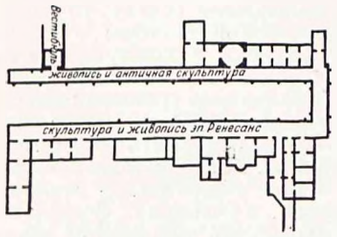
МУЗЕИ, здания, в которых научно собираются, хранятся, изучаются и демонстрируются произведения науки, быта, изящных искусств и различных отраслей техники. Слово «музей» происходит от греческ. слова «музы»—богини наук и искусств. Цель М.—дать облегченное восприятие зрителю в вопросах как научного, так и эстетического характера. В целях массового народного воспитания и просвещения М. еще в древности строились при дворцах правителей вместе с библиотеками, сокровищницами для драгоценностей и редкостей, которые собирались во дворцах. М. также устраивались



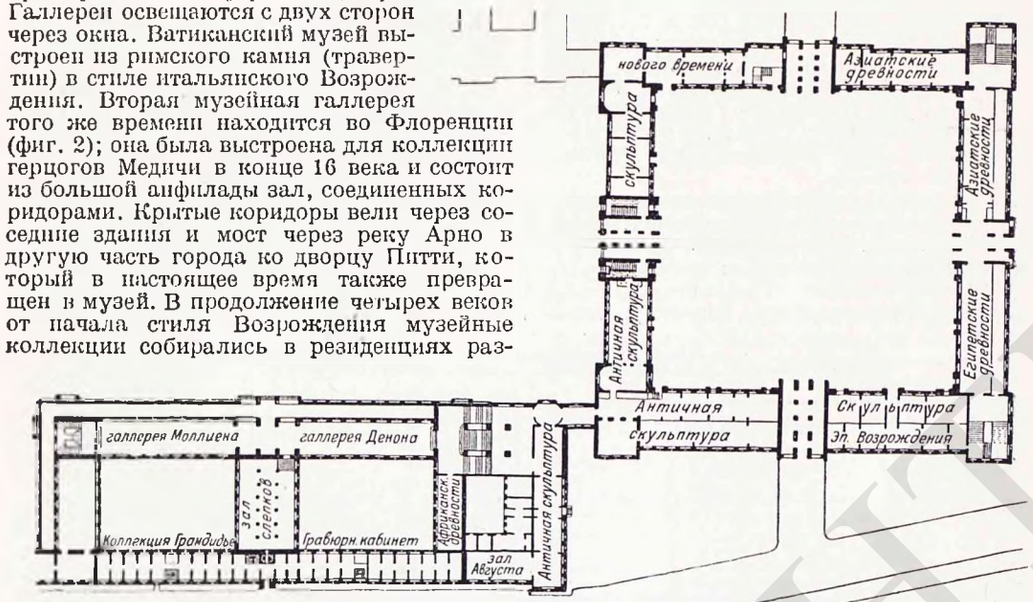
Фиг. 1.

при учебных заведениях вместе с библиотеками (Ленинградский горный институт и Академия художеств). Одним из древнейших М. был М. во дворце Диоклетиана в Спалато (Далмация), известный нам по реконструкциям; здесь галлереи на аркадах (часть дворца, выходящая к морю) были предназначены для М. Вилла Адриана в Тиволи дает другую систему римского дворца-музея. До сих пор многие М. носят название галлерей (Галлерея Уффиций во Флоренции, Третьяковская галлерея в Москве). Анфилада зал, опоясывающих внутренние дворы, дающая возможность зрителю сделать круговой их обход с возвращением к месту первоначального входа, есть схема музейных зданий классич. типа. Стиль ита-

льянского Возрождения дал прекрасные образцы музейных построек для античных скульптур и для других коллекций (Ватикан). Строителем Ватиканского М. (фиг. 1) был архитектор Браманте. Восьмиугольный открытый двор служил для размещения античных мраморных статуй. Непосредственно к двору примыкает музей в виде двух параллельных галлерей в 300 м длины каждая, соединенных между собою широкими залами, образующими два больших прямоугольных внутренних двора. Галлереи освещаются с двух сторон через окна. Ватиканский музей выстроен из римского камня (травертин) в стиле итальянского Возрождения. Вторая музейная галлерея того же времени находится во Флоренции (фиг. 2); она была выстроена для коллекции герцогов Медичи в конце 16 века и состоит из большой анфилады зал, соединенных коридорами. Крытые коридоры вели через соседние здания и мост через реку Арно в другую часть города ко дворцу Питти, который в настоящее время также превращен в музей. В продолжение четырех веков от начала стиля Возрождения музейные коллекции собирались в резиденциях раз-



Фиг. 2.

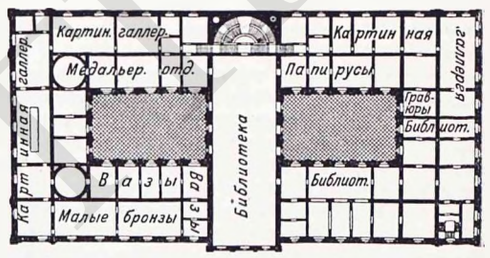


Фиг. 3.

дичных государств Европы: в Германии, Англии, Франции и России—Версальская галлерея в Париже. Луврский музей (фигура 3) там же, музей в Петергофе и б. Царском Селе. Большинство дворцов-музеев имело замкнутые планы с внутренними дворами. Коллекционировались произведения как древние, так и современных художников, скульпторов, научные коллекции, оружие, мебель и пр. Выставленные предметы экспонировались или в хронологическом порядке или по эстетическим соображениям. Потолки и стены покрывались живописью и барельефами по примеру ватиканских росписей Рафаеля.

Одним из первых зданий, построенных специально для М., был Неаполитанский М. (фиг. 4), начатый постройкой в конце 18 в. Залы этого музея расположены в два ряда и выходят окнами на улицу и во внутренние дворы. Здание многоэтажное, каменное.

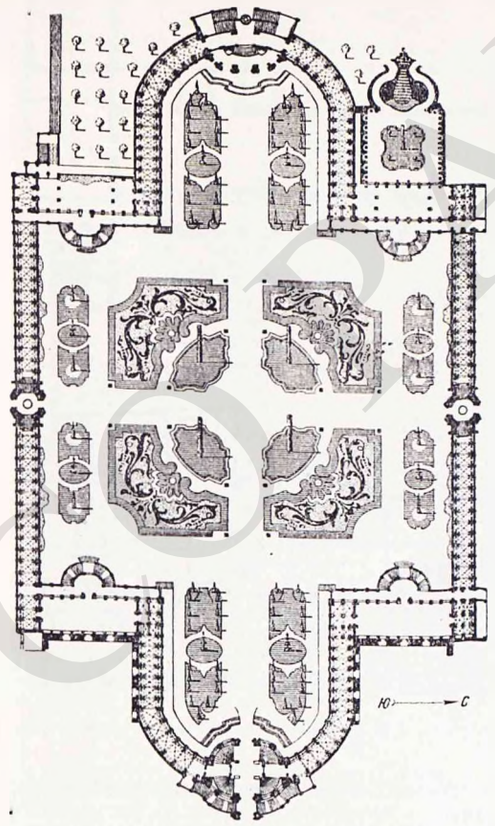
В 18 в. в Саксонии в Дрездене (фиг. 5 и 6) были выстроены музейные галлереи в стиле типичного немецкого рококо. Систематические дворцовые коллекции у нас начали собираться в начале 18 в., когда скупались в Зап. Европе крупные картинные коллекции для Эрмитажа и научные коллекции для Академии наук (коллекция капитана Кука). В конце 18 в. при Зимнем дворце в Ленинграде был сооружен Эрмитаж как самостоятельный М. После французской революции, когда в архитектуре вновь стали увлекаться классич. древностью, музейные здания строились всю первую половину 19 в. в классич. стилях. Во Франции главным М. изящных искусств сделался Лувр, куда были перенесены из Версаля все дворцовые коллекции; после наполеоновских походов Лувр обогатился вывезенными из разных стран произведениями искусства и стал лучшим М. в Европе. В настоящее время этот М., несмотря на многочисленные переделки и приспособления для освещения зал верхним



Фиг. 4.

светом, по своему плану является М. устаревшего типа. В Лондоне в 18 в. был открыт Британский М. с отделениями естествоведения, манускриптов и библиотекой. Сюда же

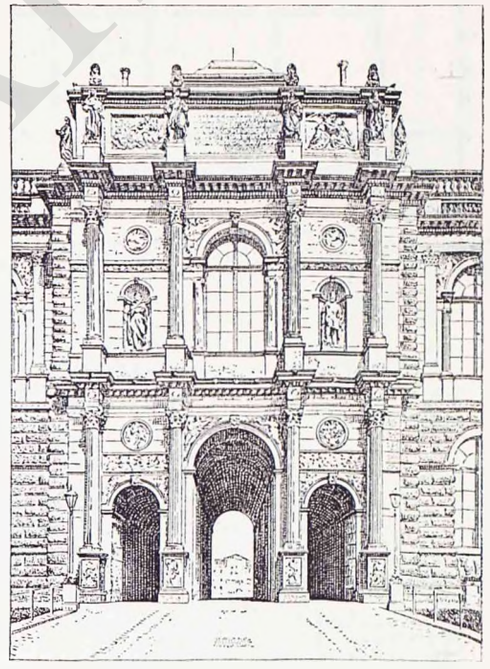
присоединились дворцовые коллекции картин и скульптур и наконец греческие мраморы, вывезенные лордом Эйджином. Для



Фиг. 5.

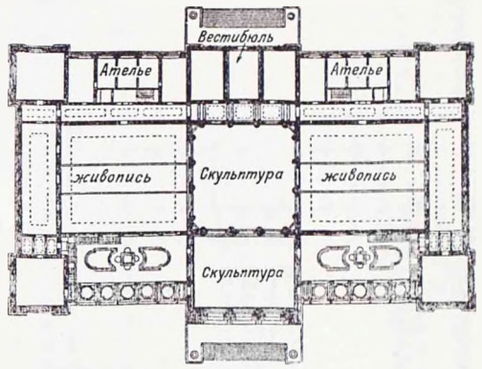
этого М. было выстроено специальное здание в классич. формах. В центре здания находится круглое, освещенное верхним светом помещение для библиотеки, а по периферии прямоугольника идут анфилады зал, частью освещенные боковым, частью верхним светом. В 19 веке благодаря развитию математич. и технич. наук появились многочисленные М. нового типа: естествоведения, техники, прикладных искусств, истории и пр. Частное коллекционерство получило также значительное развитие. Места для построек музейных зданий выбираются в центральных частях города, на площадях, для безопасности—вдали от жилых зданий. Крупнейшие европейские центры сосредоточили музейное строительство в своеобразно застроенные городки на специально отведенных участках, например: в Берлине—Музейный остров, такой же остров в Мюнхене; в Москве намечается музейный центр в месте расположения Музея изящных искусств и Ленинской библиотеки.

Музейные здания разделяются на одно-, двух- и многоэтажные. Одноэтажные здания для малых музеев (фиг. 7—М. в Филадельфии) обыкновенно имеют центральный вход в большой зал с верхним светом, вокруг к-рого группируются другие залы. В двухэтажных зданиях залы первого этажа имеют боковое освещение, а второго—верхний свет. Применяются также внутренние дворы для освещения зал и кабинетов. В двухэтажных музеях большую роль играет парадная лестница, расположенная или в центре или сбоку здания, смотря по расположению плана. Этажи д. б. связаны друг с другом и вместе



Фиг. 6.

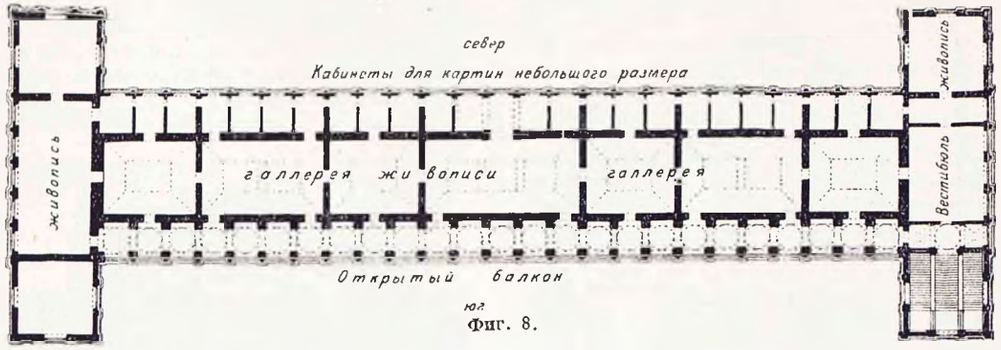
с тем независимы друг от друга для удобства осмотра зал. Бывают круглые М. (циркульный зал в Академии художеств в Ленинграде). При главном вестибюле располагается гардероб, справочные комнаты, кассы, уборные. Тут же находятся канцелярия, комнаты для экскурсоводов и дирекции. Библио-



Фиг. 7.

тека и комнаты для научных сотрудников располагаются частью в первом, а частью в цокольном этаже. Площадь подсобных помещений в М. составляет около 10% общей площади. Для больших музеев устраиваются запасные кладовые, распаковочные и буфеты. Движение зрителя по музейным залам не

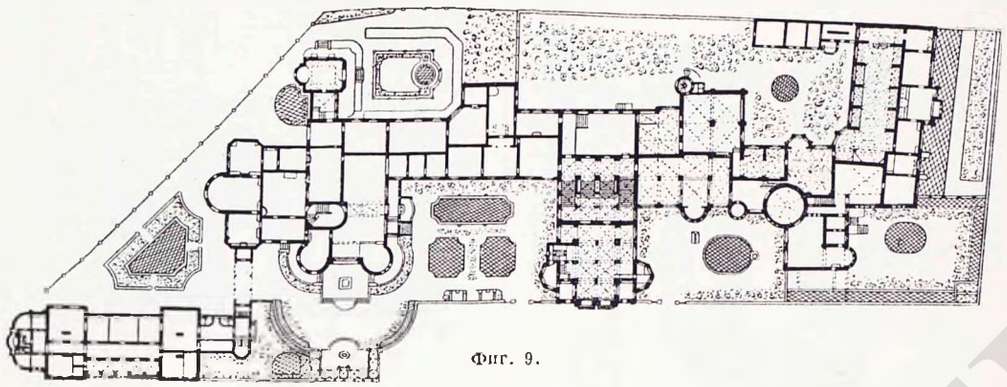
должно смешиваться с движением обслуживающего персонала, для которого устраива-



Фиг. 8.

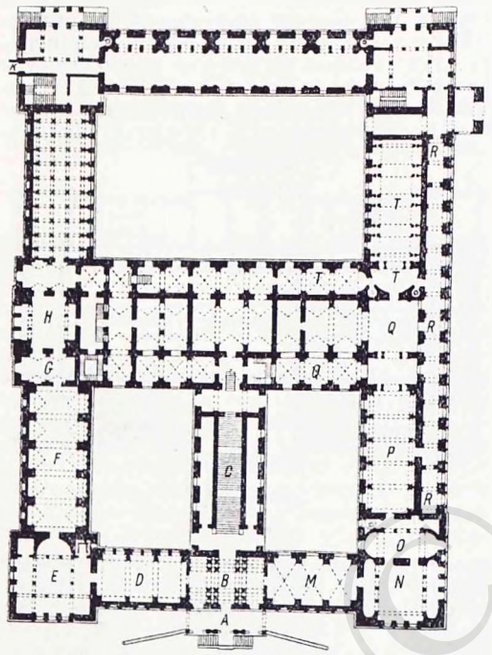
ются отдельные проходы и лестницы. При больших М. устраиваются аудитории и залы

Выставленные в залах предметы должны предохраняться от яркого солнечного света и пыли при помощи штор и пылесосов. Окна и фонари (для верхнего света) М. реко-



Фиг. 9.

для периодических выставок. В музейных зданиях в интересах пожарной безопасности



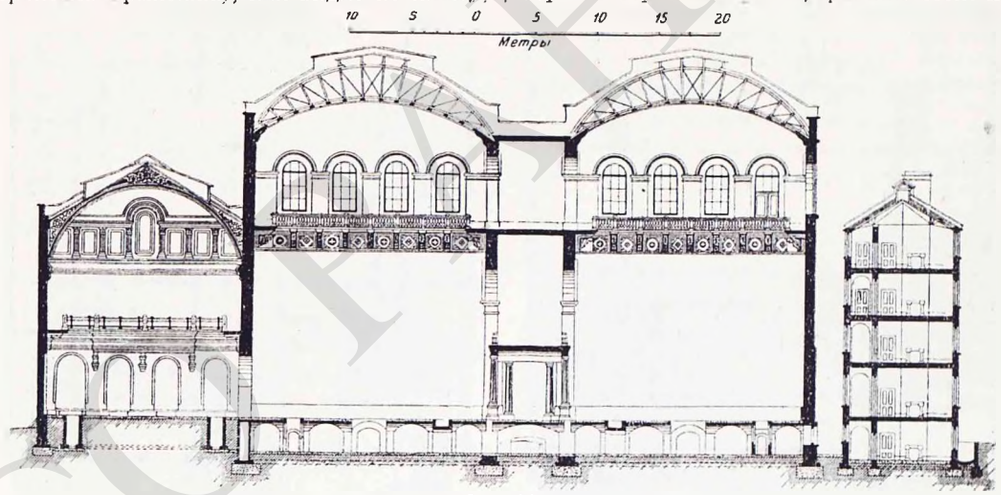
Фиг. 10.

не должно устраиваться никакого жилья.

мендуется располагать на С.-В. и С.-З. Температура в музейных залах д. б. не менее 10° и не более 18° во избежание порчи экспонатов. Влажность воздуха 50—68%. Отопление—водяное низкого давления с побудительной циркуляцией. Печное и воздушное отопление в М. не допускается. Нагревательные приборы должны располагаться вдали от экспонатов: в залах с боковым освещением—под окнами или вокруг них, а в залах с верхним освещением—под полом или в спинках центральных диванов. Вентиляция—приточная и вытяжная. Конструкция музейных зданий: стены из камня или кирпича или каркасной системы с несгораемым заполнением; междуэтажное перекрытие—несгораемое. При наличии электрического освещения д. б. соблюдены правила безопасной проводки. Шкафы и витрины для экспонатов (деревянные или металлические) д. б. застеклены и иметь герметич. затворы. По германским данным для подсчета площадей стен и полов музейных зданий изобразительных искусств принимается: в залах с верхним светом на 1 картину в среднем 3 $м^2$ стены; для зал с боковым светом на 1 картину 2,8 $м^2$ стены; в кабинетах—1,8 $м^2$. Для очень больших картин на 1 картину берется 7 $м^2$ в среднем. На каждые 250 $м^2$ стен (не вычитая дверных проемов) надо считать 200 $м^2$ пола. Для зал с боковым светом на 49 $м^2$ стен полагают 34 $м^2$ площади пола, а в залах с верхним светом на 100 $м^2$ стен считают 80 $м^2$ пола. В нумизма-

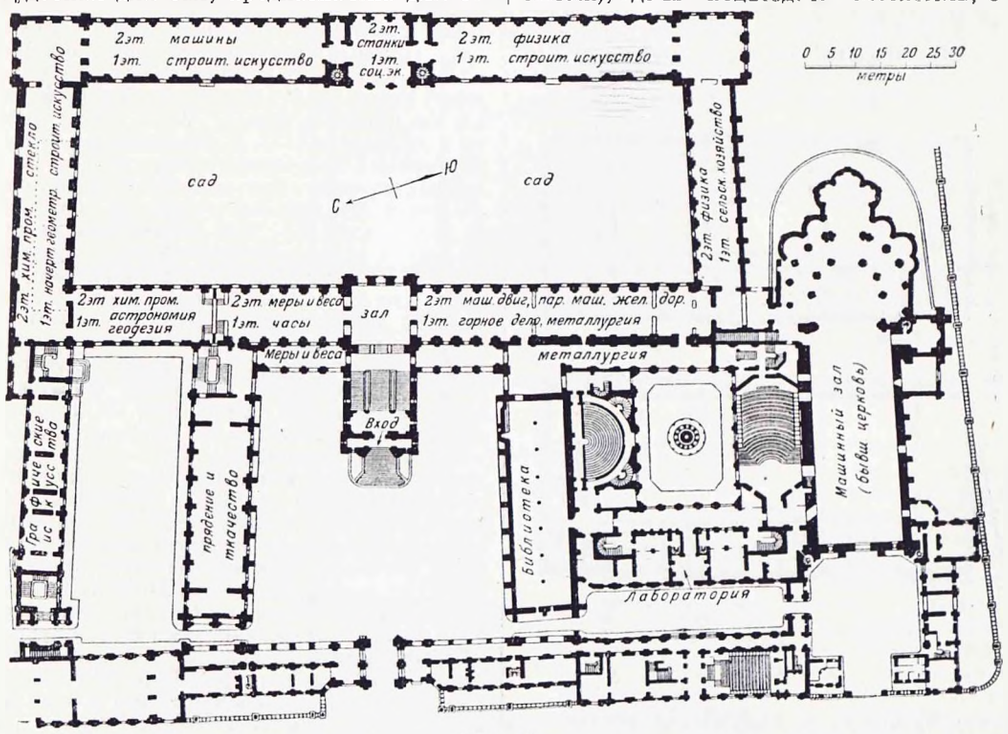
тических коллекциях на 1 $м^2$ витрины считают примерно от 300 до 400 монет.

Старая Пинакотека в Мюнхене (фиг. 8), выстроенная архитектором Кленце (он же строитель Эрмитажа), как видно по плану,



Фиг. 11.

имеет вход с боковой короткой стороны, а в середине плана располагается анфилада зал с верхним светом; с северной стороны примыкает расположенный в двух этажах ряд мелких кабинетов; южная сторона, как неудобная для зал, предназначена для от-

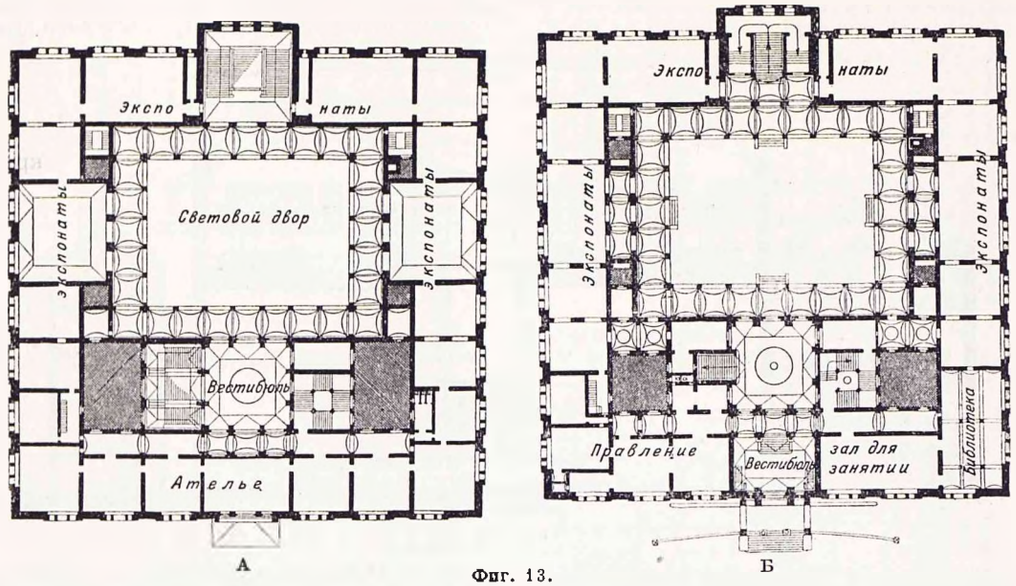


Фиг. 12.

крытого балкона. Высота двух этажей кабинетов равна одному этажу средних зал. Преимущество этой системы перед системой с

закрытыми дворами заключается в том, что ее можно развивать на большой площади, без внутренних дворов, к-рые не дают хорошего бокового освещения вследствие рефлекторных отражений с внутренних стен. Баварский Национальный музей в Мюнхене (фиг. 9), в к-ром экспонатами являются исторические предметы быта, построен по особому плану сложного членения. На фиг. 10 представлены планы М. в Ленинграде (Эрмитаж), где *A*—подъезд, *B*—вестибюль, *C*—главная лестница, *D* и *E*—античный мрамор, *F*—новая живопись, *G* и *H*—античная скульптура, *K*—правление, *M*, *N*, *O*, *P*, *Q*,

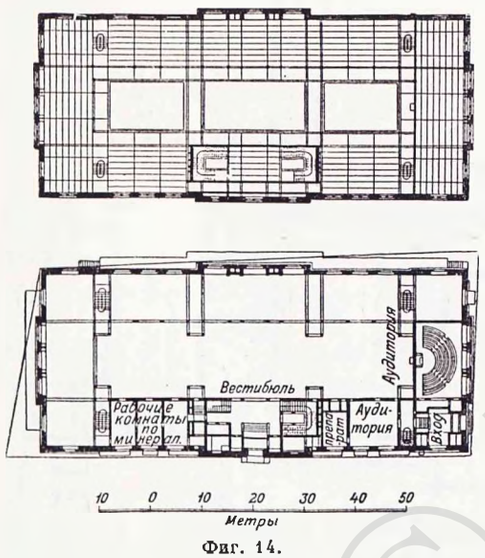
R—библиотека, *T*—гравюры и рисунки. По Магнусу, для зал с верхним светом ширина потолочных окон должна равняться



А Б

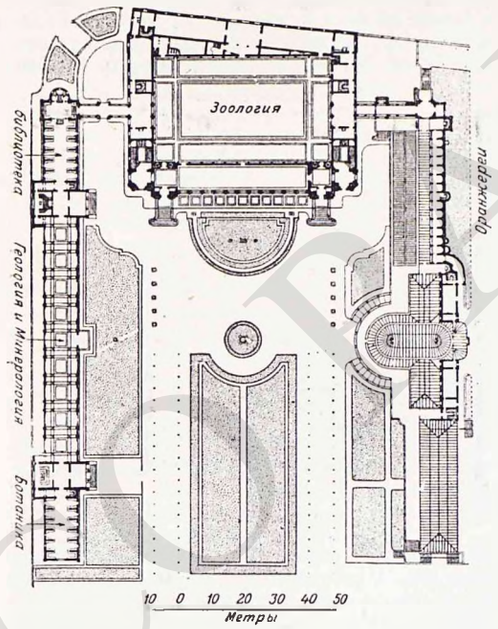
Фиг. 13.

$^1/_8$ ширины зала, а высота стен зала—$^5/_7$ ширины его. Высота развески предметов на стенах принимается равной 1,25—4,70 *м*, считая от пола. Инж. Тиде рекомендует длину больших зал делать 16,60 *м*, ширину—9,10 и высоту—7,85 *м*. Картины в Берлинском М. висят на высоте от 0,84 до 4,70 *м* (считая от пола). В новейших постройках потолочное отверстие относится к площади пола как $^1/_3$ или $^1/_2$. В Лондонской национальной галлерее верхние фонари имеют форму усеченной пирамиды, причем верх ее покрыт крышей, а бока застеклены. Фонари имеют два оконных переплета; третий переплет расположен в плоскости потолка и имеет ма-

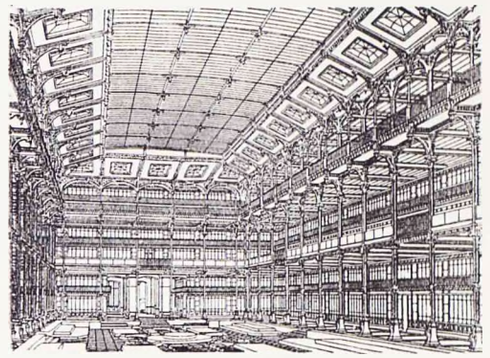


Фиг. 14.

товые стекла. Для рассеивания солнечных лучей стекла верхних переплетов—рифленые; при простых стеклах лучи солнца могут сильно повысить темп-ру зала. В старых М. с остеклением простыми стеклами приделываются специальные форточки для проветривания. В странах с большими снегопадами устраиваются дорожки для сметания снега с верхней части фонарей. Окна зал с боковым светом начинаются на 2 *м* от пола и доходят до потолка. Отношение световой площади к площади пола и в данном случае равно $^1/_3$ или $^1/_2$. Залы имеют высоту и глубину в 5—6 *м*. Наибольшая высота внутренних дверей принимается в 2,5 *м*. В южных странах с большой силой света коэф. освещаемости зал соответственно изменяется (Каирский М.). Для увеличения площади стен в залах ставятся перпендикулярно к продольным освещенным стенам невысокие щиты или располагают передвижные стены, дающие возможность изменять объемы отдельных зал в случаях изменения экспозиции. Для искусственного освещения электрич. светом применяются софитные, скрытые в карнизах потолка лампы, или же источник света устанавливается за матовым стеклом потолка. Полы музейных зал—обыкновенно паркетные. Для некоторых зал со скульптурой применяется для полов мрамор или мозаика. Стены оштукатуриваются и окрашиваются в специальные цвета или затягиваются материей. Отделы гравюры, рисунков и других мелких предметов экспозиции снабжаются подсобными комнатами для научных занятий. М. для ремесел и прикладных искусств возникли из опыта Лондонской выставки 1852 г., после к-рой были построены: в Лондоне (1891 г.) Кенсингтонский М. (фиг. 11), в Париже М. Conservatoire (фиг. 12), а в Берлине Kunstgewerbe Museum (фиг. 13 А, Б). М. прикладных искусств были вызваны требованиями художественно-индустриального образования для фабричного производства. Обыкновенно при такого рода М. устраивают школы прикладного искусства. Кенсингтонский музей, занимая огромную площадь,



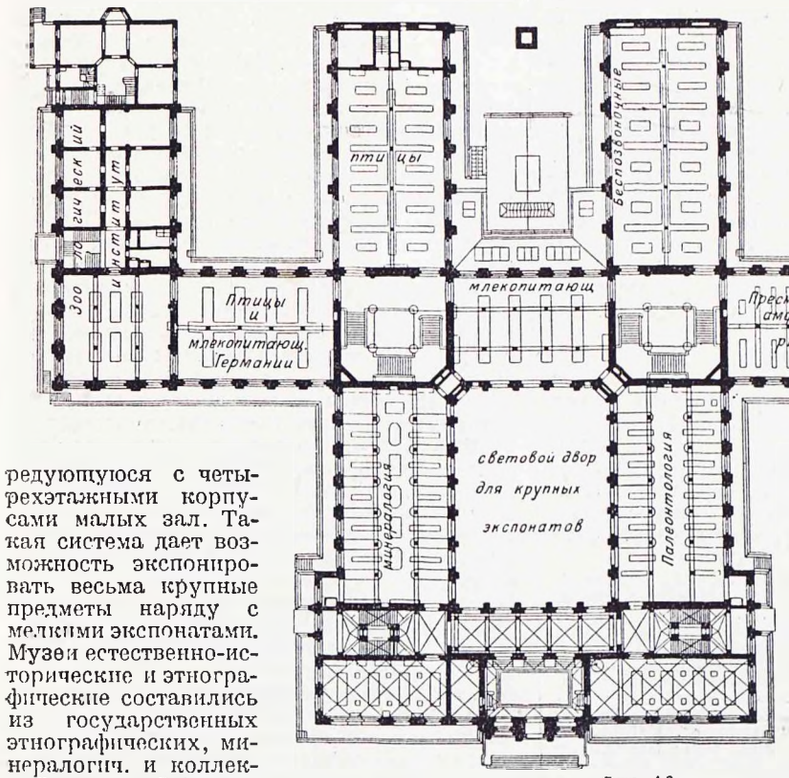
А



Б

Фиг. 15.

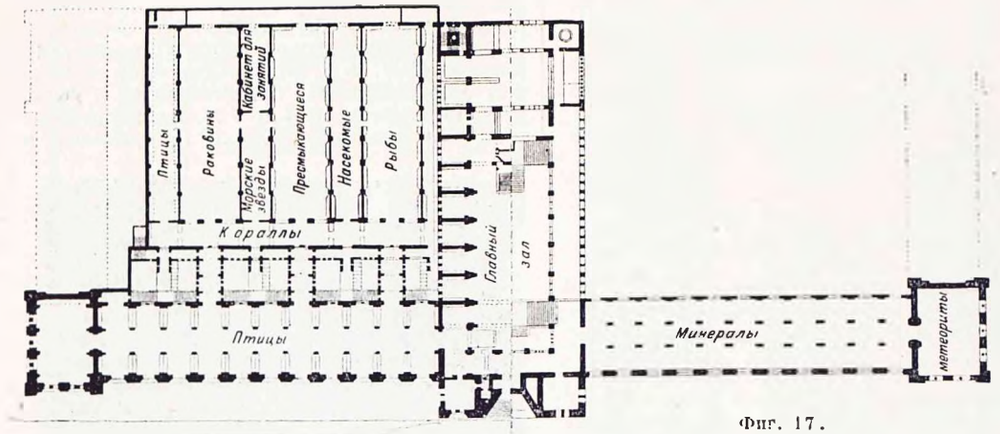
имеет сплошную застройку большими залами (с верхним светом) высотой до 20 *м*, чередующуюся с четырехэтажными корпусами малых зал. Такая система дает возможность экспонировать весьма крупные предметы наряду с мелкими экспонатами. Музеи естественно-исторические и этнографические составились из государственных этнографических, минералогич. и коллекций редкостей (кунсткамеры). Естественно-исторические музеи включают следующие отделы: минералогии, биологии, ботаники и зоологии. При этих музеях устраиваются специальные кладовые, научные кабинеты, аудиторные залы и препарационные комнаты для скелетов. Экспонаты скелетов крупных животных выставляются в залах с верхним светом. В больших залах с верхним светом при высоте стен в 20 и более *м* устраивается несколько ярусов балконов [музеи в Гамбурге (фиг. 14), Париже (фиг. 15 А, Б), Ленинграде]. Высота зал малых этажей, примыкающих к крупным, колеблется от 4 до 7 *м*. Площадь больших зал доходит до 2 800 *м*^{2} при длине 70 и ширине 40 *м* [Берлинский музей Naturkunde (фиг. 16) и Британский музей Naturel History (фиг. 17)]. Второстепенные залы имеют площадь от 200 до 250 *м*^{2}. Современные требования индустриально-технического образования выдвинули идею нового типа М., образчиком к-рого является вновь выстроенный М. в Мюнхене—Deutsches Mus um (см. *Технические музеи*).



Фиг. 16.

К М. специального назначения относятся: у нас—музей Ленина, Льва Толстого, Музей Революции, Красной армии и флота; в

Англии—Музей колоний, во Франции—Музей религии, Торговый музей и т. д. Каждый из них имеет свою собственную программу и специальное здание. В Швейцарии при здании Лиги Наций запроектирован, но не осуществлен еще Музей мировой истории



Фиг. 17.

в виде группы зданий с лекционными залами, библиотеками и другими учреждениями. Проблема нового социалистич. М. заключается в том, чтобы, объединяя в одном здании большие коллекции, М. по своей планировке делился на секции, к-рые могли бы изучаться экскурсантами. Такой способ планировки даст возможность не переутомляться от осмотра М. крупной величины. При М. должны быть лекционные залы, библиотеки, выставочные залы, которые м. б. открыты по вечерам. Специальные помещения для подготовки экскурсантов к осмотру должны помещаться при главном входе в М. Должны быть также устроены специальные комнаты для кратковременного отдыха. Система зал-кабинетов д. б. сконструирована с расчетом их легкой перегруппировки при помощи движущихся переборок. Комнаты для научных занятий могут располагаться частью в цокольном этаже, частью при соответствующих отделах. При помощи системы лифтов и специальной конструкции освещения музейные здания м. б. многоэтажными. Все эти новые данные создадут новый тип музейного здания, проблема к-рого разрешится в ближайшем будущем.

Лит.: Wagner H. u. Wagner H., Gebäude f. Erziehung, Wissenschaft u. Kunst, Handb. d. Architektur, hrsg. v. E. Schmidt, T. 4, Halbband 6, H. 4, 2 Aufl., Lpz., 1906; Das Deutsche Museum, Geschichte, Aufgaben, Ziele, hrsg. v. C. Matschoss, 2 Aufl., Mch., 1926; Baedekers Deutschland in einem Band, 4 Aufl., Lpz., 1925; Führer durch das Märkische Museum, hrsg. v. der Leitung, 14 Aufl., B., 1921; Katalog d. Staatlichen Gemälde-Gallerie zu Dresden, kleine Ausgabe, Dresden, 1927; Kunsthalle zu Hamburg, Katalog d. alten Meistern, 2 Aufl., Hamburg, 1921; Das Kaiser Friedrich-Museum, 8 Aufl., B.—Lpz., 1926; Musée du Louvre, P.; The British Museum, L.

А. Щусев.

МУЗЫКАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, естественные или искусственно созданные орудия для получения музыкальных звуков. Крупное полуфабричное и фабрично-заводское производство М. и. началось в Европе в конце 18 в. и в настоящее время обнимает во всех культурных странах следующие категории М. и.: 1) щипковые, 2) смычковые, 3) клавишные, 4) духовые, 5) ударные. 6) сложные автоматические и 7) звуковоспроизводящие и электрические.

Технология М. и. еще не достигла уровня других точных строительных наук; если при производстве духовых М. и. можно еще говорить о возможности более или менее точного предварительного расчета конструкции инструмента, то про М. и., в состав которых входят резонаторы, сделанные из дерева, сказать этого нельзя. Музыкальному мастеру, строящему инструменты с деревянными резонаторами, приходится считаться с отсутствием гомогенности материала и крайним разнообразием качеств применяемых для резонирующих частей М. и. древесных пород, что и лишает его возможности производить точные предварительные расчеты. Поэтому мастер струнных М. и. кроме технич. познаний и общего знакомства с обработкой дерева должен обладать хорошим тембровым музыкальным слухом и искусством подбора дерева надлежащего качества, сообразуясь с к-рым и конструировать тот или другой М. и. Поэтому же конструкция хорошо звучащих струнных М. и. с деревянными резонаторами возможна лишь строго индивидуальным путем. Современное массовое фабричное производство названного вида инструментов, как показывает действительность, дает в огромном большинстве случаев продукцию посредственного звукового качества, даже при подборе хороших сортов дерева и безукоризненной его машинной обработке. Только при фабричном производстве сложных клавишных и автоматич. инструментов, где механизация обработки материала коснулась гл. обр. корпусов и деталей механизма и где самая существенная акустич. часть инструмента—резонансная дека—в значительной степени изготовляется и подбирается вручную опытными мастерами-специалистами, удалось добиться большей однородности продукции и поднять ее акустические качества на сравнительно большую высоту.

Материалы, употребляемые для М. и. Главным материалом, к-рый употребляется при построении струнных и деревянных духовых М. и., является дерево разных пород. В зависимости от выполнения тех или иных функций в инструменте все применяемые для этой цели породы дерева можно разделить на основные, акустические и отделочные.

а) Основные (построечные) породы идут на выделку корпусов М. и., поддерживающих их звучащие тела, и на игровые механич. части. Сюда относятся: сосна (Pinus silvestris)—идет на выделку корпусов всех клавишных, автоматических и нек-рых других М. и.; ель (Picea excelsa)—применяется для выделки клавиатур и некоторых мелких частей механизмов и инструментов (напр. обручиков в скрипках); кедр (Cedrus Libani)—идет на изготовление крышек роялей; явор (Acer pseudoplatanus)—употребляется на постройку корпусов многих струнных и деревянных духовых М. и., на колковые доски клавишных инструментов; береза (Betula alba)—идет для той же цели, что и явор, хотя и в меньшей степени; кроме того—на выделку ножек роялей и других инструментов; груша (Pirus communis)—идет на выделку мелких частей игровых механизмов и принадлежностей (колки, подгрифки и пр.), а также на изготовление корпусов деревянных духовых инструментов; бук (Fagus silvatica)—применяется для колковых досок клавишных инструментов, крупных и мелких частей игровых механизмов, а также для выделки корпусов деревянных духовых инструментов; дуб (Quercus pedunculata)—идет на основные рамы крупных инструментов и вообще на те части, к-рые должны выдерживать большие напряжения; ольха (Alnus glutinosa)—в виду мягкости, легкости и малой прочности идет на менее ответственные части механизмов и корпусов, где не возникает особых внутренних напряжений, а также на выделку корпусов гармоник; липа (Tilia parvifolia)—применяется в аналогичных случаях, как и ольха; она также применяется для выделки клавиатур фортепиано; красное дерево (Swietenia mahagoni)—идет на постройку наиболее ответственных точных частей игровых механизмов, а также и корпусов инструментов, употребляющихся в тропич. странах, где требуется особая устойчивость по отношению к климатич. влияниям и отсутствие деформаций; орех (Juglans regia)—употребляется на постройку корпусов мелких струнных инструментов и на выделку мелких принадлежностей; граб (Carpinus betulus)—идет на выделку мелких точных частей игровых механизмов, несущих ответственную работу; черное дерево (Diospyros ebenus)—употребляется на выделку черных клавиш клавишных инструментов, на выделку корпусов деревянных духовых инструментов, а также на выделку грифов и других принадлежностей смычковых и вообще струнных М. и.; гренадильное дерево (Brya ebenus)—идет на выделку корпусов многих деревянных инструментов; кокосовое дерево (Inga vera)—употребляется для той же цели; фернамбуковое дерево (Caesalpinia echinata)—вследствие своей выдающейся упругости употребляется для выделки тростей для смычков.

б) Акустические породы употребляются для изготовления звучащих тел и частей, усиливающих звук (резонаторов). Сюда относятся: ель, выросшая в особенно спокойных условиях дремучих северных или горных лесов и получившая вследствие правильного процесса роста в этих условиях равномерную прямослойную структуру; такая ель является наиболее пригодным материалом для изготовления резонансных дек всех современных струнных инструментов; кроме того она иногда применяется для изготовления звучащих брусков ксилофонов; пихта (Abies sibirica), выросшая в подобных же условиях и получившая прямослойную равномерную структуру; она также употребляется для изготовления резонансных дек, хотя значительно реже, чем ель; клен применяется для изготовления звучащих брусков ксилофонов, кастаньет, трещоток и тому подобных мелких ударных инструментов; кроме того он является одним из наиболее подходящих материалов для подставок (кобылок) во всех струнных инструментах, к-рые передают колебательную энергию струн резонаторам; бук, черное, кокосовое, фернамбуковое, кедровое и бразильское дерево (Caesalpinia baahamaensis) служат материалом для звучащих тел разных мелких ударных инструментов.

в) Отделочные породы употребляют для наружной отделки М. и. с целью придания им красивого вида или защиты их от внешних климатических влияний. Сюда относятся разнообразные цветные, б. ч. экзотические, породы: клен «птичий глаз», серебристый клен, карельская береза, груша, черное дерево, якаранда (палисандр), красное дерево, орех, падук (сандальное дерево), тополь, розовое дерево, атласное дерево, чинар и многие другие. Все эти породы применяются обыкновенно в виде тонкой фанеры, которой оклеиваются гладкие поверхности музыкальных инструментов.

Все употребляемые при построении М. и. сорта дерева д. б. основательно высушены не менее 3 лет во избежание последующих деформаций, приводящих инструмент в негодность. В настоящее время, вместо длительной естественной сушки и выдержки дерева, последнее часто подвергают ускоренной искусственной сушке, что является экономически выгодным, уменьшая влагаемый в производство капитал в форме больших по нескольку лет лежащих запасов дерева. Следует однако заметить, что искусственно высушенное дерево несколько уступает по механическим и в особенности по акустическим свойствам высушенному естественным способом, вследствие чего естественный способ сушки предпочтительнее применяется лучшими ф-ками и мастерами М. и.

Значительное применение в М. и. находят также металлы. Сталь применяется в форме струн во многих щипковых струнных и во всех клавишных струнных инструментах (фортепиано, автопиано, оркестрионы и пр.), а равно для выделки звуковых язычков в

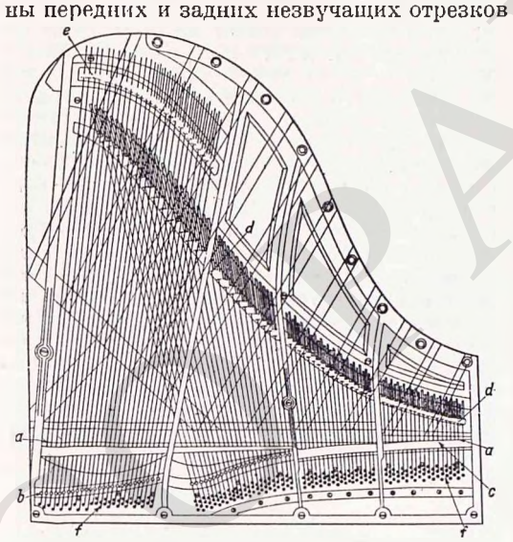
гармониках; железо—для колков, штифтов, шурупов и других мелких частей в тех же инструментах; чугун—для отливки цельных рам фортепиано; латунь—для шурупов, штифтов, клапанов и других мелких частей механизмов сложных клавишных и других инструментов; в форме листов—для изготовления планок, на которые наклепываются звуковые язычки в ручных гармониках; в форме проволоки—для выработки механики в тех же гармониках; медь—в форме проволоки разных диаметров для обвивки струн низких регистров (с этой целью иногда применяется серебро и алюминий; последний вследствие своего малого уд. в. дает худшие акустические результаты). Особое значение имеют латунь, томпак и нейзильбер для постройки корпусов амбушюрных духовых инструментов, а также корпусов нек-рых других духовых и ударных инструментов. Наконец широкое применение находят металлы для изготовления звучащих тел многих самозвучных ударных инструментов (металлофонов, гонгов, колоколов и др.), а также и для звуковых язычков органов, гармоник и тому подобных инструментов. Кроме дерева и металлов довольно широкое применение при построении М. и. находят кожа и мягкие материи (в целях уничтожения нежелательных стуков и шумов при функционировании механизмов), конский волос (для смычков), кишки животных и шелк (для выделки струн), слоновая кость и имитирующие ее материалы, перламутр, черепаха (для облицовки клавиш и наружной отделки), кожи животных (для натяжки в качестве звучащих тел в барабанах и тому подобных аппаратах); для воздушных мехов—прорезиненные материи (для автоматич. инструментов); картон—для производства мехов в ручных гармониках, ситец и клеенка—для оклеивания последних и пр. Для наружной отделки М. и. и предохранения их от атмосферных влияний употребляются различные *лаки* (см.) и политуры, а также красящие вещества. Качество лака особенно важно для смычковых М. и. В этом последнем случае лак д. б. мягким и эластичным, иначе звук инструментов приобретет характер сухости или даже резкости, хотя бы инструменты и были построены правильно в акустическом отношении.

Обычным способом неподвижного скрепления частей корпусов М. и., делаемых из дерева, является склеивание хорошим столярным или рыбьим клеем; скрепление винтами и шурупами применяется гл. обр. в более крупных и сложных М. и. (клавишные, автоматические и т. п.); глухое соединение частей в металлич. М. и. совершается обыкновенно посредством спаивания.

М. и. должен удовлетворять следующим техническим условиям: 1) он д. б. прочным и выносливым; поскольку мы рассчитываем на его долговечность и надежность действия, он д. б. построен таким обр., чтобы его корпус с избытком выдерживал возникающие в нем при игре и вне ее напряжения. В этом отношении М. и. должен быть построен с соблюдением правил строительной механики; 2) он д. б. удобен в обращении, в частности иметь игровые органы такой величины и формы, чтобы игра на них соответствовала анатомо-физиологич. данным; 3) он не должен издавать при игре никаких посторонних звуков, мешающих впечатлению от звуков его звучащих тел; его механизм должен функционировать совершенно беспумно; 4) наконец по своему акустич. устройству М. и. должен допускать возможность максимального использования его звуковых данных.

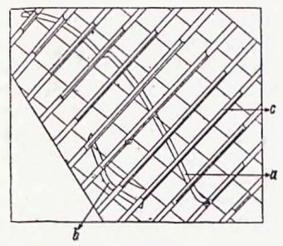
Клавишные М. и. Важнейшим и наиболее распространенным в настоящее время во всех цивилизованных странах клавишным инструментом является ф о р т е п и а н о; его струны приводятся в звучание ударами молотков, последние же приводятся в движение посредством клавишного механизма. В настоящее время строятся два типа фортепиано: горизонтальный—рояль и вертикальный—пианино. Важнейшими частями фортепиано являются: а) корпус с внутренней системой прочных перекладин и наружной облицовкой; б) резонансная дека с ребрами на нижней стороне и штегом (кобылкой) на верхней; в) чугунная литая рама, принимающая на себя всю сумму натяжений струн; г) струны, делаемые из литой стали и частично обвитые в басовых регистрах медной или железной проволокой; д) механика, назначение которой состоит в передаче воздействия пианиста на клавиши ударяющим по струнам молотком и е) педали—ножные рычаги, управляющие силой, продолжительностью и окраской (тембром) звука. Постройка рояля или пианино начинается с проектирования и вычерчивания в натуральную величину т. наз. мензуры инструмента. Для этого начинают с основной прямой линии, идущей поперек всего инструмента,—линии удара молотков. От последней откладывают в обе стороны вычисленные для данного типа и размера инструмента длины струн, получая две кривые линии, соответствующие расположению штегов на резонансной деке и линии аграфов (см. далее). Обыкновенно расстояние от линии молотков до линии аграфов берут в $^1/_7$—$^1/_9$ величины расстояний до линии штегов (разные фабрики придерживаются разных отношений). Полученный чертеж, на к-ром предусматриваются продольные полосы для будущих перекладин чугунной рамы, служит для расчета точной величины корпуса и всех главных частей инструмента (фиг. 1, где *a*—линия удара молотков, *b*—линия аграфов, *c*—каподастр, *d*—дискантовый штег, *e*—басовый штег и *f*—колковая доска). При вычислении длины струн за основу берут длину струны C^5 самого высокого тона (4 224 колебания в ск.), l=5,2 *см* и от нее получают длины струн всех нижних октав, умножая l последовательно на коэфициент k, величина которого в инструментах разных величин колеблется от 1,946 (концертные рояли) до 1,75 (малые рояли и пианино). Длины струн промежуточных высот находят путем интерполяции. Употребляя струны разных толщин: от 0,775 до 1,125 *мм* (более тонкие для высших тонов), уравнивают силу натяжения струн по всему диапазону инструмента. Для правильного расчета мензуры инструментов, равномерного натяжения струн и нахождения их толщин америк.

мастером Венцель-Шмидтом (Нью Йорк) сконструирован в 1913 г. особый аппарат, позволяющий легко, быстро и точно находить требуемые величины. Определив длины передних и задних незвучащих отрезков



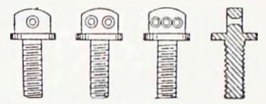
Фиг. 1.

струн (у колков и за штегами), находят точные очертания рамы и корпуса инструмента, по которым изготовляют ряд шаблонов, необходимых в последующем массовом производстве частей для данной модели инструмента. Основой корпуса фортепиано является система прочных деревянных перекладин и распорок (Spreizen), определяющих прочность инструмента. В инструментах прежних конструкций распорки располагали большей частью накрест, в клетку; в инструментах новейших моделей находят более правильным и механически целесообразным делать лучеобразное расположение перекладин. Снаружи по контуру рама корпуса оклеивается досками, составляющими боковые стенки инструмента. При изготовлении боков рояля, имеющих изогнутую форму, их либо склеивают из нескольких частей, соединяемых в шип (старые конструкции), либо по новому америк. методу делают цельновыгнутыми из 6—8 слоев тонких кленовых досок, предварительно распариваемых до мягкости. Такой цельногнутый, высушенный паром в особых формах, обод корпуса рояля, помимо громадной прочности, обнаруживает и лучшие акустические качества по сравнению с корпусами составной конструкции. В готовый корпус инструмента вклеивается резонансная дека, которая изготовляется из особо прямослойного елового дерева равномерной структуры (фиг. 2, где *a*—дискантовый штег, *b*—басовый штег, *c*—ребра, риппы). Толщина ее колеблется обычно от 9 *мм*



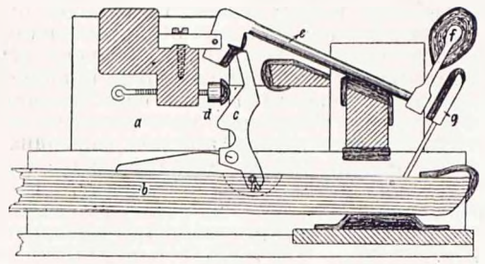
Фиг. 2.

(в басу) до 11 *мм* (в дисканту); в басовой части подбирают более широкослойное, а в дискантовой—более мелкослойное дерево. Направление древесных волокон деки в современных инструментах подбирают приблизительно параллельно основному направлению штегов. На верхней стороне деки приклеиваются (и дополнительно привинчиваются шурупами) штеги: один длинный для среднего и верхнего регистров (гладкие струны) и другой короткий для басовых обвитых струн. Штеги делаются из клена, имеют призматич. сечение и несут на верхней поверхности два ряда косо вбитых штифтов, между которыми проходят, слегка изгибаясь, струны. На нижней поверхности деки наклеиваются на расстоянии 15—18 *см* друг от друга еловые ребра (Rippen) полуцилиндрического сечения перпендикулярно направлению штегов и волокон дерева деки. Назначение ребер—повышение механической прочности деки, сообщение ей добавочного напряжения (для этого ребра делаются несколько изогнутыми до наклейки), главное же—лишение деки возможности колебаться в поперечном направлении, что, как показала практика, обычно ухудшает качество звука инструмента. Готовая дека тщательно просушивается и многократно лакируется для предохранения от климатич. влияний. Сверху резонансной деки, вклеенной в корпус, к нему привинчивается чугунная рама. Модели этой рамы, делаемой из дерева специалистом-модельщиком, дается размер в 1,02 раза более нужной окончательной величины, принимая во внимание усадку при формовке, просушке формы и отливке. Чугун, употребляемый для отливки рам, должен быть мелкозернистый, со значительной вязкостью. Следы S и P ухудшают качество отливки и делают ее хрупкой и малопрочной. Готовая рама очищается, шлаклюется, шлифуется, многократно лакируется и бронзируется. Затем она привинчивается к корпусу, в нее в передней части подгоняется колковая доска (Wirbelbank) с высверленными в ней отверстиями для колков, и ввинчиваются аграфы, а на заднем ободе рамы вбиваются колышки (Anhängestifte) для зацепления струн, после чего натягиваются струны. Колковая доска склеивается из нескольких слоев тщательно высушенного клена или бука слоями накрест и скрепляется с рамой и корпусом инструмента. В высверленные (без употребления масла) каналы забиваются натертые канифолью железные колки, на которые ключом навертываются струны до надлежащей степени натяжения. Спереди струны проходят с некоторым перегибом через отверстия аграфов—винтов с особыми дырчатыми головками (фиг. 3) или (чаще в дискантовой части) под ребром отлитой вместе с рамой поперечной массивной балки — каподастра. Общая сила натяжения всех струн современного рояля доходит до 18—20 тысяч *кг*. Струны фортепиано делаются из лучшей литой стали; при испытании на разрыв они



Фиг. 3.

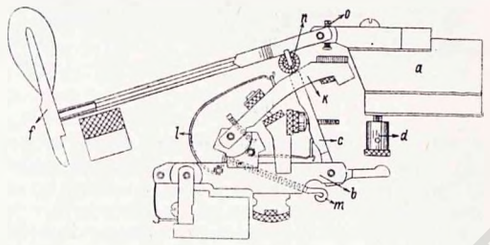
должны выдерживать усилие до 220 *кг/мм²*. Для увеличения массы низких басовых струн без чрезмерного уменьшения их гибкости обычные струны диам. 0,95—1,30 *мм*



Фиг. 4.

обвивают на особых машинах мягкой железной или медной проволокой.

В передней части корпуса рояля или пианино помещается молоточковая механика с клавиатурой, назначение которой состоит в том, чтобы ударами по струнам возбуждать их к звучанию. Существующее множество разнообразных систем рояльных и пианинных механик можно разбить на два главные типа: механики с простой репетицией и механики с двойной репетицией. Первые, к числу к-рых можно отнести т. н. «английскую механику» рояля (фиг. 4) и большинство современных механич. пианино (фиг. 5), более просты по конструкции и выработке, но зато обладают меньшей подвижностью и чувствительностью к повторению ударов. Принцип их устройства и действия состоит в том, что задний конец клавиши или промежуточный рычаг — п е л о т *b* — посредством сидящего на нем толкача—ш п и л е р а *c*—подталкивает основание молоточка *e*, головка последнего *f* ударяет по струне *s* и возбуждает ее к звучанию. В момент достижения молотком струны, шпилер, встречаясь с головкой освободителя *d*, выходит из под основания молоточка; последний отпадает от струны и задерживается особым захватом — ф е н г е р о м *g*. У молотка пианино для этой цели имеется особый отросток *h*. Для заглушения колебаний струны после того, как клавиша отпущена, применяют глушители — д е м и ф е р ы *i*. Механика укрепляется на стойках *a*. Механика с двойной репетицией, которая преимущественно употребляется в лучших современных инструментах, чувствительнее, подвижнее и допускает повторение быстро следующих друг за другом ударов на одной клавише, без необходимости каждый раз возвращения ее в состояние покоя. Существенным отличием такой механики (фиг. 6) от «английской механики» является наличность особого репетиционного рычага *k*, к-рый поддерживается особой пружиной *l*, натяжение которой регулируется винтом *m*; репетиционный рычаг принимает на себя тяжесть отпавшего после освобождения молотка *f* через укрепленный на стержне последнего ролик *n*. Особый ограничительный винт *o* регулирует положение рычага *k*, а вместе с тем и легкость игры на инструменте. Остальные буквы на фиг. 6 имеют то же значение, что и на фиг. 4 и 5. Современные механики обыкновенно вырабатываются на специальных фабриках, снабженных автоматами для выделки их мелких частей. Все деревянные части делаются из лучших сортов тщательно выдержанного дерева (клен, бук, граб, красное дерево, груша); в местах наибольшего трения они полируются и натираются графитом, а во всех местах, где могут возникать посторонние стуки или шумы, снабжаются мягкой матерчатой или кожаной оклейкой.



Фиг. 5.

Фиг. 6.

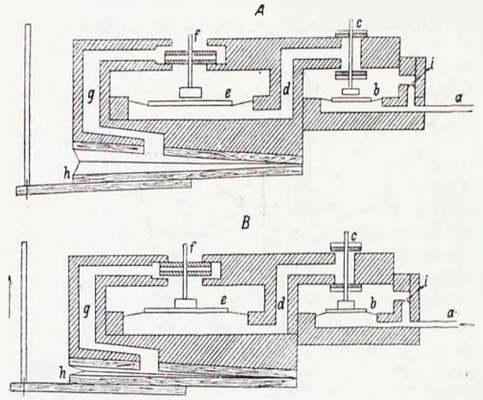
Новейшие механики снабжаются обычно разными регулировочными приспособлениями. Особое значение имеет оклейка головок молотков специальным высокосортным упругим войлоком (Filz); от его качества зависит качество звука инструмента. Выступающая вперед и служащая для игры на инструменте клавиатура выделывается обычно в виде целого деревянного блока и после подготовки всех отверстий и точной разметки распиливается на отдельные клавиши. Нижние, широкие, клавиши оклеиваются пластинками слоновой кости или имитирующего ее материала; на верхние, узкие, клавиши наклеиваются брусочки из черного дерева. К механике имеет отношение также система глушителей (демпферов), назначение к-рых заглушать колебания струн после освобождения клавиши от нажатия. Особый механизм, который соединен с правой педалью, может поднимать разом всю систему демпферов, усиливая звучность инструмента. Другая педаль—левая—при нажатии сдвигает у рояля всю раму с клавиатурой и механикой несколько вправо, так что молоток бьет не по всем струнам одного тона сразу; от этого сила звука уменьшается при некотором изменении его тембра. Левая педаль пианино действует иначе, приближая молотки наполовину к струнам; от этого их размах делается меньше, и сила удара уменьшается.

Готовый инструмент облицовывается цветной фанерой и тщательно полируется до зеркального блеска; для чернополированных

инструментов употребляется прокрашенная в массе нигрозином грушевая фанера. Рояль ставится обычно на три точеных или резных ножки, снабжается резной лирой для педалей, верхними крышками и резным пюпитром для нот. Пианино снабжается крышками (иногда металлич. подсвечниками и ручками) и подставочкой под клапаном для постановки нот. Готовый инструмент подвергается настройке и особой операции для уравнивания качеств звука («интонирование»): последняя требует от мастера чрезвычайно тонко развитого тембрового слуха.

Довоенное потребление роялей и пианино в России доходило до 15 500—16 000 штук в год (из них до 8 000 шт. производилось на русских фабриках, а остальные ввозились из-за границы). Война и революция оборвали производство этих инструментов, и в период с 1918 до 1922 г. в СССР его вовсе не было. С 1923 года оно восстановлено и ныне сосредоточено на Ленинградской фабрике «Красный Октябрь» (б. Беккер), которая выпустила в 1930 г. до 2 400 инструментов, выделывая также механики и клавиатуры, раньше обыкновенно получавшиеся готовыми из Германии и Франции.

А в т о п и а н о. В конце 19 в. неутомимая изобретательская мысль о замене труда пианиста при исполнении музыки работой машины нашла удачные конструкции специальных аппаратов для механической игры на фортепиано. Аппараты эти, известные под разными названиями (пианола, фонола и пр.), делавшиеся вначале приставными к клавиатуре любого рояля или пианино, в настоящее время обычно «встраиваются» внутрь корпуса рояля или пианино, совершенно не изменяя его внешнего вида, акустических качеств и обычных способов игры на инструменте. Являясь добавочными игровыми механизмами, они в любой момент м. б. включены в действие посредством самых несложных манипуляций. В своей основе эти аппараты представляют пневматические механизмы, действующие благодаря разрежению воздуха в особом эксгаустере, состоящем из системы высасывающих мехов, приводимых в движение ножным или моторным приводом. Особая система пневматич. реле управляет действием игровых мехов, приводящих в движение молоточковую механику и другие органы фортепиано. Устройство и действие такого реле представлено на фиг. 7, где: *a*—трубка, ведущая от игровой рейки, *b*—первая мембрана, *c*—первый клапан, *d*—промежуточный канал, *e*—вторая мембрана, *f*—второй клапан, *g*—канал к игровому меху, *h*—игровой мех. Попадающий в канал *a* через отверстия в нотной ленте воздух приводит в действие реле (фиг. 7, В), в к-ром пространства над мембранами *b* и *c* сообщаются с всасывающими мехами, причем игровой мех *h*, сокращаясь, совершает механическую работу опускания клавиши. Отсасывающее отверстие *i* служит для приведения реле в состояние покоя (фиг. 7, А) при прекращении доступа воздуха в трубку *a*. Приведение в действие игровых мехов управляется особыми механическими нотами, представляющими собою ленту из прочной бумаги с пробитыми в ней отверстиями, которые соответствуют нотам исполняемого произведения; при действии инструмента нотная лента, приводимая в движение особым пневматическим мотором, скользит по игровой рейке, закрывая и открывая своими отверстиями каналы рейки, ведущие к трубкам, соединенные с пневматическим реле инструмента. Особые вспомогательные рычаги, соединенные с клапанами, регулируют силу звука, скорость исполнения, а также и другие оттенки исполняемых пьес. Специальную категорию автопиано представляют п и а н о - р е п р о д у к т о р ы, предназначенные для точного воспроизведения живой игры пианистов и композиторов. Являясь вполне автоматическими, во всех своих игровых действиях самоуправляющимися от механических нот инструментами, пиано-репродукторы требуют специально изготовленных нот, представляющих снятые посредством электрических записывающих аппаратов точные копии игры пианистов. Основная схема автопиано с ножным приводом представлена на фиг. 8, где

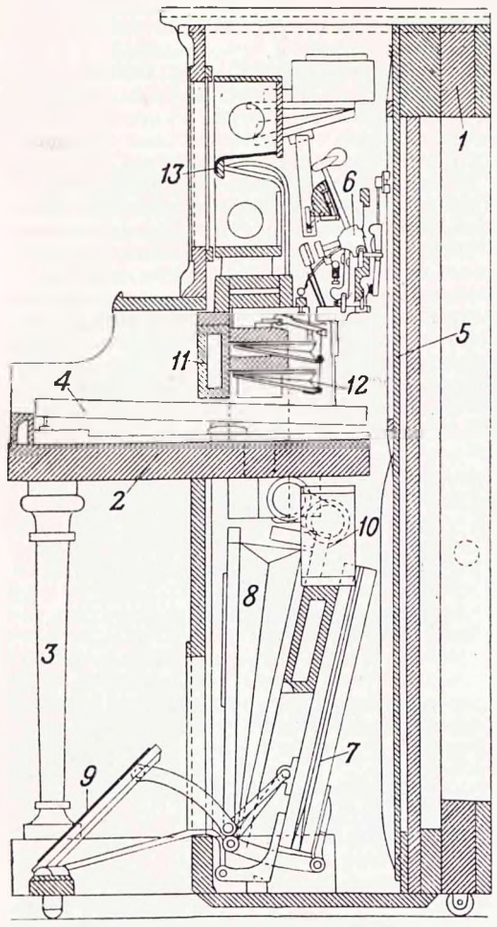


Фиг. 7.

1—корпус пианино, *2*—клавиатурная рама, *3* — консоли, *4* — клавиша, *5* — резонансная дека, *6* — молоточковая механика, *7* — высасывающий мех, *8*—главный воздушный резервуар, *9*—педаль для высасывания воздуха, *10* — промежуточный регулятор, *11* — виндлада и механизм пневматического реле, *12*—игровые мехи, *13*—игровая рейка (Gleitblock). В новейших комбинированных инструментах, а также в пиано-репродукторах в качестве добавочного двигателя ставится маленький ($^1/_8$—$^1/_6$ HP) бесшумно работающий электромотор. Производство автопиано сильно развилось в послевоенное время во всех странах З. Европы и в США, где эти инструменты имеют большой сбыт. В СССР это производство, требующее наибольшей механизации и точности, пока не возникало. Производство механич. нот для автопиано является особой технич. отраслью, требующей специальных записывающих фортепианную игру аппаратов и сложных полуавтоматических ротационных перфорационных машин, а также вспомогательного точного катушечного производства. До войны в России существовали небольшие кустарные слабо оборудованные мастерские с ничтожной продукцией; в настоящее время в связи

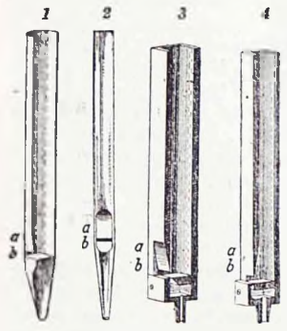
с отсутствием производства инструментов не существует и производства механич. нот.

Орган. Этот М. и. является одним из самых сложных; распространен гл. обр. в



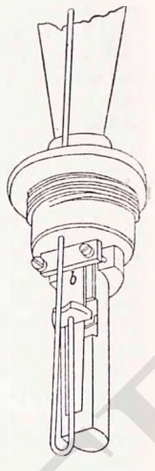
Фиг. 8.

католических и протестантских странах для обслуживания богослужений; употребление его в СССР незначительно. Орган представляет клавишный инструмент с многочисленными флейтовыми (лабиальными) и язычковыми трубами, с искусственным дутьем воздуха посредством механического двигателя. Клавиши, обслуживаемые руками и ногами, регулируют и распределяют приток воздуха в те или иные группы звучащих труб. Важнейшими частями органа являются: 1) корпус, заключающий в себе звучащие трубы и все механизмы органа; 2) наборы (регистры) звучащих лабиальных и язычковых труб;



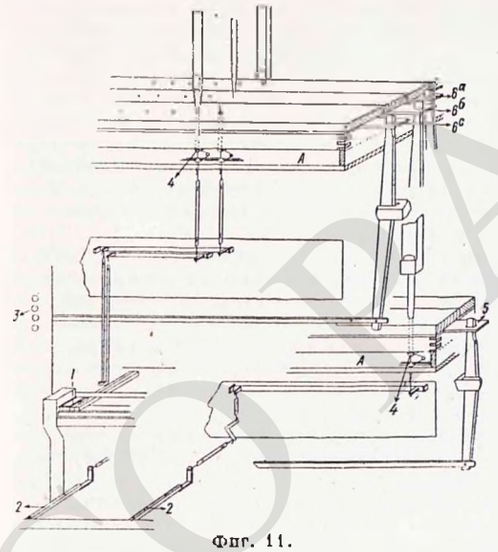
Фиг. 9.

3) воздуходувный (нагнетательный) механизм; 4) игральный стол с клавиатурами для рук и ног и вспомогательными рычагами управления; 5) распределительные и передаточные механизмы от игрального стола к звуковым трубам (трактуры). Проектировка органа начинается с диспозиции (плана) его регистров, т. е. с выяснения точного количества и характера групп его звучащих труб, а также количества его клавиатур и вспомогательных органов управления. При этом принимается во внимание тип трактуры, предполагаемой к установке в данном инструменте. Все приведенные данные позволяют вычислить основные размеры корпуса органа и выяснить внутреннее расположение всех его частей. Корпус органа строится из разных сортов дерева (дуб, ясень, орех и др.), причем в зависимости от стиля и архитектурной отделки помещения снабжается соответственной внешней отделкой, резьбой и т. п. Единого стиля и образца построения органов, в противоположность например фортепиано, не существует; каждый орган является инструментом индивидуальной конструкции, диспозиции и внешней отделки. Звучащие трубы органа делятся на две основные группы: 1) свистящие (флейтовые, или лабиальные), 2) язычковые. Первые (фиг. 9) функционируют вследствие трения, происходящего между струей воздуха, выходящего из наконечника *b*, и острым краем отверстия *a* (лабиум) трубы, благодаря чему в струе воздуха рождаются ритмич. возмущения. В язычковых трубах (фиг. 10) струя воздуха, приводя в колебание находящийся на ее пути гибкий металлич. язычок *b*, прорывается через прикрываемое им отверстие малыми порциями, создавая в окружающей воздушной среде периодич. толчки. Лабиальные трубы органа (фиг. 9) делятся на две категории: открытые на конце, противоположном лабиуму, и закрытые; последние при той же длине звучат приблизительно на октаву ниже открытых труб. В зависимости от материала они бывают деревянные *3* и *4* дающие звуки более мягких тембров, и металлические *1* и *2*—из сплава олова со свинцом (так наз. органный металл), дающие более яркие тембры. Язычковые трубы органа также бывают двух категорий: с бьющими язычками (большинство язычковых регистров органа) и с проходящими, свободными язычками. Каждой клавише (т. е. каждой ступени звукоряда) соответствует отдельная звучащая трубка, каждому тембру—отдельный комплект органных труб, специально сконструированных, в зависимости от желаемого звукового эффекта. Так. обр. современные большие органы имеют громадное количество звуковых трубок и являются весьма дорогими и сложными М. и. Органные трубы, сгруппированные по регистрам, устанавливаются устьями на особых воздухораспределительных коробках (виндла-



Фиг. 10.

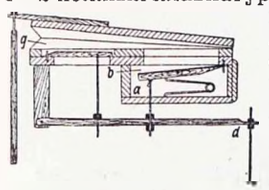
дах), заключающих в себе систему воздушных каналов, распределительные клапаны и механизмы. Потребный для функциониро-



Фиг. 11.

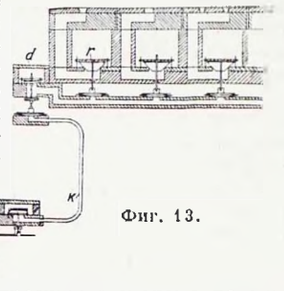
вания органа объем сжатого воздуха доставляется воздуходувными механизмами, состоящими в органах старых конструкций из системы нагнетательных мехов, а в новых органах—из центробежных воздуходувок. В качестве двигательной силы в настоящее время почти исключительно применяются электромоторы. Нагнетаемый воздух накопляется в главном воздушном резервуаре под определенным давлением (85—120 *мм* водяного столба), откуда он по системе главных воздушных каналов распределяется к отдельным виндладам и к вспомогательным механизмам.

Игральный стол в органах с механич. или пневматической трактурой (см. далее) обычно составляет часть корпуса инструмента; в инструментах с электрич. трактурой игральный стол м. б. отделен от самого органа и поставлен в любом месте, либо сделан передвижным, будучи соединен с органом гибким бронированным электрич. кабелем. Он заключает в себе несколько (2—5) ручных клавиатур—мануалей—для игры руками и 1—2 ножных клавиатуры—педали. Кроме того в игральном столе помещаются и все органы управления инструментом, которые и дают возможность играющему извлекать из органа разнообразные звуковые эффекты, в зависимости от количества и сочетания включаемых в действие звучащих труб. Механизмы передачи от клавиатур к трубам (трактуры) устроены различно. Самая старая и примитивная система—механическая передача (фиг. 11): нажим клавиши *1* и *2* или выдвигание регистровой рукоятки *3* посредством соответственной рычажной передачи открывает тот или иной

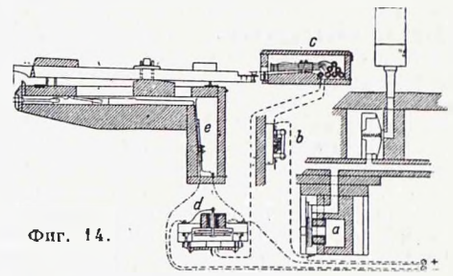


Фиг. 12.

клапан *4* органа, где *1*, *2*—ручные и ножные клавиши, *3*—регистровые рукоятки, *4*—клапаны, *A*—воздушные коробки (канцеллы), *5* и *6*, *a*, *б*, *c*—общие задвижки (параллели). Эта система передачи м. б. удобной только в малых инструментах; при возрастании числа одновременно приводимых в движение рычагов и клапанов трудность нажима клавиш возрастает. Большим шагом вперед явился пневматич. рычаг Баркера (1832 г.). Здесь механическая передача от клавиши посредством рычага *d* (фиг. 12) открывает легкий клапан *b*, пропускающий воздух из канала *a* в вспомогательный мех *g*; последний же приводит в движение прочие звенья передачи. Дальнейшим усовершенствованием явилась пневматич. трактура (фиг. 13): здесь клавиша *e* приводит в действие крошечный клапан *a*, пропускающий воздух по трубке *k* в пневматич. реле *d*, открывающее воздуху доступ в канал, соединенный с механи, открывающими клапаны *r* отдельных труб. При этой системе число механических звеньев трактуры сведено до минимума, благодаря чему действие системы получается безукоризненное. Наряду с пневматич. трактурой в современных органах широко применяется электропневматическ. трактура (чисто электрич. трактура оказалась весьма неудобной и ненадежно действующей, а потому не была принята). В этой системе (фиг. 14) клавиши и регистровые рукоятки замыкают электрические контакты *c* и *e*; возникающие в цепях токи, приводя через промежуточные реле *b* и *d* в движение электромагнитные воздушные клапаны *a*, распределяют воздух в желательном направлении.



Фиг. 13.



Фиг. 14.

Гармониум. Этот сравнительно небольшой клавишный инструмент имеет в качестве звучащих органов металлические проходящие (свободные) язычки, приводимые в действие струей воздуха, либо выходящей наружу под действием нагнетающих мехов (немецкая система), либо всасываемой через язычки внутрь инструмента (американская система). Необходимое сжатие или разрежение воздуха производится системой складчатых мехов, приводимых в движение ногами

играющего. Регулировка силы и тембра звука гармониума производится способом, аналогичным употребляемому при игре на органе—включением и выключением отдельных наборов голосов (регистров) и вспомогательных механизмов. Гармониум находит себе главное применение в странах, пользующихся органом, в качестве дешевого портативного домашнего инструмента, напоминающего по характеру звука орган; в СССР является мало распространенным инструментом, и фабричного производства его нет.

Сложные автоматические М. и. Эти инструменты, известные под общим собирательным наименованием «оркестрионы», представляют сочетание одновременно и согласованно действующих автоматич. фортепиано, небольшого органа с лабиальными и язычковыми регистрами и нескольких автоматически действующих ударных инструментов. Приводятся они в действие посредством ленточных механических пот (см. выше—автопиано); почти исключительно применяемая система передачи — пневматическая с разрежением воздуха; необходимая энергия доставляется небольшим электромотором. Фабричного производства таких инструментов в России не было.

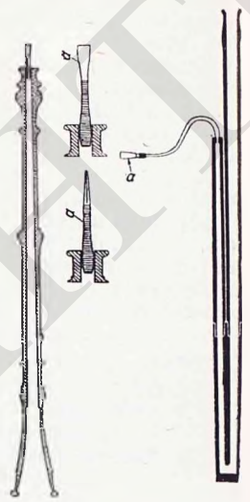
Звуковоспроизводящие инструменты см. *Граммофон*, *Фонограф*, *Кино звуковое*.

Электрические М. и. не вышли еще из стадии лабораторных опытов отдельных изобретателей, и фабричного производства их, если не считать *электрограммофона* (см.), не существует. В большинстве случаев в них используются разностные комбинационные тоны между токами двух генераторов высоких частот («Терменвокс» Термена, 1921 г., «Виолена» № 1 и 2 Гурова и Волынкина, 1922 г., «Сонар» Ананьева, 1929 г. и другие); реже применяют непосредственно токи звуковых частот (катодный гармониум Ржевкина, 1922 г.) или фотоэлектрический эффект (сверхпианино Шуберта, 1928 г.).

Духовые инструменты. Эта группа в оркестровом и отчасти в производственном отношении делится на деревянные и медные духовые инструменты. К подгруппе деревянных относятся: свистящие (флейты) и язычковые (гобой, кларнет, фагот) инструменты, корпусы которых делаются большей частью из твердых тяжелых сортов дерева. Преимущественно применяются: клен, бук, кокос, груша (для дешевых инструментов), гренадильное и черное дерево (для дорогих инструментов). Трубка инструмента, даже если он и небольшой величины, обыкновенно делается из нескольких составных колен, плотно соединяемых между собой (так, чтобы не было утечки воздуха). Во избежание растрескивания или расширения, колена стягивают на концах металлич. обручиками. Внутренний канал трубки инструмента д. б. точно и аккуратно высверлен; поверхность стенок его должна быть совершенно гладкой, т. к. неровности или шероховатости затрудняют звукообразование и делают звуки инструментов глухими и сиплыми. Для регулирования высоты звука все деревянные духовые инструменты снабжаются бо́льшим или меньшим числом боковых отверстий, к-рые сокращают длину действующего воздушного столба; отверстия эти частью прикрываются концами пальцев играющего, частью же особыми клапанами с б. или м. сложной рычажной передачей. Рукоятки клапанов, служащие для нажатия пальцами, располагают в удобных для музыканта местах; концы клапанов, прикрывающие отверстия, кончаются тарелочками, выложенными кожаными или пробковыми подушечками. Клапаны и их части делаются большей частью из нейзильбера или никеля; по системе различаются открытые и закрытые клапаны.

Флейты. Обыкновенные поперечные флейты имеют слабоконич. канал, суживающийся к выходу; недалеко от более широкого закрытого конца находится боковое отверстие овальной формы для вдувания воздуха. Число отверстий для пальцев бывает 6—7, клапанов—до 14. В 1825 г. немецкий флейтист Т. Бём предложил цилиндрическое сверление канала флейты, а также улучшенное расположение отверстий и новую систему клапанов. Флейта строится в нескольких разновидностях, разной величины и диапазона, из них наиболее употребительны: нормальная оркестровая флейта и малая флейта-пикколо, звучащая на октаву выше предыдущей. Кроме дерева на изготовление флейт иногда также употребляется металл (нейзильбер, серебро), слоновая кость, карболит или стекло; последнее однако вследствие крайней хрупкости оказалось непрактичным материалом, хотя и наилучшим в отношении качества звука инструмента.

Гобой (фиг. 15) принадлежит к язычковым инструментам, имеющим конический, расширяющийся к выходу, канал с небольшим раструбом на конце и наконечник, состоящий из двух сближенных краями гибких камышевых пластинок; при вдувании воздуха края пластинок *a*, приходя в колебание, рождают звук. По величине и диапазону гобои близки к флейтам; имеют 6 отверстий для пальцев и 14—15 клапанов. Разновидность гобоя большей величины — английский рожок.

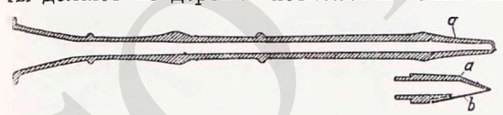


Фиг. 15.

Фиг. 16.

Фагот является инструментом, родственным гобою; как и последний, имеет конический канал и наконечник сходного с гобойным устройства. Вследствие большой длины трубки фагота (до 2,94 *м*) последняя приблизительно по середине переломлена пополам и оканчивается внизу овального сечения концом—башмаком, внутри которого и происходит поворот канала инструмента (фиг. 16). Наконечник вставляется в конец добавочной изогнутой металлической трубки. Фагот имеет от 18 до 22 клапанов, так как зажимание пальцами всех его отверстий, вследствие его величины, невозможно. Разновидностью фагота является контрафагот с трубкой вдвое большей длины, звучащий на октаву ниже нормального фагота. Корпус контрафагота делается часто из металла.

Кларнет (фиг. 17) имеет цилиндрич. канал с небольшим раструбом на конце. Для возбуждения звука кларнет имеет особый клювовидный наконечник *a*, в к-ром зажимается металлич. зажимом широкая гибкая камышевая пластинка *b* (трость) с тонким верхним краем, вибрирующая при вдувании и рождающая звук. Вследствие акустических особенностей (возможность получения только нечетных обертонов) кларнет для получения полной хроматич. гаммы снабжается большим числом клапанов (до 20 шт.) особо сложного устройства и расположения. Нормальные оркестровые кларнеты делают из дерева—нескольких близких



Фиг. 17.

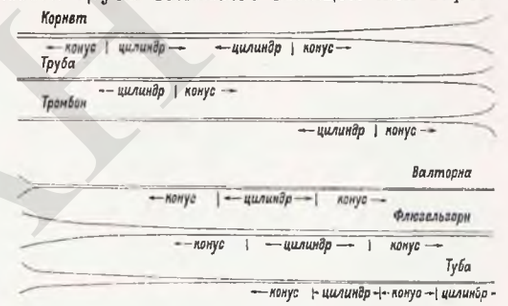
друг к другу величин (строев); дорогие инструменты солистов и для военных оркестров делают также металлические. К числу разновидностей кларнета относятся альтовый и басовый кларнеты, большей величины, делаемые с деревянными и металлическими корпусами.

Саксофон (мензура саксофона изображена на фиг. 18), инструмент, изобретенный Ад. Сакссом в 1844 г., имеет кларнетный наконечник с тростью; канал его—конический, притом расширяющийся к выходу. Саксофоны делаются исключительно металлическими, сохраняя однако все свойства и особенности деревянных духовых ин-

Фиг. 18.

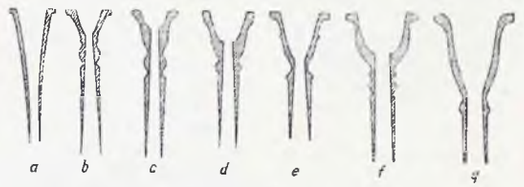
струментов. Высота звука регулируется сложной системой отверстий и клапанов. Саксофоны строят шести величин: сопрано, альт, тенор, баритон, бас и контрабас.

Медные духовые инструменты. Это не вполне правильное по существу название присвоено подгруппе амбушюрных М. и., возбуждение звука в которых достигается посредством вибрации сближенных натянутых краев губ играющего, приставляющего губы к дульцу, или устью (embouchure), инструмента. Как правило медные духовые инструменты представляют более или менее конические, расширяющиеся от устья к выходу, узкие, длинные трубки, делаемые всегда из металла—латуни, томпака и других медных сплавов (мензуры некоторых медных духовых М. и. представлены на фиг. 19). В целях удобства пользования длинные трубки медных духовых инструментов обыкновенно многократно изгибают, сворачивают в кольца, овалы, зигзаги и т. п. Такого рода изгибание трубок, во избежание спадания и прогибов стенок, производят в наполненном каким-либо пластич. веществом состоянии; чаще всего полость трубы заливают свинцом или варом.



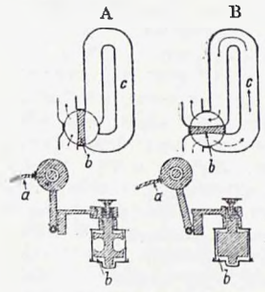
Фиг. 19.

После сгиба, к-рый производится отковыванием и вытягиванием на соответственных станках, залитое в трубку вещество удаляют посредством выплавления. Отдельные колена труб, если они д. б. соединены наглухо, спаивают медным припоем. В устье трубы вставляется для игры особый наконечник—мундштук (фиг. 20, где *a*—мундштук валторны, *b*—корнета, *c*—трубы, *d*—альтгорна, *e*—теноргорна, *f*—баса и *g*—контрабаса, тубы), имеющий вид конической воронки (для валторн) или более или менее полушарообразной чашечки (все остальные ин-

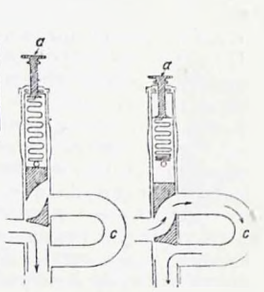


Фиг. 20.

струменты). Для изменения высоты звука служит механизм вентилей или пистонов, или же трубка инструмента имеет выдвижное колено (т. н. кулиса у тромбона). Механизм вентилей (фиг. 21, А), изобретенный в 1813 г. Блюмелем, состоит из 3—4 вращающихся клапанов, изменяющих направление воздуха внутри инструмента. При нажатии пальцем клавиши *a* вентиля клапан *b* поворачивается (В) и отводит струю воздуха в удлиняющее ответвление *c* (крону), отчего звук



Фиг. 21.



Фиг. 22.

инструмента понижается на интервал, соответствующий длине кроны (на $^1/_2$—1—$1^1/_2$ тона). Аналогично действует механизм пистонов (фиг. 22), отличающийся от вентилей

поступательным движением поршневидного клапана. Инструменты без изменяющих высоту звука приспособлений называются натуральными, остальные — хроматическими. Из многочисленных разновидностей медных духовых инструментов главнейшими являются: корнет, труба, валторна, альтгорн, теноргорн, баритон, бас, контрабас (туба) и тромбон, который бывает двоякого рода: с кулисой или с вентилями.

Ударные М. и. В эту группу объединяют М. и., часть к-рых не имеет звуков ясно выраженной высоты; другая же, хотя и дает звуки определенных музыкальных высот, но, подобно первым, играет в оркестре главным обр. ритмическую роль.

Барабаны. В современной музыке употребляются три вида барабанов: большой, малый (военный) и ручной бубен (тамбурин). Все они состоят из деревянных или металлических цилиндрических б. или м. широких обручей, с натянутыми на них кожами (телячьими, козьими или ослиными). Кожи прикрепляют (приклеивают) к узким обручам, которые натягиваются на корпус барабана посредством зигзагообразной шнуровки (веревками или ремнями), или, что лучше и удобнее, особыми натяжными винтами (6—12 штук, смотря по величине барабана). Большой и малый барабаны имеют по две кожи, тамбурин—одну. Для удара в большой барабан употребляется массивная деревянная колотушка, с мягкой шарообразной головкой из кожи или прессованного войлока. Малый, или военный, барабан ударяется двумя тонкими палочками из твердых сортов дерева, с небольшими шарообразными головками у утонченного в виде конуса ударного конца. С целью усиления трескучести удара на нижней поверхности малого барабана, у самой перепонки, натягиваются по диаметру две толстых жильных струны посредством особого бокового натяжного винта с барашковой головкой. Тамбурин, являясь самым малым ручным видом барабана (диам. 18—36 *см*), имеет низкий легкий деревянный обруч с несколькими прорезами, в к-рых на проволочках свободно висят попарно маленькие медные тарелочки. Кроме того внутри обруча на радиально натянутых проволоках повешены маленькие колокольчики либо бубенчики. Литавры, будучи родственным барабану инструментом, имеют вид полушарообразного толстого котла, выкованного из меди. На верхнем широком отверстии котла посредством металлического обруча и натяжных винтов с барашками натягивается телячья кожа, по к-рой при игре бьют двумя тонкими деревянными колотушками с мягкими шарообразными головками. Внизу котел имеет небольшое круглое отверстие для сообщения его внутренней полости с атмосферой. При игре литавры ставятся на раскладной деревянный треножник. Для удобства и возможности быстрой и точной перестройки делают т. н. «машинные» литавры, т. е. снабжают их механизмом для быстрой настройки на желаемую высоту тона. Механизм этот бывает либо в виде общего приводного винта ко всем точкам натяжного обруча, с боковой рукояткой (фиг. 23), либо котел насаживается на винтовой шпиндель, на к-ром по резьбе ходит вспомогательное колесо для изменения натяжки обруча при вращении котла (фиг. 24), или же наконец литавры снабжаются педальным рычажным механизмом для изменения степени натяжения перепонки или для изменения ее поперечника. В зависимости от надобности и строя, литавры строятся с котлами диам. 48—71 *см*.

Тарелки представляют собой кованые латунные или бронзовые тонкие круглые пластинки с выпуклостью в центре, где

Фиг. 23.

Фиг. 24.

сквозь отверстие пропущена кожаная рукоятка; при игре обыкновенно ими ударяют друг о друга. Лучшие тарелки—внеевропейского производства: китайские и турецкие. Последние считаются особенно хорошими по звуку. Треугольник состоит из толстого стального прута, согнутого в виде равностороннего тр-ка. При игре подвешивается за один из углов и ударяется стальной палочкой, давая резкий высокий звук. Ложки—связка звенящих медных тарелочек или бубенчиков на оправе; при встряхивании последние дают смесь резких звенящих звуков. Бунчук, — употребляется преимущественно в военных оркестрах (в кавалерии)—палка с украшениями и подвешенными погремушками, колокольчиками и т. п. При встряхивании дает, подобно ложкам, смесь звенящих звуков. Гонги—металлические (б. ч. бронзовые) кованые тонкие диски разнообразного профиля: плоские, в виде сковороды, с низкими отогнутыми краями, с выпуклостью в центре, в виде неглубокого сосуда и т. п. При игре подвешиваются на шнурке за один из краев и ударяются вблизи центра деревянной колотушкой, обыкновенно с мягкой головкой. Лучшие гонги — южноазиатского производства (Индия, Индокитай, Китай). Колокола—массивные литые металлич. сосуды специфич. формы, подвешенные около центра и ударяемые по краям, обычно жесткой металлич. колотушкой, часто подвешиваемой внутри колокола (т. н. «язык»). Отливаются из сплава 78% меди и 22% олова, с допущением отклонения в 3% на примеси других металлов. Для языков и ушей колоколов употребляется обыкновенно ковкий чугун.

Ксилофоны, металлофоны и тубафоны представляют наборы большего или меньшего количества хроматически настроенных брусков или пластинок из твердого дерева или металла или металлич. трубок (стальных или бронзовых). При игре

эти звучащие тела кладутся на мягкие подкладки и ударяются двумя маленькими деревянными колотушками. В последнее время металлофоны часто делают с клавишным молоточковым механизмом. Особую разновидность клавишного металлофона представляет челеста (изобретенная Мюстелем в 1886 г.), имеющая молотки, обтянутые фильцем (как в фортепиано), и коробчатые деревянные резонаторы под каждым звучащим бруском. Кастаньеты представляют пару кусков твердого дерева (бук, бразильское, черное, кедровое, гренадильное или кокосовое дерево), имеющих форму вогнутых раковинок. При игре держатся за связывающий их шнурок у ладони. Суррогатом настоящих испанских кастаньет являются оркестровые, делаемые из двух подвижных раковинообразных пластинок по бокам средней двояковогнутой, снабженной рукояткой. Они бывают одиночные и двойные. В последнее время, в связи с развитием джаз-оркестров, музыкальноинструментальная промышленность вырабатывает ряд разнообразных мелких ударных инструментов (там-там, флексатон, трещотки и пр.), а также специальные приспособления для обслуживания нескольких инструментов одним человеком. **П. Зимин.**

Смычковые М. и. Смычковыми называются те М. и., у которых звук получается путем трения волос смычка, натертых канифолью, о струны инструмента. По своей основной конструкции все современные смычковые инструменты являются в сущности скрипками, и отличаются друг от друга лишь названиями, размерами и тембром издаваемого ими звука.

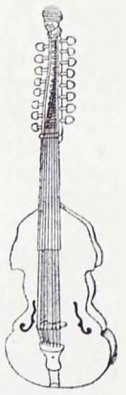
Фиг. 25.

Фиг. 26.

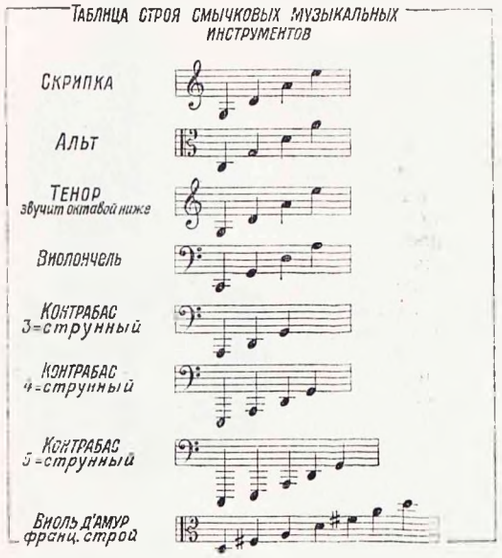
Таким обр. мы имеем: скрипку (фиг. 25: *а*—завиток, *б*—головка, *в*—колок, *г*—верхний порожек, *д*—шейка с грифом, *е*—бочки (обечайки), *жс*—усы, *з*—эфы, *и*—подставка, *к*—подгриф с закрепленными и перекинутыми через подставку струнами, *л*—нижний порожек и кнопка под ним), инструмент соответствующий по своему тембру человеч. голосу сопрано, альт, соответствующий контральто, тенор (редко употребляемый), соответствующий голосу того же наименования, виолончель (фиг. 26), к-рая соответствует голосу баса, баритона и в высоких регистрах тенора, и наконец контрабас (фиг. 27), звучащий ниже человеческого голоса. Кроме названных смычковых инструментов в настоящее время изредка употребляется еще инструмент, носящий название виоль д'амур (viola di amore, фиг. 28) и являющийся одной из дошедших до нас разновидностей когда-то очень распространенного семейства виол. За исключением только что названной виолы, которая имеет 14 струн (7 над грифом для игры смычком и 7 под грифом, т. н. бурдонных или резонирующих), а также контрабаса, к-рый бывает о 3, 4 и 5 струнах, все остальные смычковые инструменты имеют по 4 струны, настраивающиеся по квинтам; контрабас настраивается (во всех разновидностях) по квартам. Строй различных смычковых М. и. показан на фиг. 29.

Фиг. 27.

Основною составною частью всех смычковых инструментов является деревянный резонансовый корпус (кузов), состоящий из двух дек (досок), соединенных между собой бочками (или обечайками). Верхняя дека, называемая также резонансовой, делается из ели. Она имеет выпуклую форму и выдалбливается из одного целого куска дерева или из куска, склеенного посредине (по фуге) из двух равных половинок. По бокам на верхней деке прорезываются звуковые отверстия, называемые эфами в виду их сходства с названной буквой латинского алфавита. Нижняя дека делается из фигурного клена (агра или явора). У скрипки, альта, тенора, виолончели и более высоких сортов контрабаса она также бывает выпуклой и выдалбливается либо из целого куска либо из склеенного из двух половинок. У виоль д'амур и у большинства контрабасов нижняя дека не выпуклая, а плоская. Как и нижняя дека, бочки (обечайки) делаются из клена и приклеиваются к декам при по-



Фиг. 28.

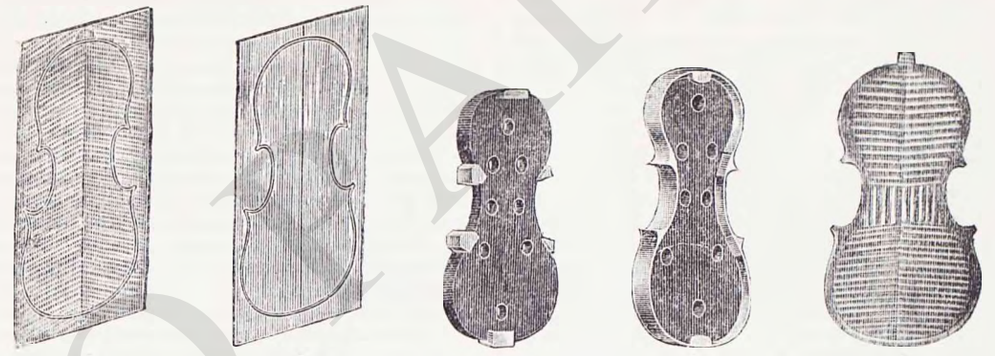
мощи шести кусочков дерева (из ели, ольхи или липы), называемых клоцами, или стойками; кроме того обечайки оклеиваются снизу и сверху изнутри узкими полосками (елового, ольхового или липового дерева), к-рые называются обручиками. Делают это для того, чтобы придать бочкам бо́льшую прочность и усилить их сопротивляемость натяжению струн, а также чтобы удобнее было приклеивать к бочкам верхнюю и нижнюю деки. На верхней деке снизу параллельно фуге с левой стороны (если смотреть снаружи) приклеивается тонкая (5—6 *мм*) еловая пластинка, называемая пружиной,

Фиг. 29.

цель к-рой подкрепить верхнюю деку, в виду давления на нее струн, и сообщить плотность звуку двух последних струн, в особенности баска́. К кузову в верхней его части приклеивается шейка, или ручка, заканчивающаяся головкой, украшенной завитком (спиралью) или каким-либо резным украшением (например львиной головкой). В головке просверливается с каждой стороны по 2 отверстия, в к-рых вращаются 4 сделанных из черного дерева колка для натягивания струн, концы к-рых навертываются на колки в особом колковом ящике, выдолбленном в головке. На ручку наклеивается пластинка черного дерева, овальная с наружной стороны, к-рая называется грифом и к-рая доходит почти до половины верхней деки. К верхней части грифа, около колкового ящика, приклеивается небольшой кусок черного дерева, несколько выступающий над грифом и называемый верхним порожком. Посредине нижней обечайки, где с внутренней ее стороны приклеен нижний клоц, просверливается отверстие, в к-рое вставляется сделанная из черного дерева кнопка. Над кнопкой, в соответствующем вырезе, сделанном в верхней деке, приклеивается нижний порожек, состоящий подобно верхнему из небольшого куска черного дерева. На кнопку на толстой струне надевается пластинка из черного дерева близкой к тр-ку формы, называемая подгрифом, или струнником. В верхней части подгрифа сделаны 4 отверстия для закрепления струн, причем подгриф опирается струной, которой прикреплен, о нижний порожек, а струны через подставку и верхний порожек, имеющие соответствующие зарубки, перекидываются к колкам. Подставка помещается на линии зарубок эфов, делается из клена и у различных смычковых инструментов имеет различную форму. Назначение подставки—передавать колебания струн корпусу инструмента. Внутри корпуса скрипки (и других смычковых инструментов) помещается между верхней и нижней деками точно пригнанная к ним своими концами круглая палочка из елового дерева, носящая название душки. Акустическая роль душки до сих пор с точностью не выяснена, но во всяком случае без душки смычковые инструменты теряют всю яркость своего тембра. Душка помещается несколько позади правой ножки подставки. Около краев верхней и нижней дек в последние врезываются т. н. усы: тонкие пластинки, склеенные из трех деревянных лент—двух черных снаружи и одной белой посредине. Делается это частью для украшения инструментов, частью же для предотвращения возможности излома краев инструментов далее определенной границы, которой служат усы.

Строение смычковых инструментов и материалы, из к-рых они изготовляются, как видно, отличаются большой простотой; но для того чтобы построить хорошо звучащий смычковый инструмент, от мастера требуется большой талант и хорошее знакомство с классич. образцами смычковых инструментов, не говоря уже о том, что хороший инструмент м. б. построен только из дерева безукоризненных качеств. Строгой научной теории построения смычковых инструментов к сожалению до сих пор не существует, хотя за последние годы и появилось немало сочинений, посвященных решению «загадки скрипки». Единственная работа, к-рая до настоящего времени сохраняет в этом отношении свое значение,—это работа франц. физика Савара, опубликованная им еще в начале 19 в., под заглавием «Mémoire sur la construction des instruments à cordes et à archet». Выводы, к к-рым Савар пришел в этом мемуаре, основываются на изучении им лучших скрипок Страдивари и Гварнери и сводятся к тому, что деки названных инструментов были определенным образом настроены и основной тон воздушного столба, заключенного в кузове, был всегда около si или si-бемоль малой октавы по современному камертону.

Самый процесс построения смычковых инструментов в общем одинаков для всех и в основных чертах м. б. описан следующим обр. на примере построения скрипки (см. фиг. 30, где: *1* и *2*—кленовая и еловая доски с начерченными на них контурами скрипичных дек; *3*—колодка с вставленными в вырезы 6 стойками, из к-рых две изображены в обработанном, закругленном, виде, остальные—в необработанном; *4*—колодка с обечайками в готовом виде; *5*—нижняя, кленовая, дека в готовом виде, с врезанными в нее усами, с наружной стороны. Обыкновенно

начинают с изготовления бочков. Для этого берут соответствующую внешним контурам инструмента «форму», или колодку, и в каждый из 6 вырезов последней вклеивают при помощи 1—2 капель клея соответствующие по размерам куски дерева (будущие клоцы



Фиг. 30.

или стойки), заготовленные из ели, ольхи или липы, и, пользуясь соответствующими лекалами, при помощи стамесок и подпилков придают им нужный вид. Затем берут 6 пластинок кленового дерева соответствующей длины, ширины и толщины (2 для нижней части обечаек, 2 для верхней и 2 для боковых вырезов), сгибают их, как требуется, на горячем круглом или овальном железке и приклеивают хорошим столярным (кельнским) клеем к стойкам. После этого берут 2 доски, кленовую и еловую, нужных размеров, цельные или склеенные посредине из двух половин, и очерчивают на них, пользуясь определенными шаблонами, контуры верхней и нижней дек. В настоящее время мастера обыкновенно изготовляют шаблоны дек по лучшим образцам итал. инструментов (Амати, Страдивари, Гварнери); однако сами итальянцы повидимому вычерчивали контуры дек своих инструментов по определенным правилам и по этим чертежам уже изготовляли «форму» и все другие необходимые для них шаблоны. По линиям очертаний деки обрезают сначала приблизительно, при помощи пилы, а затем уже точно—с помощью подпилка и ножа. После того приступают к выработке, при помощи соответствующих лекал, сводов дек, для чего последние обрабатывают сначала при помощи полукруглых стамесок, а в окончательном виде—при помощи маленьких железных рубаночков и циклей. Одновременно с выработкой сводов вырабатываются также по краям дек канты, шириною обыкновенно ок. 4 *мм* при толщине краев ок. 5 *мм*. В приготовленные таким образом деки около краевого канта врезываются усы, и после этого приступают к долблению дек с внутренней стороны для придания им соответствующей толщины. Для установления толщины дек пользуются различного рода измерительными циркулями, а для долбления—полукруглыми стамесками, рубаночками и циклями. На верхней деке, после окончания ее долбления изнутри, очерчиваются при помощи лекал в местах, определенных при помощи шаблона эфы, которые и прорезываются затем при помощи ножа скрипичного мастера, имеющего форму узкого треугольного клинка. Точки эфов (круглые отверстия) для придания им ровности обыкновенно не прорезываются ножом, а высверливаются при помощи соответствующих приборов. После прорезывания эфов, с нижней стороны деки, параллельно фуге и почти касаясь верхнего круглого отверстия левого эфа, приклеивается т. н. пружина: еловая пластинка длиною 26—27 *см*, шириною 5—6 *мм* и высотою в 12—14 *мм*. После этого работа с верхней декой с внутренней стороны считается законченной. Для окончательной отчистки деки обыкновенно шлифуются стеклянной бумагой разных номеров, но при художественной обработке дек лучшие мастера избегают этого, довольствуясь обработкой циклей, т. к. при пользовании стеклянной бумагой засоряются поры дерева, и как бы стирается «лицо» инструмента.

Здесь вполне уместно коснуться, хотя бы вкратце, вопроса о дереве, употребляемом для построения смычковых инструментов Чтобы ель и клен были пригодны для этой цели, они должны удовлетворять следующим требованиям. 1) Дерево должно быть сухим, т. е. выдержанным в распиленном состоянии в соответствующем помещении при доступе свежего воздуха не менее, чем в течение 3 лет. При искусственной сушке сухое дерево можно получить скорее, но мастера смычковых инструментов до сих пор предпочитают употреблять дерево естественной сушки, хотя точных научных данных, говорящих за то, что акустические качества искусственно высушенного дерева ниже дерева, высушенного естественным путем, до сих пор не имеется. Во всяком случае $t°$, при которой происходит искусственная сушка дерева, не должна достигать 175°, так как при этой $t°$ дерево «поджаривается», пересушивается; а поджаренное дерево, как показали опыты Вильома, непригодно для построения хороших смычковых инструментов. 2) Дерево д. б. надлежащим образом распилено. В настоящее время принято за правило строить смычковые инструменты только из дерева радиального распила (или раскола), т. е. по радиусам, идущим от центра ствола к его окружности, так как дерево тангенциального распила (т. е. по линиям, параллельным

к одной из касательных к окружности ствола) отличается меньшей упругостью, а потому обладает худшими акустич. свойствами. Обыкновенно дерево, идущее на построение смычковых инструментов, заготовляется в форме призм соответствующей длины, ширины и толщины так, чтобы каждая такая призма, будучи распилена по ширине на две равных половины и склеена затем по длине, дала доску, достаточную по размерам для получения деки соответствующего инструмента. 3) Дерево д. б. средней плотности (уд. вес). Для ели этот средний уд. вес заключается между 0,40 и 0,45; для клена—между 0,60 и 0,65. Дерево очень плотное отличается в то же время и значительной твердостью, а слишком твердое дерево влияет неблагоприятно на звук, делая его резким и сухим. Наоборот, дерево незначительной плотности отличается рыхлой древесиной, звук инструмента, построенного из такого дерева, получается недостаточно сильным и расплывчатым. 4) Наконец дерево д. б. свободно от всякого рода дефектов, например: сучковатости, смолы, червоточины и т. п. В частности годовые слои ели не должны итти слишком часто или слишком редко, а д. б. расположены ровными параллельными рядами. Все сказанное относится конечно к дереву, из к-рого д. б. сделаны инструменты высокого качества; для инструментов посредственных строгое соблюдение этих требований необязательно, и некоторые дешевые фабричные инструменты изготовляются из такого дерева, к-рое хороший мастер не считал бы годным для своей работы. Когда окончена обработка дек, обечайки оклеивают с нижней стороны изнутри обручиками из елового, липового или же ольхового дерева, снимают с формы и приклеивают к нижней деке. Затем обечайки оклеиваются изнутри обручиками с верхней стороны, и на них наклеивают жидким клеем верхнюю деку. Пользование жидким клеем здесь необходимо для того, чтобы при надобности вскрыть инструмент для какого-либо ремонта, не портить верхней деки на краях. На верхней деке, обыкновенно еще до ее приклеивания к обечайкам, делаются вырезы внизу и вверху: один для помещения нижнего порожка, другой же—для врезывания шейки. Две деки, соединенные обечайками, образуют кузов, или корпус, скрипки, к-рому в верхней части, в соответствующем вырезе в верхней стойке, с легким наклоном назад, вклеивается заготовленная заранее ручка, после чего закругляются краевые канты, и инструмент готов к лакировке. Перед лакировкой, если дерево недостаточно старо, а потому очень бело, его обыкновенно забейцовывают (затемняют) каким-либо составом. При фабричном производстве скрипок весьма распространенным бейцом служит жидкий водный раствор хромпика (двухромокислого калия $K_2Cr_2O_7$); при индивидуальной же выработке скрипок, каждый мастер затемняет деки по-своему в зависимости от вкуса и поставленных себе художественных задач. После затемнения инструмент загрунтовывают, для чего опять-таки разные мастера пользуются различными составами, и затем шлифуют при помощи мелкого порошка пемзы с водой или каким-либо растительным маслом (льняным, подсолнечным и т. д.). При лакировке сначала наводят два-три слоя бесцветного лака, а затем после новой шлифовки пемзой покрывают несколько раз каким-либо цветным лаком. Когда лак достаточно просохнет, инструмент еще раз шлифуют, полируют тем или другим способом, в зависимости от особенностей лака, и отделка инструмента считается законченной. После этого остается наклеить гриф на шейку, вставить колки в отверстия головки и натянуть струны, чтобы инструмент был совершенно готов к употреблению.

Лак играет очень важную роль в деле построения смычковых инструментов; поэтому здесь необходимо сказать о нем несколько слов. Секрет замечательных лаков знаменитых итальянских мастеров до сих пор не найден, но один факт не подлежит никакому сомнению: они всегда пользовались для покрытия своих инструментов мягкими и эластичными лаками, т. к. жесткие и твердые лаки делают тембр инструментов сухим и резким. В виду этого наиболее пригодными для смычковых инструментов лаками следует считать эфирно-масляные лаки (в чистом виде или в смеси с винным спиртом) из мягких и средней твердости смол, каковы напр. мастика, даммар, элеми, сандарак (gummi juniperi). Чисто спиртовые лаки ломки и сухи, лаки же масляные, в обычном смысле этого слова, очень тяжелы и грубы для смычковых инструментов. Что касается красок, то итальянские мастера употребляли исключительно растительные краски (драконову кровь, гуммигут, алоэ, вытяжки из куркумы, марены и пр.). При современном фабричном производстве обыкновенно пользуются гораздо более дешевыми (а иногда и более прочными) анилиновыми красками, но мастера-художники и до сих пор идут по стопам итальянцев, т. к. лишь при этих условиях цветной лаковый покров инструмента получает такой вид, к-рый можно считать вполне подходящим для скрипки как истинно художественного произведения. В Италии (гг. Брешия и Кремона) искусство построения скрипок стояло, можно сказать, на недосягаемой высоте в течение почти двух веков, до середины 18 века, и мы встречаем здесь (в Кремоне) такие мировые имена, как имена Николая Амати (1596—1684 гг.), Антония Страдивари (1644—1737 гг.), величайшего из всех когда-либо существовавших скрипичных мастеров, Иосифа Гварнери дель Джезу (1687—1744 гг.), инструменты которого во многом могут соперничать с инструментами Страдивари. Произведения этих мастеров являются до настоящего времени не превзойденными образцами скрипичного мастерства, т. к. никто еще не сумел придать звуку своих инструментов такую силу и такую красоту тембра, какими отличается звук созданных ими инструментов.

На рубеже 19 в. в виду усиленного развития оркестровой музыки и благодаря спросу на более дешевые инструменты, прежние индивидуальные методы работы пришлось оставить и обратиться к фабрично-массовому производству. При этом производстве построение смычковых инструментов обезличилось, и инструменты стали изготовляться

не одним мастером, а целым рядом мастеров, из к-рых каждый специализировался на изготовлении лишь отдельной части какого-либо инструмента или на сборке этих частей в одно целое. Новое направление производства смычковых инструментов зародилось и развилось уже не в северной Италии, а совершенно в других местах; это были Маркнейкирхен в Саксонии, Шонбах в теперешней Чехо-Словакии, Миттенвальд в юж. Баварии, Мирекур в зап. Франции; эти города и прилегающие к ним селения до сих пор служат главными центрами, поставляющими почти на весь мир десятки тысяч дешевых, посредственных инструментов. Что касается индивидуального производства смычковых инструментов в настоящее время на Западе, то нужно признать, что оно не находится на особенно большой высоте: мастеров, к-рые могли бы соперничать со старыми итальянцами, в настоящее время на Западе нет, и все они в лучшем случае разве несколько возвышаются над уровнем средних величин. Оба эти обстоятельства—посредственность инструментов массового производства и средний уровень большинства из современных западноевроп. мастеров — повели к тому, что концертирующие артисты стали гонятся исключительно за старыми итальянскими инструментами, хотя бы даже и не первого ранга. Благодаря этому цены на старые итальянские скрипки стали сильно расти, что продолжается и до наших дней. В последнее время этот рост цен принял явно спекулятивный характер.

Но если на Западе искусство построения смычковых инструментов не стоит пока еще на должной высоте, то в СССР повидимому дело находится в несколько ином положении. Производство смычковых инструментов в России было первоначально в руках различных заезжих иностранцев, главн. обр. немцев, и по своему характеру ничем не отличалось от индивидуального производства зап.-европ. мастеров. В конце 19 и начале 20 века в Петербурге работал А. И. Леман (ум. в 1913 г.), поставивший себе целью добиться того, чтобы новая русская скрипка по своим качествам была не хуже старой итальянской. И нужно сказать, что нек-рые из построенных им скрипок, особенно за последние годы его жизни, звучат превосходно. Выставка смычковых инструментов, организованная в 1926 г. в Москве Государственным институтом музыкальных наук (ГИМН), показала, что московские мастера смычковых инструментов (между прочим входящие все в качестве сотрудников в научно-исследовательские органы ГИМН'а, по сектору инструментоведения) могут дать такие произведения инструментального искусства в области построения смычковых инструментов, которые по характеру тембра очень близко подходят к итальянским и отличаются большой художественностью работы. Т. о. в деле индивидуального производства смычковых инструментов СССР стоит в настоящее время очень высоко, и не будет преувеличением утверждение, что произведения советских мастеров смычковых инструментов стоят в общем выше произведений западных мастеров. Что касается массового фабричного производства в СССР, то оно еще пока только налаживается. Участие в этом деле наших лучших специалистов служит залогом того, что и в массовом производстве смычковых инструментов СССР займет достойное место.

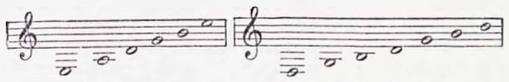
Смычок, струны—см. соответствующие статьи. **Е. Витачек.**

Щипковые М. и. К разряду щипковых относятся те струнные музыкальные инструменты, на которых звук получается путем захватывания (защипывания) струн пальцами или при помощи особого приспособления, называемого медиатором (плектром, пером). Сюда принадлежат: гитара, мандолина, трехструнные и четырехструнные домры, балалайка, арфа и цитра.

А. Гитара (фиг. 31) по своему происхождению повидимому инструмент мавритано-испанский. Свое распространение в Европе она получает с конца 18 в-ка; к этому же времени относится и ее появление в России, где она скоро становится так наз. «народным» инструментом. Но в то время как на Западе получила распространение шестиструнная гитара, в России привилась почти исключительно семиструнная гитара, введенная в употребление известным виленским арфистом Сихрей. Шестиструнная и семиструнная гитары являются основными типами современных гитар: одиннадцатиструнная гитара представляет собой лишь видоизменение семиструнной (к которой прибавлен добавочный гриф и добавочные басовые струны). Строй шестиструнной и семиструнной гитары см. на фиг. 32 и 33.

Фиг. 31.

Подобно всем струнным щипковым инструментам, гитара состоит из трех основных частей: резонансового корпуса (или кузова), шейки с наклеенным на нее грифом и головки для колков. Кузов гитары имеет форму расширенной в середине восьмерки и состоит: из верхней деки, нижней деки и соединяющих их бочков, или обечаек. Верхняя, резонансовая, дека делается исключительно из ели, как и у смычковых инструментов,—радиального распила с неособенно



Фиг. 32.

Фиг. 33.

узкими расстояниями между годовыми слоями, т. к. узкие слои неблагоприятно влияют на звук инструмента. Дека—совершенно плоская и по всей своей поверхности одинаковой толщины. На расстоянии одной трети длины кузова, считая от нижнего края, к деке приклеивается подставка из черного дерева или из дерева другой какой-либо твердой породы, снабженная рядом отверстий для закрепления струн при помощи

особых кнопок. Несколько выше середины деки прорезывается т. н. розетка—круглое звуковое отверстие, окаймленное по краям несколькими рядами врезанных в деку усов и равное по диаметру одной трети ширины деки в ее средней, наиболее узкой, части. Около краев деки, как и у смычковых инструментов, в деку врезываются усы. К нижней поверхности деки приклеивают несколько пружин (узких пластинок из елового дерева) число которых не установлено, но во всяком случае не менее трех. Место наклейки пружин: посередине верхнего овала деки, посередине нижнего и наконец немного ниже розетки. Направление наклейки пружин также не установлено: наклеивают их или перпендикулярно к линии длины или под углом к ней. Нижняя дека по форме совершенно соответствует верхней и также имеет одинаковую толщину по всей своей поверхности. Изготовляется она из разных пород дерева: клена, ореха, березы, чинары, красного дерева и пр.; устойчивого здесь ничего нет, и все зависит от вкуса мастера, но повидимому все же клен и в данном случае является наилучшим в звуковом отношении деревом для построения нижней деки гитары. Около краев, как и на верхней деке, врезываются усы, а на внутренней поверхности наклеиваются 3—5 пружин. Бочки делаются из того же дерева, что и нижняя дека. По краям, в местах соединения дек с обечайками, корпус гитары обыкновенно

Фиг. 34.

оклеивается полоской из дерева какой-либо цветной породы или из перламутра. Цель окантовки—украшение инструмента, а также предохранение краев от порчи. Этой же цели предохранения корпуса гитары от повреждений служит пуговица из какого-либо твердого дерева, помещающаяся в нижней части корпуса, посередине линии соединения бочков. Шейки изготовляют обыкновенно из более легких пород дерева (липы, березы), чем бочки, с целью облегчения руки играющего от лишнего веса. Со своей нижней поверхности шейка имеет овальную форму, с верхней же—плоскую, для наклейки грифа. Головку, или лопатку, приклеивают к концу шейки с легким наклоном и делают всегда из более твердых пород дерева, чем шейка (напр. из бука), чтобы колковые отверстия не слишком быстро развертывались от трения колков или чтобы крепче держались колковые машинки (если речь идет о механич. колках). Гриф делается из черного или какого-нибудь другого твердого дерева и наглухо наклеивается на плоскую поверхность шейки; к верхнему концу грифа, около головки приклеивается верхний порожек. Поперек грифа на определенных местах последнего врезается ряд невысоких и узких металлических или костяных пластинок, называемых «ладами», назначение которых—установить места получения музыкантом, при нажиме струн пальцами левой руки, соответствующих хроматич. полутонов. Для удобства ориентировки на грифе при игре, перед нек-рыми из ладов (пятым, седьмым, двенадцатым) в гриф врезают перламутровые или костяные кружочки.

Чтобы определить места для врезывания ладов на грифе, пользуются соответствующим образом построенным пропорциональным циркулем или руководятся следующим геометрич. построением (фиг. 34). Проводят линию AB, длина к-рой равняется длине струны от верхнего порожка до подставки, и в одной из конечных точек этой линии, напр. в точке A, восставляют перпендикуляр $AC = {}^1/_{18}\ AB$. Из точки A, как из центра, радиусом AC описывают дугу CD. к-рая пересечет линию AB в точке D; эта точка и покажет место нахождения первого лада на грифе. Из точки D восставляют перпендикуляр DE до пересечения с линией CB в точке E и из точки D радиусом DE описывают дугу EF, определяя таким путем точку F, которая указывает место нахождения второго лада. Поступая аналогичным способом и далее, находят все прочие места расположения ладов на грифе. Отношения $AC:AB, ED:DB$ и т. д. все время остаются постоянными и равными 1:18, на чем и основывается применение этого геометрич. способа для определения места нахождения ладов на грифе. На том же принципе основывается и устройство применяемого в данном случае пропорционального циркуля. Последний делается с таким расчетом, чтобы при полном раздвижении ножек расстояние между концами его коротких ножек было в 18 раз меньше расстояния между концами длинных ножек, к-рое в то же время должно равняться длине струны от верхнего порожка до подставки. При сдвижении ножек расстояния между ними будут уменьшаться, но отношение между расстояниями обеих пар ножек все время будет оставаться постоянным и равным 1 : 18. Отсюда совершенно ясно, к чему сводится применение пропорционального циркуля при определении мест ладов на грифе.

Шейка гитары обычно не приклеивается к корпусу, а привинчивается посредством особого механизма, называемого замком, к-рый дает возможность играющему повышать или понижать гриф над верхней декой по своему усмотрению. Струны для гитары в настоящее время употребляются исключительно стальные, причем басовые—обвитые. На одном из своих концов они имеют металлич. шарики, при помощи которых и закрепляются кнопками в отверстиях подставки.

Способ построения гитары в общем сводится к следующему. Сначала изготовляют бочки из двух полос дерева соответствующей длины, ширины и толщины; полосы эти изгибают надлежащим образом на горячем железке и затем приклеивают к верхней и нижней стойкам, плотно вставленным в верхний и нижний вырезы колодки, к к-рой кроме того плотно прижимают при помощи шаблонов струбцинками. Этот способ изготовления бочков называется итальянским (или французским); по другому способу, немецкому, бочки заклеивают не с внешней стороны колодки, а во внутреннем вырезе, сделанном в последней. Когда бочки готовы, к ним приклеивают изнутри сверху и снизу

обручики, а стойки надлежащим образом обравнивают. После изготовления бочков изготовляются деки, приклеиваются к ним пружины и в таком виде приклеивают самые деки к бочкам. Только после приклейки дек края их окантовывают, врезают в деки усы и кроме того изготовляют розетку, прорезая внутри нее круглое звуковое отверстие. Впрочем врезывание усов и изготовление розетки можно производить и до приклеивания дек к обечайкам. По изготовлении корпуса изготовляют шейку и головку, к-рые склеивают друг с другом, врезая верхний конец шейки на шипе в нижнюю часть головки. Шейку приразают к корпусу гитары, наклеивают на нее гриф и в последний вделывают лады. В конце концов подготовляют все части гитары к лакировке и лакируют, при этом верхнюю деку всегда покрывают бесцветным лаком.

Фиг. 35.

Б. Мандолина (фиг. 35)—национальный итал. инструмент. Впервые она появляется в Италии ок. 1650 г. во Флоренции и к концу 18 в. становится общераспространенным народным инструментом. В России мандолина также пользуется большим распространением среди народных масс и не без основания причисляется к разряду народных инструментов. Кузов мандолины в своей нижней части имеет глубокую грушеобразную форму. Изготовляется он из тех же пород дерева, что и гитара, но лучшие сорта мандолин принято изготовлять обязательно из палисандрового дерева,—вероятно в виду его окраски. Изготовление кузова производят на особой колодке, причем его склеивают из целого ряда узких полос дерева, число которых доходит иногда до тридцати и более; полоски эти изгибают на железке, склеивают друг с другом на колодке, а также приклеивают концами к верхней и нижней стойкам, вставленным в колодку. Когда склеенный кузов снимают с колодки, то для прочности его выклеивают еще изнутри бумагой. На края кузова с внутренней стороны наклеивают обручики. Верхнюю часть кузова составляет резонансовая еловая дека, на внутренней поверхности к-рой наклеены три пружины. В своей нижней половине дека имеет как бы перелом книзу, а в верхней—овальное звуковое отверстие, под которым наклеивается т. н. «панцырь»—пластинка из какого-либо прочного дерева, предохраняющая деку от царапин, могущих получиться при игре на инструменте. По краям дека окантовывается, а у более дорогих инструментов изготовляется с различного рода инкрустациями из перламутра или слоновой кости. Шейку делают из орехового, кленового или иного какого-нибудь дерева и наглухо приклеивают к кузову. На наружную поверхность шейки и часть верхней деки (до звукового отверстия) наклеивают гриф, в который врезают металлические лады и перламутровые кружочки, как у гитары. Гриф делают из черного дерева или из других твердых пород; в верхней части, именно в том месте, где начинается головка, к нему приклеивают верхний порожек (из черного дерева). Головку делают отдельно и приклеивают к шейке. По бокам головки прикрепляются приборы с механическими колками, по четыре с каждой стороны, для восьми парных струн мандолины. Для прикрепления струн в нижней части корпуса приделывают металлическую пластинку с крючками. Струны зацепляют за эти крючки и через подставку, помещающуюся около перегиба верхней деки, и верхний порожек перекидывают к колкам. Мандолина имеет четыре парных стальных струны, из которых две (соль и ре) обвитые, и строится подобно скрипке, по квинтам, вполне совпадая с последней по своему диапазону.

Играют на мандолине при помощи особого приспособления, называемого медиатором, или плектром—тонкой, овальной, яйцевидной или треугольной пластинки, изготовляемой из черепахи, целлюлоида или кости, причем получается звук, состоящий из быстро чередующихся тонов, имеющих одинаковую высоту. Такой способ игры называют «тремоло», т. е. игра дрожащим, прерывистым звуком. Кроме мандолины с диапазоном скрипки, в оркестрах употребляются также следующие ее разновид-

Фиг. 36.

Фиг. 37.

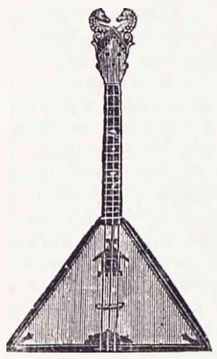
ности: мандолина-пикколо, мандола и люта. Все названные инструменты имеют по четыре металлических парных струны, строятся по квинтам и от мандолины основного типа отличаются лишь своими размерами и высотой настройки, а именно: мандолина-пикколо строится октавой выше мандолины (примы); мандола—октавой ниже, а люта—квинтой ниже мандолы (строй виолончели). Мандолины с грушевидным корпусом называются «неаполитанскими»; но есть также мандолины, корпус которых состоит из двух плоских дек, соединенных между собой обечай-

ками. Такие мандолины (фиг. 36) называются «португальскими» и кроме формы кузова от неаполитанских ничем не отличаются.

В. Домра (фиг. 37) — старинный русский инструмент, происходящий от древнего арабско-персидского тамбура, довольно распространенный в 16 и 17 вв. среди тогдашних «игрецов» на М. и.—скоморохов и совершенно вышедший из употребления в течение 18 в. В своем теперешнем виде домра была реконструирована известным музыкантом В. В. Андреевым, к-рый ввел ее в организованный им в конце 80-х годов прошлого века великорусский оркестр. Составные части домры в общем те же, что и составные части мандолины; поэтому нет нужды описывать их подробно и достаточно лишь указать на те отличия, какие существуют между домрой и мандолиной. Кузов у домры иной формы, чем у мандолины: он тыквообразный (полушаровидный) снизу, с плоской резонансовой еловой декой сверху. В виду того что кузов домры в нижней своей части имеет грани, колодка, на к-рой он изготовляется, также делается с гранями. Тонкие деревянные пластинки, числом семь, вырезают по моделям, соответствующим названным граням, изгибают на горячем железке и склеивают друг с другом на колодке, а концами их приклеивают к верхней и нижней стойкам. Для прочности кузов домры, как и кузов мандолины, выклеивают изнутри прочной бумагой. Звуковое отверстие у домры иного вида, чем у мандолины: оно представляет собой шесть небольших отверстий, расположенных вокруг несколько большего по величине центрального седьмого. Головка домры также иной формы, чем у мандолины, и имеет нек-рое отдаленное сходство со скрипичной головкой. В остальном все, что сказано о составных частях мандолины, м. б. применимо и к домре. Вместо четырех струн у домры три ординарных. Строится трехструнная домра по квартам; поэтому она называется также квартовой (фиг. 38). Играют на домре медиатором. В оркестре употребляются несколько разновидностей домр: домра-пикколо, домра-прима, домра-альт, домра-тенор, домра-бас и домра-контрабас. Все они отличаются друг от друга только размером и высотой настройки, а именно: домра-пикколо строится на квинту выше домры-примы, строй к-рой был дан; домра-альт—на октаву ниже домры-примы; домра-тенор—на две октавы ниже домры-пикколо; домра-бас—на октаву ниже домры-альта; домра-контрабас—на квинту ниже домры-баса. В 1910 году московскому деятелю в области народной музыки Г. П. Любимову пришла удачная мысль переконструировать сравнительно мало удобную для игры квартовую трехструнную домру на четырехструнную, к-рая строится уже не по квартам, а по квинтам, как мандолина или смычковые инструменты. В таком виде домра представляет для исполнителя гораздо более удобный в технич. отношении инструмент по сравнению с трехструнной, не говоря уже о том, что квинтовая настройка четырехструнной домры дает возможность исполнять на этом инструменте любую из пьес, написанных для смычковых инструментов, чем весьма обогащается как сольный, так и оркестровый репертуар исполнителя. Предварительные вычисления по построению четырехструнных домр были произведены, по просьбе Любимова, Т. Ф. Подгорным. По своему внешнему виду четырехструнные домры несколько отличаются от трехструнных: корпус у них сделан глубже, чем у квартовых, а шейка короче, применительно к мензуре смычковых инструментов. В оркестре употребляются следующие разновидности четырехструнных домр: домра-прима, домра-тенор, домра-бас и домра-контрабас, соответствующие по своему диапазону смычковым инструментам: скрипке, альту (тенору), виолончели и контрабасу. Кроме того употребляется домра-пикколо, к-рая строится на октаву выше скрипичного альта. Играют на четырехструнных домрах не только медиатором, но и пиццикато, т. е. щипком, как и на смычковых инструментах.

Фиг. 38.

Г. Балалайка (фиг. 39)—трехструнный щипковый музыкальный инструмент, до сего времени пользующийся громадным распространением среди народных масс СССР и с полным основанием могущий быть названным народным инструментом. Балалайка по-видимому произошла от домры, а м. б. существовала и одновременно с последней, но не среди музыкантов, а исключительно среди народных масс как инструмент наиболее доступный для игры и для самодельной выделки. В своем теперешнем виде балалайка представляет собой реконструкцию В. В. Андреева, к-рый первый обратил на нее внимание и был также первым виртуозом на этом инструменте, придав ему квартовый строй (фиг. 40). По своему внешнему виду балалайка не похожа на современную домру, но если у последней срезать нижнюю часть кузова по прямой линии наискось и несколько выпрямить линию краев, то получится инструмент, к-рый представляет довольно близкое подобие балалайки. Вообще все части балалайки совершенно те же, что и у домры, и особого описания не требуют, хотя в некоторых подробностях они отличаются от соответствующих частей домры (напр. головка у балалайки иной формы; звуковое отверстие—тоже). Что касается построения балалайки, то в данном случае нет никакой разницы с домрой, если не говорить о колодке для кузова, к-рая конечно имеет иные внешние очертания, чем колодка для построения кузова домры. Дерево для построения балалайки употребляется то же самое, что и для построения домры. Играют на балалайке, ударяя по струнам всеми пальцами руки. Исключение составляет однако оркестровая

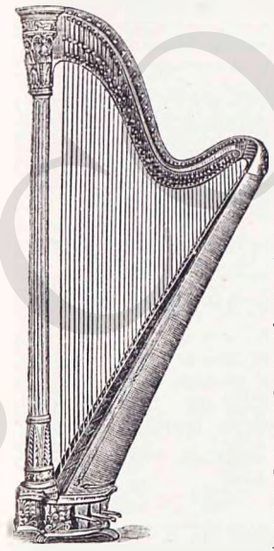


Фиг. 39.

Фиг. 40.

балалайка-контрабас, на которой вследствие толщины ее струн играют медиатором. Кроме контрабаса в оркестрах народных инструментов употребляются также следующие разновидности балалаек, отличающиеся друг от друга частью по величине, частью по своему строю: балалайка-прима, строй которой указан выше, балалайка-секунда, к-рая строится на квинту ниже балалайки-примы; балалайка-альт, строящаяся на октаву ниже балалайки-примы, и балалайка-пикколо, бас и контрабас, строящиеся по квартам, как и соответствующие трехструнные домры, причем балалайка-контрабас строится октавой ниже балалайки-баса.

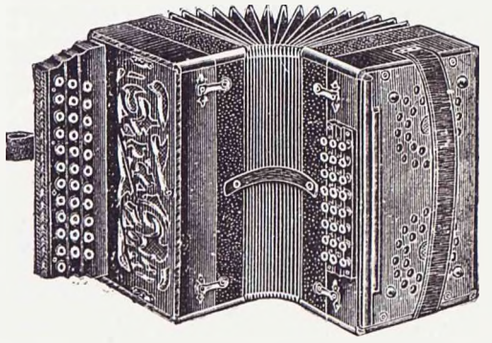
Д. Арфа (фиг. 41)—один из древнейших музыкальных инструментов, сохранившийся до настоящего времени, хотя и в значительно измененном виде. Арфа была известна уже египтянам более чем за три тысячи лет до нашей эры; в современной Европе она начинает распространяться с 8 в. и свою близкую к теперешней форму получает около середины 15 в. В настоящее время арфа бывает двух видов: педальная и хроматическая с перекрестными струнами. Педальная арфа представляет собой инструмент в виде тр-ка, одну из сторон которого образует опирающийся на деревян. основание продолговатый расширяющийся книзу резонансовый корпус, построенный из ряда деревянных полос. Струны (исключительно кишечные) прикрепляются к средней оси резонансового корпуса и натягиваются с помощью колков, которые помещаются на изогнутой в форме буквы S шейке инструмента, образующей его верхнюю часть. Играют на арфе сидя, перебирая струны пальцами рук. На педальных арфах струны настраиваются исключительно в порядке диатонич. скалы. Для получения хроматич. полутонов служит особый педальный механизм, изобретенный около 1720 г. и окончательно усовершенствованный Эраром в 1820 году. В хроматических арфах, к-рые впервые были построены фирмой Плейеля во Франции, струны натягиваются крест-накрест и настраиваются в порядке хроматической гаммы. Форма хроматической арфы такая же, как и педальной.



Фиг. 41.

Т. Подгорный.

Гармоники. В гармониках, как и в гармонуме, звук получается вследствие перерывов струи воздуха, происходящих от колебания свободно проскакивающих (проходящих) язычков. В зависимости от того, каким образом получается воздушная струя, колеблющая язычки,—при помощи рта или при помощи особо приспособленных для того мехов, различают губные гармоники (фиг. 42) и ручные (фиг. 43), или растяжные. Оба вида гармоник были изобретены берлинским музыкальным мастером Бушманом: губная — в 1821 году, ручная — в 1822 г. Губная гармоника была затем усовершенствована Христианом Месснером, который в общем придал ей тот вид, в котором она существует, если не говорить о деталях, и до настоящего времени. Ручная гармоника также подверглась ряду изменений и в настоящее время существует в целом ряде разновидностей: двухрядной венской, трехрядной хроматической, рояльной хроматической, концертино, банданиона и некоторых других. У всех трех первых видов гармоник на грифе правой руки помещается клавиатура, предназначенная для выполнения мелодич. части пьесы, а на грифе левой—клавиатура для аккомпанемента, данного в форме готовых (штампованных) аккордов: мажорных и минорных трехзвучий и их обращений и септаккордов со своими обращениями. Концертино представляет собой переработку ручной гармоники Бушмана, произведенную в 1827 г. англ. физиком Витстоном. Это—хроматич. гармоника,



Фиг. 43.

с шестигранным корпусом, у к-рой клавиатура расположена в особом порядке на верхней и нижней крышках.

Банданион—немецкая переработка концертино, получившая название по имени фабриканта Генриха Банда, впервые начавшего изготовлять эти инструменты. В отличие от концертино на банданионе при сжиме и разжиме мехов получаются при пользовании какой-либо клавишей звуки различные по высоте, тогда как, по общему правилу, у всех хроматич. гармоник получаются в этом случае звуки, одинаковые по высоте. В России хроматич. гармоники носят название «баянов», причем в последнее время среди более квалифицированных музыкантов-гармонистов большое распространение начинает приобретать т. н. «выборный баян»—хроматическая, обычно трехрядная гармоника, у к-рой клавиатура для левой руки построена так же, как и для правой (т. е. без штампованных аккордов), но только для более низких октав.

А. Н.

Лит.: Можен Ж. и Мень В., Скрипка, альт, виолончель, контрабас и гитара, М., 1922; Леман А., Книга о скрипке, М., 1903; его же. Акустика скрипки, М., 1905; Фетис, Страдиварпус, Москва, 1875; Зеленский Д., Итальянские смычковые инструменты, Полтава, 1886; Михель А., Краткая энциклопедия смычковых инструментов, М., 1894; Сборник работ комиссии по музыкальному инструментоведению, вып. 1, Москва, 1926; Рождественский А., Современные смычковые инструменты, М., 1926; О гармонике, М., 1928; Агафошин П., Новое о гитаре, М., 1928; Киприанов В. и Маслянеко Д., Трехструнная певунья балалайка, Л., 1929; Риман Г., Катехизис истории музыки, пер. с нем., ч. 1, М., 1896; Браудо Е., Основы материальной культуры в музыке, М., 1924; Фоминицын А., Домра, СПБ, 1891; Нестеров Н., Производство резонансов для музыкальных инструментов, М., 1921; Кротов Е., Технология дерева, Л., 1929; Рождественский А., История возникновения и развития гармоники, «Музыка и Революция», М., 1928, *12*; Sachs C., Geist u. Wesen d. Musikinstrumente, Berlin, 1929; Sachs C., Real-Lexikon d. Musikinstrumente, Berlin, 1913; Sachs C., Die modernen Musikinstrumente, B., 1923; Sachs C., Handbuch d. Musikinstrumentenkunde, 2 Auflage, Leipzig, 1930; Bagatella A., Regole per la construzione de violini, viole, violoncelli et violoni, Padova, 1883; Savart, Mémoire sur la construction des instruments à cordes et à archet P.; Apian-Bennewitz, P., Die Geige, 2 Aufl., Lpz., 1920; Mayson W., Violin Making, L., 1921; Riechers A., Die Geige u. ihr Bau, B., 1922; Möckel O., Die Kunst d. Geigenbaues, Lpz., 1930; Hill W., Antonio Stradivari, L., 1909; Grillet L., Les ancêtres du violon et du violoncelle, Paris, 1901; Hart G., The Violin: Its Famous Makers a. their Imitators, L., 1875; Niederheitman F., Cremona, Lpz., 1928; Vidal A., La lutherie et les luthiers, P., 1889; Greilsamer L., L'anatomie et la physiologie du violon, P., 1924; Greilsamer L., L'hygiène du violon, de l'alto et du violoncelle, P., 1924; Petherick H., Antonio Stradivari, London, 1913; Mailand E., Das wiederentdeckte Geheimnis d. altitalienischen Geigenlackes, Lpz., 1903; Fuhr K., Die akustischen Rätsel d. Geige, Leipzig, 1926; Schulze C., Stradivaris Geheimnis, Berlin, s. a.; Rühlman J., Geschichte d. Bogeninstrumente, Brschw., 1882; Lütgendorff W., Die Geigen- u. Lautenmacher, Frankfurt a/M., 1922; Bluthner J. u. Gretschel H., Der Pianofortebau, Lpz., 1921; Hahsing S., Das Pianoforte in seinen akustischen Anlagen, 2 Aufl., Schwerin, 1909; Goebel J., Grundzüge d. modernen Klavierbaues, Lpz., 1925; Nadler L., The Modern Piano, L., 1927; Drake H., From Piano Tuner to Player Expert, L., s. a.; S. G. E., Repairing the Player-Piano, L., s. a.; Matetzki J., Über die Behandlung u. Instandsetzung von pneumatischen Musikwerken, Lpz., 1913; Dosch L., Die Orgel d. Neuzeit. Lpz., 1908; Lehr K., Die moderne Orgel in wissenschaftlicher Beleuchtung, Leipzig, 1912; Hartmann L., Die Orgel, 3 Aufl., Lpz., 1921; Locher C., Die Orgel-Register u. ihre Klangfarben, Stg., s. a.; Riemann H., Katechismus d. Orgel, Lpz., s. a.; Hartmann L., Das Harmonium, Lpz., 1913; Riehm W., Das Harmonium, sein Bau u. seine Behandlung, Berlin, 1897; Mustel A., L'orgue expressif ou harmonium, Paris, s. a.

А. Рождественский.

МУКОИДИН, вещество, выделяемое в последней трети резервуара шелкоотделительной железы шелковичного червя. По исследованиям Блана, М. свертывается от алкоголя, взбухает и растворяется в уксусной к-те; М. относится к белковым веществам; придает шелку скользкость при выходе его из железы.

МУКОМОЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, за исключением немногих стран, работает только на внутренний рынок; значение ее на мировом рынке сравнительно невелико: даже такие промышленные страны, как Англия, продолжают ввозить хлеб в зерне и перемалывать на своих мельницах; в ряде других европейских и внеевропейских стран национальная М. п. находится под защитой таможенных и даже специальных покровительственных пошлин (довоенная Германия). Мировой рынок М. п. прежде всего рынок пшеничной муки. Положение европейского пшеничного рынка до и после войны 1914—18 гг. и ввоз и вывоз пшеницы и пшеничной муки в главные европейские страны представлены в табл. 1.

Табл. 1.—Ввоз и вывоз из главных европейских стран пшеницы и пшеничной муки (в тыс. бушелей*).

Страны	Годы	Сбор пшеницы в стране	Ввоз		Вывоз	
			в зерне	в муке	в зерне	в муке
Англия	1909—13	59 611	191 218	27 554	786	4 184
	1920—23	65 291	174 619	36 284	609	6 512
Франция	1909—13	317 636	44 264	557	49	1 154
	1920—23	267 901	45 500	361	469	1 075
Голландия	1909—13	4 824	70 574	10 218	57 433	1 002
	1920—23	6 475	19 135	4 783	1 148	2 093
Бельгия	1909—13	14 894	73 261	137	19 737	3 308
	1920—23	11 795	39 850	385	2 175	706
Германия	1909—13	152 118	90 539	800	14 245	9 019
	1920—23	87 438	54 260	2 100	100	723

* Бушель=36,32 *л*.

Главными поставщиками пшеничной муки на мировой рынок, определяющими его конъюнктуру, были и продолжают оставаться США и Канада; вывоз из других стран, если не считать развивающегося экспорта Австралии, значительно ниже (см. табл. 2).

Табл. 2.—Ввоз и вывоз пшеницы и пшеничной муки (в тыс. бушелей).

Страны	1909—13 гг.	1920—22 гг.	1923 г.
Всего	90 195	135 325	153 347
США	46 994	77 519	73 395
Канада	16 693	32 239	50 386
Аргентина	6 141	6 023	4 218
Австралия	7 716	15 629	22 513
Индия	2 729	2 961	2 835
Румыния	3 264	660	—
Россия	6 014	—	—
Алжир	714	294	—

Развитие американской М. п., самой мощной в настоящее время, шло также по двум линиям: с одной стороны, в направлении крупного «товарного» мукомолья (merchant mills), работающего на широкий внутренний и внешний рынок, с другой—в сторону развития мелкого сел.-хоз. мукомолья, обслуживающего нужды окружающего фермерства и другого населения. Крупная М. п. (годовое производство свыше 5 000 долларов) представлена была след. обр.:

	1914 г.	1927 г.
Число промышленных заведений	10 788	4 035
Число HP	821 406	641 608
Стоимость продукции (тыс. долл.)	877 680	1 148 760
Число рабочих	39 719	29 982
Сумма заработной платы (тыс. долл.)	24 593	37 559

По механизации американская М. п. стоит на пятом месте среди других отраслей промышленности США (самые крупные предприятия имеют мощность в 5—6 HP и до 21 HP на одного рабочего). Процесс концентрации в америк. М. п. идет чрезвычайно быстро: с 1914 по 1927 г. число предприятий уменьшилось в два раза, тогда как количество продукции почти не изменилось. На 136 мельницах, принадлежащих 13 акц. компаниям (2% мельниц), перерабатывается половина всего поступающего зерна. Мелкое мукомолье быстро сокращается: из 15 782 мельниц, учтенных в 1899 г., к настоящему

времени осталось только 9 000; все вместе они дают едва 1% перемалываемой муки, в большинстве же перешли на изготовление кормов для скота; остальное падает на долю прочей М. п. Несмотря на значительные размеры производства, американская М. п. отстает от требований рынка, и удельный вес муки в американском экспорте падает. Так, вывозилось пшеницы:

Хоз. годы	Зерна, тыс. бушелей	Муки, тыс. баррелей
1902—1906	70 527	15 444
1912—1916	129 115	13 185
1922—1926	140 129	14 274
1928	145 999	12 921

В России начало «товарного» мукомолья относится еще к допетровскому времени, более же широкое развитие оно получило в конце 18 века, когда мельницы начинают строить в крупных городских центрах—таких, как Петербург, куда подвоз зерна облегчался к тому же наличием водного пути. Постройка каналов способствовала развитию М. п. в верховьях Волги. Позже М. п. стала развиваться в средн. и нижн. Поволжьи. Дальнейшая история М. п. развивается в тесной зависимости от общего промышленного развития страны. Сильным толчком ему послужило изобретение мукомольного вальцового станка. Вальцовые мельницы появились в 60-х годах в верхневолжском районе. Первая паровая мельница построена в России в 1841 г. в Бессарабии, а в 1858 г. утвержден устав первого акционерного общества паровой мельницы в Ростове н/Д. За отсутствием прямых данных о развитии М. п. в конце 19 и начале 20 в. можно судить по данным ж.-д. перевозок муки, а именно—было перевезено муки (в тыс. *m*):

Годы	Пшеничной	Ржаной	Годы	Пшеничной	Ржаной
1888	753	523	1904	2 220	1 246
1894	1 192	661	1911	2 952	1 079

В начале 20 в. положение крупной и средней М. п. представлялось в следующем виде: по обследованиям Министерства финансов, в 1900 и 1908 гг. в числе заведений, подчиненных надзору фабричной инспекции,—что почти соответствует нынешней «цензовой» промышленности, было:

Мукомольное производство	1900 г.	1908 г.
Число пром. заведений	1 116	1 321
Число рабочих	28 312	33 533
Стоимость продуктов производства (тыс. руб.)	205 101	398 249
Крупяное производство		
Число пром. заведений	65	70
Число рабочих	1 086	1 007
Стоимость продуктов производства (тыс. руб.)	4 700	7 375
Смешанные производства		
Число пром. заведений	284	204
Число рабочих	5 080	4 584
Стоимость продуктов производства (тыс. руб.)	25 070	51 330
Выработано было (в тыс. *m*):		
Муки пшеничной	2 951	3 908
» ржаной	1 022	1 253
» прочей	76	84
Отрубей	824	1 069
Крупы разной	172	303

По данным «Совета съездов мукомолов» мельниц первых 5 разрядов, т. е. мельниц с суточным производством свыше 8,2 *m*, было:

Годы	Число мельниц	Перемолото тыс. *m*
1903	1 753	1 170
1908	2 416	1 790
1915	2 205	1 550
1916	2 705	1 950

Специальная анкета Министерства торговли и промышленности, произведенная в 1908 г., позволяет дать нек-рые подробности относительно состояния их, а именно: из 2 416 «товарных» мельниц первых пяти разрядов было с суточной производительностью:

Свыше 131 *m*			21
От 65,5 до 131	*m*		32
» 32,7 »	65,5	»	137
» 16,4 »	32,7	»	650
» 8,2 »	16,4	»	1 576

Кроме того в низших разрядах «местных» мельниц было с производительностью свыше 0,3 *m*—5 314 и ниже 0,3 *m* в сутки—136 325. Общая годовая переработка определялась для первых пяти разрядов в 10 770 тысяч *m*, всех остальных—в 10 310 тысяч *m*. Из общего числа мельниц имело механич. двигатели 5 194; вальцовых было 2 936. Общее число занятых в М. п. лиц—214,1 тыс. Так. обр. преобладающим типом в довоенной М. п. была мелкая кустарная или полутоварная мельница. Акционерный капитал не играл заметной роли в М. п.: в 1911 г. в ней было 34 акц. компании с общим акционерным капиталом в 47 039 тыс. руб. (в 1907 г.—25 акц. об-в с капиталом в 22 220 тыс. руб.) Бо́льшая часть акционерных предприятий (22) имела акционерный капитал менее 1 млн. руб. и только два располагали капиталом от 5 до 10 млн. руб. По Всероссийской мукомольной переписи, произведенной в 1916 г., мельниц с производительностью свыше 8,3 *m* в сутки насчитывалось уже 4 531—вдвое больше, чем давал съезд мукомолов; мощность механических двигателей 300,4 тыс. HP.

Довоенная русская М. п. работала почти целиком на внутренний рынок: вывоз муки за границу—и абсолютно и относительно—сравнительно с вывозом зерна был ничтожен, как показывают следующие отношения между экспортом пшеницы в зерне и в муке из России и других стран (табл. 3).

Табл. 3.—Экспорт пшеницы в зерне и в муке (тыс. *m*).

Страны	Годы	Зерно	Мука
Россия	1905	4 816	97
»	1910	6 141	102
США	1905	1 220	1 005
»	1910	1 205	808
Канада	1905	407	120
»	1910	1 380	273
Германия	1905	165	90
»	1910	283	190

На ржаном рынке русская мука быстро вытеснялась Германией; последняя, ввозя дешевую русскую рожь для внутреннего перемола и потребления, свою ржаную муку сбывала за границу (Финляндия, Норвегия и др.) при сильном содействии вывозных пошлин; так, ржаной муки было вывезено (в млн. руб.):

Годы	Из России	Из Германии
1905	7,1	6,9
1910	5,5	14,4

Русская мука имела и свои небольшие определенные рынки: 80% пшеничной муки брали поровну Финляндия и Турция; небольшое количество шло в Египет, Китай и наконец около 3 500 *т* в год—в Англию; экспорт в остальные европейские и внеевропейские страны был ничтожен. Ржаную муку покупала почти целиком Финляндия; несколько тысяч *т* шло в Норвегию; из отходов большим спросом пользовались отруби, 80% к-рых брала Германия, от 30 до 50 тыс. *т* направлялось в Австрию и Финляндию и по 10 тысяч *т* — в Англию, Голландию и Данию. Крупнейший из европейских хлебных рынков—английский—почти не покупал русской муки: из среднего для 1905—1909 гг. английского ввоза в 640 тыс. *т* США покрывали 425 тыс. *т*, Канада 90 тысяч *т* и т. д.

О судьбах М. п. после 1916 г. известно довольно мало: начиная с 1916 г. М. п. испытывала крайние затруднения вследствие недостатка зерна и топлива; многие мельницы совершенно прекратили работу; недостаток нового оборудования и ремонтных частей (оборудование привозилось из-за границы) привели крупную М. п. за период войны 1914—18 гг. в полный упадок. В 1921 году из 2 010 национализированных предприятий М. п. в производственную программу Секции мучнистых веществ Главсельпрома включено было едва 608 с общей суточной производительностью 25 тыс. *т*. Ни одна из отраслей союзной промышленности не пережила стольких организационных изменений, как М. п. Организация М. п. началась с образования в 1921/22 г. Украинского мукомольного треста «Укрмут», в состав которого вошло первоначально всего 15 мельниц; в РСФСР Наркомпрод объединял в свою очередь 217 промышленных единиц, к-рые после ликвидации Мелотдела Наркомпрода в 1923/24 г. перешли в акц. об-во «Хлебопродукт». В конце 1927/28 г. в Хлебопродукт вливаются: Укрхлеб, Кавхлеб и целый ряд местных объединений и трестов, после чего Хлебопродукт реорганизуется во всесоюзное акц. общество «Союзхлеб», находящееся в ведении НКТорга. Вместе с кооперативными центрами—Центросоюзом, Хлебоцентром и другими организациями «Союзхлеб» является основным ядром планируемой М. п. В настоящее время плановый сектор объединяет в своих руках до 61% «цензового» мукомолья—516 производственных единиц с общей суточной производительностью 37 359 *т* (72,4 *т* на одно предприятие). Уд. вес входящих в Союзхлеб организаций в 1927/28 г. виден из следующего: Хлебопродукт 53,5%, Центросоюз 8,1%, Хлебоцентр 1,4%, МСПО 2,8%, Кавхлеб 1,4%, Укрхлеб 29,1%, Сельгосподарь 0,8%, Вукоспилка 2,9%. Плановым сектором М. п. разработан и пятилетний план развития мукомолья; согласно этому плану в 1932/33 году предполагается довести переработку зерна до 9 914 тыс. *т* сортового помола (против 6180 тысяч *т* в 1927/28 году) и до 2 772 тысяч *т* простого помола (против 2 082 тысяч *т* в 1927/28), всего до 12 686 тыс. *т*; число мельниц при этом уменьшается с 671 до 612, при увеличении мощности их силовых установок со 138 932 до 180 174 HP (в том числе электромоторов—с 8 880 до 33 072 HP, средняя мощность силовой установки увеличивается на 42%); число рабочих в 1932/33 предполагается 25 764 против 21 277 в 1927/28 г.; средняя месячная заработная плата 68,00 р. против 57,60; себестоимость переработки понижается для сортового помола—79,5 против 113,5 и для простого—50,4 против 68,4 коп. на *ц*. В новое строительство (45 мельниц сортового помола) предполагается вложить 180,3 млн. руб. Уд. в. обобществленного сектора (по валовой продукции) в силу этого поднимается до 99% (против 97,5% в 1927/28 г.). Плановый сектор М. п. далеко не охватывает всей М. п. СССР: вне рамок его остается ряд цензовых мельниц среднего размера и наконец вся нецензовая—мелкая и кустарная М. п.

Для статистич. характеристики современной советской М. п. имеются данные двоякого рода: для «цензовой»,—имеющей более 5 помольных единиц (поставов или вальцов) служат данные, собираемые ЦСУ; для нецензовой—мелкой и кустарной М. п.—обследование того же ЦСУ, произведенное в 1925 г. По обеим группам для 1925 г. было:

	Цензовая	Нецензовая
Число пром. заведений	1 846	241 023
Число занятых лиц	46 767	323 144
Валовой оборот (млн. р.)	883	2 129

В то время как уд. в. цензовой М. п. (по условно-чистой продукции) составляет едва 3,7%, а по числу занятых в ней лиц—1,8% всей вообще промышленности СССР, уд. в. мелкой и кустарной (нецензовой) М. п. составляет 40,2% по продукции и 11,9% по числу занятых лиц. Количество перемолотого зерна равняется для цензовой М. п. 100 млн. *ц*, для мелкой—300 млн. *ц*; таким обр. основой нашего современного мукомолья продолжает оставаться мелкое, в массе крестьянское, мукомолье: в самом деле, из 241 023 промышленных заведений мелкой М. п. находилось:

	Пром. заведений	Вал. оборот (в тыс. р.)
В городах	8 276	138,5
В селах	232 747	1 990,4

С развитием крупного хозяйства колхозов и совхозов мелкие крестьянские мельницы отойдут в область истории; развивается и государственная М. п.: в пятилетку капитальные затраты выразятся в сумме 180,3 млн. р., из которых на новое строительство пойдет 78,3 млн. р. В цензовой—крупной и средней М. п. Союза в 1927/28 г. числилось:

Пром. заведений	1 867
Рабочих	31 371
Валовая продукция (в тыс. р.)	973 646

В 1923/24 г. по данным ЦСУ в М. п. было 1 537 заведений с 29 225 рабочими и валовой продукцией на 418,9 млн. руб. Преобладающее число предприятий цензовой М. п. принадлежит государству, причем роль как государства, так и кооперации с каждым годом увеличивается, частнохозяйственный сектор быстро теряет свое место: в % от всего числа промышленных заведений принадлежало:

	1923/24 г.	1926/27 г.
Государству	60,2	69,6
Кооперации	17,3	23,1
Частным лицам	22,5	7,3

Уд. в. частнохозяйственного сектора в валовом обороте М. п. еще ниже: например 1927/28 г. он составлял всего 24% против 73,6% государственного и 24,0% кооперативного сектора. За последнее пятилетие цензовой М. п. было перемолото пшеницы и ржи (тыс. *т*):

Годы	Пшеница	Рожь	Годы	Пшеница	Рожь
1923/24	2 560	1 556	1926/27	6 274	2 265
1924/25	3 361	1 579	1927/28	6 889	2 483
1925/26	5 323	1 818			

Географич. распределение цензовой М. п. видно из следующих данных о распределении по районам помола (пшеничной и ржаной) муки; в % распределение это в 1926/27 году было следующим:

ЦЧО	6,8	Сибкрай	5,9
Ср. Волга	9,1	Д.-В. край	1,8
Башкирская АССР	1,2	УССР	26,6
Ниж. Волга	7,8	БССР	0,6
Крымская АССР	1,0	ЗСФСР	0,7
Сев. Кавказ	14,3	Средняя Азия (Узбек. АССР и др.)	1,0
Казахстан и Киргизская АССР	1,8	Районы потребл. лосы	14,0
Урал	7,4		

О социальном составе М. п. дает представление след. таблица:

Табл. 4.—Социальный характер мелкой мукомольной промышленности.

Принадлежало	Промышл. заведений	Валовая продукция (в тыс. р.)
Государству	10 388	243,9
Кооперации	22 200	376,7
Частным лицам:		
без наемного труда	214 636	859,5
с наемным трудом	75 920	648,7

По роду механич. двигателей и оборудованию мелкая М. п. распределялась следующим образом.

Табл. 5.—Распределение предприятий М. п. по роду оборудования и механич. двигателей.

Мукомольные предприятия	Число пром. заведений	Поставов	Вальцов	Толчей	Прессов	Сукновалок
Мельницы:						
Ветряные	56 058	71 172	612	8 690	307	22
Водяные	36 235	49 669	2 025	9 229	387	850
Механические	7 402	9 526	2 525	1 970	281	165
Конные	1 147	1 167	92	24	31	—
Прочие	517	638	70	112	9	6
Крупорушки:						
Ветряные	219	229	1	36	—	2
Водяные	244	184	19	152	7	1
Механические	212	165	39	118	3	2
Конные	6 359	4 977	1 660	1 973	103	9
Прочие	4 646	2 767	1 467	1 309	28	8

Рабочий сезон в мелкой М. п. равен всего 17,5 неделям в среднем. Рабочий день в полтора раза длиннее фабрично-заводского: средняя его продолжительность осенью—самый горячий период—12,2 ч., зимой—12,0, весной—11,4 и наконец летом он продолжается в среднем только 9,7 ч. География нецензовой М. п. видна из следующих данных о распределении по районам валовой ее продукции (в тыс. руб.):

Западный	5 826	Сев. Кавказ	12 034
ЦЧО	9 201	Украина	56 762
ЦЧО	8 246	Ср.-аз. республики	5 293
Нижне-Волжск.	7 081		

Экспорт продуктов М. п. СССР — см. табл. 6.

Табл. 6.—Экспорт продуктов советской М. п. (в *т*).

Годы	Мука пшеничн.	Мука ржаная	Отруби
1924/25	17	0,2	3 514
1925/26	102	1 036	2 249
1926/27	3 798	392	54 257
1927/28	21 835	1 908	18 066
1928/29	11 780	16	301
1929/30	15 745	733	—

Лит.: Ященко П. И., Мукомольная промышленность России и иностранные потребительские рынки, СПБ, 1910; Мелкая и кустарная промышленность СССР, М., 1926; Букштам С., Справочник мукомола, М., 1929; Куприц Я., Рационализация мукомольного производства, М., 1929; Обухов А. М., Мукомолье СССР, «Хлебный рынок», М., 1929, *13/16*; Гельфгат С. Н., Перспективы развития мукомольной промышленности, там же; U. S. Fed., Trade Commission Competitive Conditions in the Flour-Milling Industry, Washington, 1928; U. S. Fed., Trade Commission, International Trade in Wheat Flour, Washington, 1925.

В. Шарый.

МУКОМОЛЬНОЕ ДЕЛО, *см. Мукомольная промышленность.*

МУКОМОЛЬНЫЕ МЕЛЬНИЦЫ, мельницы, предназначенные для измельчения хлебного зерна в муку. Понятие М. м. чрезвычайно обширно и относится как к современной ручной мельнице, имеющей ограниченное применение, так и к высшему развитию мукомолья—колоссальным предприятиям производительностью до 1 200 *т* зерна в сутки.

До 16 в. развитие мукомолья сводилось к применению силы человека в ручных М. м. и силы воды и ветра для привода жерновых мельниц. Появление *водяных мельниц* (см.) относят ко временам Юлия Цезаря, а распространение их в Европе—к 5 в. *Ветряные мельницы* (см.) распространились в Европе с Востока в 11 в. Зерно размалывалось на упомянутых М. м. без отсева, к-рый производился в домашнем хозяйстве и в булочных. В 17 веке появляются М. м. с простейшими приспособлениями для отсева муки, теперь известные под названием «старых немецких мельниц», близко подходящие по устройству к оборудованию теперешних деревенских водяных мельниц и ветряков. Т. н. голландские ветряные мельницы, с поворотной верхней частью шатра, появились в 1650 г.

Первая паровая мукомольная мельница была построена в Англии в 1760 г. В конце 18 века производятся улучшения механизма жерновых мельниц. Взамен неклевальных мешков для отсева муки появились *бураты* (см.), *сита* (см.) в виде вращающихся цилиндров, обтянутых шерстяною, проволочною и позже шелковою тканью, применено охлаждение муки, введены транспортные

механизмы—самотаски, транспортные винты, введена *очистка зерна* (см.). Жернова стали применяться из кварцевых камней. При истирании камня поверхность его остается постоянно шероховатой с острыми краями околопор, которыми удобно отделяется мучнистое вещество от оболочек зерен с наименьшим размельчением последних. Позднее введены дальнейшие улучшения как в приводе движения, так и в зерноочистительных машинах (Роллет). Здесь следует отметить изобретение турбины Фурнерона, а также *триера* (см.), куколеотборника, являющегося теперь необходимейшей машиной зерноочистительного отделения мельницы. Введение в практику мукомольного дела вместо простого помола (в один прием) т. н. экономическ. помола также способствовало развитию мельничной техники. Этот помол, в дальнейшем усовершенствованный венгерцем Пауром введением круповейки (ситовейки), известен под названием венгерского, повторительного, крупчатого, а теперь сортового.

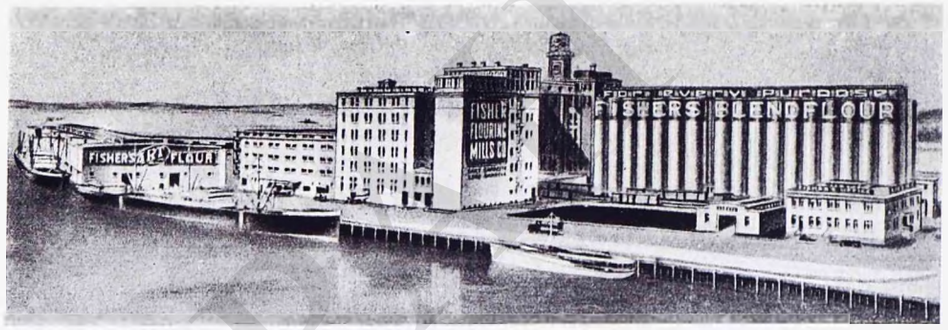
Все разновидности помолов можно привести к двум методам: 1) простому помолу и 2) повторительному, или высокому, помолу.

Простой помол имеет несколько вариантов. Простейший из них—разовый, или т. н. крестьянский, помол, совершаемый и поныне на жерновых поставах. Зерно пропускается один раз через жернов и размалывается в муку вместе с оболочками. Перед таким помолом зерно обычно не очищается, и после размола отсева неразмельченных оболочек не производится. Тот же разовый помол на жерновах или вальцовых станках, но с предварительной простейшей очисткой зерна и отсевом отрубей после помола, обычно называют сеяным помолом; такой же разовый помол с предварительной очисткой зерна от песка и легких примесей называется интендантским помолом. После размола мука просевается через сито № 20 (т. е. 20 клеточек на 1 пог. дм.), сход с сита возвращается на размол на ту же машину—жернов или вальцовый станок—для раздробления оболочек. В улучшенном простом помоле (тот же старый «экономич. помол») зерно размалывается в несколько приемов, причем после каждого размола отсевается только мука, а сход идет на следующий размол. При этом достигается более чистая мука вследствие меньшего раздробления оболочек, отходящих с последнего размола в виде плоских частиц оболочки—отрубей.

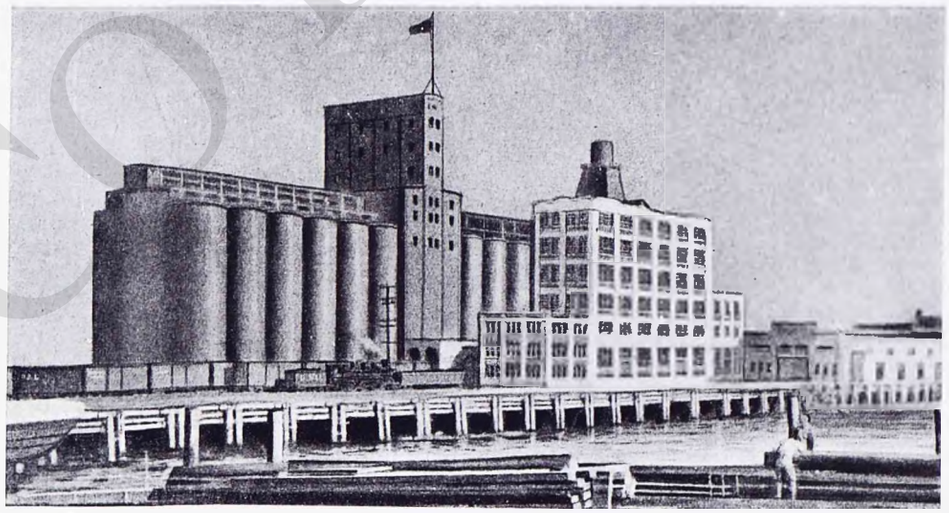
Повторительный помол при постепенном раздроблении зерна преследует получение муки по возможности в меньших количествах и крупок—в наибольших количествах. Крупные, средние и мелкие крупки от каждого процесса дробления зерна, или так наз. дранья, по возможности отдельно или сгруппированные по качеству, поступают для очистки от легких отрубянистых частей на круповейки (см. *Ситовейка*). Очищенные крупки содержат еще краснобокие частицы, т. е. части ядра, не отделенные от оболочки. Поэтому очищенную крупку подвергают шлифовке на гладких валках (а раньше ее производили на жерновах). Шлифовку производят с легким нажимом, преследуя получение муки в малом количестве, но по возможности больше крупки с отделенными частями оболочки. После очистки на вейках такая крупка при дальнейшем размоле дает муку высшего качества. При драных процессах еще отделяются крупные части ядра с оболочкой (передир), поступающие на отдельные системы вальцовых станков с более мелкими нарезками, рифлями (передирные системы), для получения крупок, по возможности отделенных от оболочек. На гладких валках отдельно шлифуют крупки и затем их размалывают. При размоле крупок кроме муки получаются дунсты, т. е. части ядра крупнее муки, и сходá, т. е. преимущественно части оболочки с неотделенными частицами ядра. Сходá и дунсты размалываются отдельно. К дунстам от размольных систем присоединяют дунсты от драных систем, сгруппированные по качеству. К сходам присоединяют относы от крупы с веек и краски, т. е. части оболочек с драных систем. Венгерский помол характеризуется 8—10 драными проходами, 4 передирами и 18 размольными системами.

С убывающим количеством систем идут помолы русский, германский, французский и американский; последний имеет пять драных проходов, 1 щеточный для отрубей и 9—14 размольных.

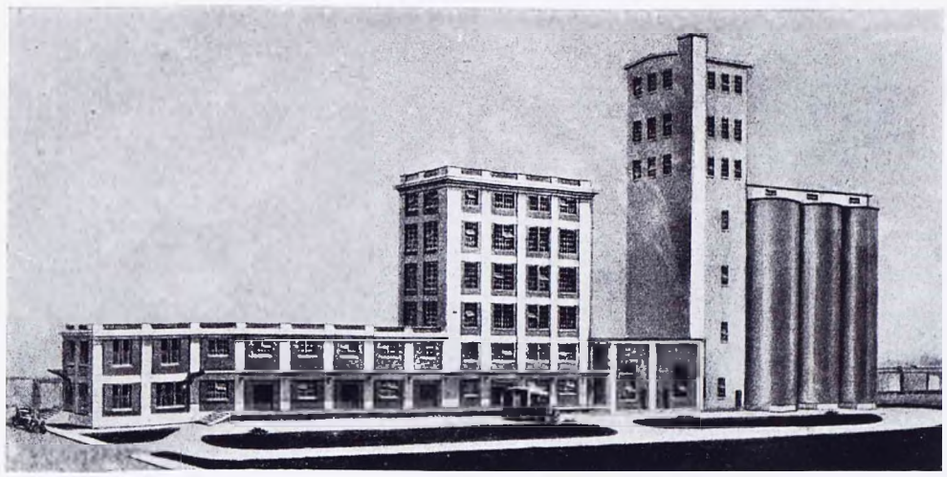
Важнейшей ступенью в развитии мукомолья является переход на вальцовый помол (см. *Вальцовый станок*). Для постепенного дробления (драные процессы) служат рифленые валки (см. *Вальцерезный станок*). Для растирания промежуточных продуктов размола—крупок, сходов и дунстов в муку служат гладкие валки. Размолотый продукт, после гладких валков, часто содержит т. н. лепешки, т. е. сплющенные с оболочками части муки. Для отделения муки от оболочек служит аппарат, называемый деташером. Деташеры употреблялись бичевые или со щетками. Теперь самая распространенная конструкция—это машина, состоящая из цилиндрич. полости, транспортного винта и тарелки, прижатой к выходному отверстию при посредстве груза или пружины. Продукт, проталкиваемый винтом через щель по окружности тарелки, разрыхляется, выделяя муку. Для более энергичного разрыхления и проталкивания продукта через щель, винт заканчивается розеткой с бичами. Американцы применяют деташеры также как самостоятельную машину для размалывания дунстов. Помимо вальцовых станков и триера остается отметить америк. машины для очистки зерна от крупных и мелких, а также легких примесей при помощи плоских сит и продуваний ветром—т. н. *сепараторы* (см.). Важнейшей зерноочистительной машиной является шелушильная, или т. н. *обойка* (см.). При помощи этой машины с зерна снимаются внешние грубые оболочки и обиваются зародыш и бородка. Машина состоит из вращающегося барабана с билами и кожуха, между которыми обрабатывается зерно. В Европе применяются наждачные кожуха, в Америке—кожуха из стальных про-



Мельница производительностью 350 баррелей в 24 часа (Уайсминг, США).



Мельница производительностью 3500 баррелей в 24 часа (Орегон, США).



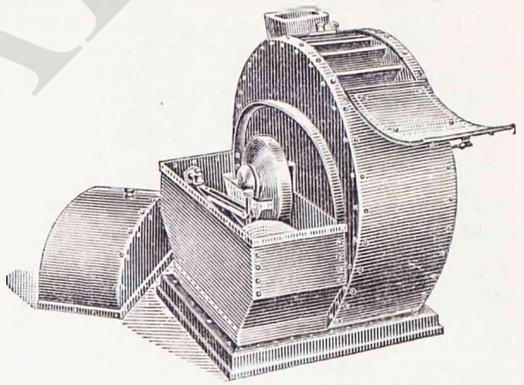
Мельница производительностью 5000 баррелей в 24 часа (Вашингтон, США).

битых листов с отогнутыми кромками отверстий.

Большой переворот в развитии М. м. внесли введением плоского рассева—для отсева муки и промежуточных продуктов помола и заменой им бурата. В США заменили кривошипный привод рассева бескривошипным, или самобалансирным. Преимущества плоских рассевов заключаются в том, что они имеют бо́льшую поверхность сит и что 1 $м^2$ сит плоского рассева по работе эквивалентен 6 $м^2$ буратного сита (так как в призматич. бурате работает в одно время только $^1/_6$ поверхности сита). Плоский рассев м. б. разделен на 2, 3, 4, 6 и 8 приемов для разных продуктов. В среднем один рассев заменяет на драных системах от 6 до 12 и на размольных от 4 до 8 буратов, вследствие чего получается громадный выигрыш в месте, в расходе силы и в качестве получаемой муки. На последних просевных системах, т. е. на *вымоле* (см.), общепризнано целесообразным ставить центробежные *бураты* (см.). В этих буратах энергичное просевание достигается действием центробежной силы быстро вращающегося барабана с бичами, бросающими продукт на вращающееся цилиндрич. сито, очищаемое винтовой щеткой вдоль образующей цилиндра. В центробежном бурате работает вся площадь сита. По такому же принципу работает щеточная машина для отрубей; в ней часть бичей заменена щетками. В США применяют для отрубей тоже щеточные, но вертикального расположения. Их преимущество в том, что вся ситовая поверхность работает равномерно, между тем как в горизонтальной машине мука легко просеивается в нижней половине цилиндра. Кроме того легче вывод очищенных отрубей из машины.

Другая необходимая машина размольного отделения современной М. м. для сортового помола — круповейка (для очистки получаемых с драных процессов крупок перед их размолом на гладких валках). Каскадные вейки применяют для крупных круп; в них свободно падающая крупка провевается струями воздуха, относящими легкие отрубянистые части; для мелких же круп применяются ситовейки.

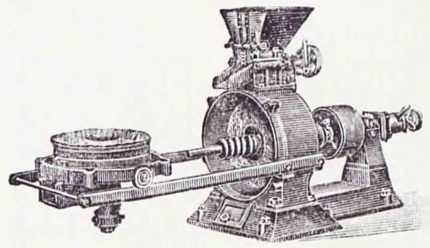
Последними достижениями мельничной техники явились зерноочистительные машины: мойка для зерна и кондиционеры (см. *Моечные машины*). После мойки зерно проходит через центробежную колонку, отжимающую приставшую в оболочке зерна воду, причем от зерна отделяются верхние оболочки. Действие мойки и отжимной колонки заменяет проход через наждачную обойку. До последнего времени обычно после мойки зерно сушилось в воздушных колонках продуванием горячего, а затем холодного воздуха. Высушенное зерно вновь подвергают поверхностной замочке и отлежке в закромах в течение не менее суток, чем восстанавливают эластичность его оболочек и избегают боя зерна в очистительных машинах, а также превращения в пыль этих оболочек при дроблении зерна на рифленых валках в драных процессах (см. *Вымол* и *Помолы*). Замачивание вновь после сушильных колонок производится только в случае, когда удается высушить после мойки зерно до кондиционного содержания влаги (13,5%), в противном случае зерно поступает в отлежку без дополнительного увлажнения. На мельницах, где нет мойки зерна, оно замачивается специальным аппаратом (фиг. 1) для подачи воды (замочка зерна) в середине шелушильного процесса, между 2-м и 3-м проходом через



Фиг. 1.

обоечные машины, и подвергают отлежке твердое зерно в течение 24—36 ч., мягкое—в течение 18—24 ч.

Для сокращения емкости закромов и выигрыша времени вместо отлежки теперь применяются аппараты—кондиционеры, в которых зерно замачивается теплой водой, подогревается радиаторами без продувания воздухом и при этом подвергается тем полезным химич. изменениям, которые имеют место при продолжительной отлежке, а затем сушится горячим воздухом, охлаждается холодным и выходит готовым к дальнейшей обработке. Кондиционеры для зерна



Фиг. 2.

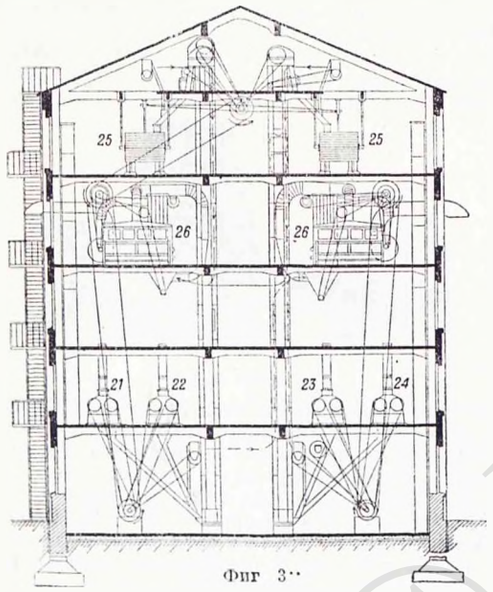
заменяют, как выше сказано, отлежные закрома и ставятся независимо от того, имеется ли мойка зерна или нет. В том случае когда имеется мойка для зерна, кондиционер заменяет не только отлежные закрома, но и сушильные колонки. В США применяют также и кондиционирование воздуха как в помещении мельницы, так и внутри машины (вальцовых станков).

При аспирации вальцовых станков (см. *Аспирация мельничных машин*) для охлаждения продукта помола и самых валков, а также в вейках при провевании крупок, продукты помола теряют влагу, что является потерей производства. При кондиционировании воздуха сохраняется нормальный % влажности и постоянная $t°$ его, чем дости-

© ГПНТБ

гается определенный режим помола. Установка состоит из увлажнителя (прибор для распыливания воды), калорифера и приборов для измерения влажности и температуры. Для улавливания пыли, выделяемой машинами обоечного (зерноочистительного) отделения, а также мучной пыли при аспирации станков и при провеивании (очистка) крупок применяются фильтры с рукавами из специальных тканей. Для черной пыли в обойке и аспирации станков применяются всасывающие фильтры с энергичным встряхиванием рукавов. Для белых проходов в обойке и аспирации веек допускаются нагнетательные фильтры с рукавами из бязи, периодически обжимаемыми медленно движущейся рамой.

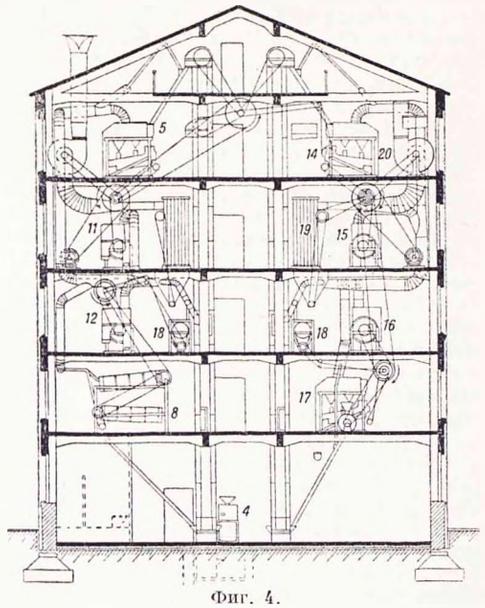
В настоящее время существуют следующие типы М. м. Для производства разового помола для местного потребления служат: 1) ручные жерновые мельницы: жерновок диам. 200 мм при 45 об/м. рукоятки обладает скоростью вращения ок. 500 об/м; 2) постав с вертикальными жерновами (фиг. 2); постав изображен с открытым для наковки неподвижным жерновом; 3) постав с горизонтальными жерновами; 4) мельницы для сеянного помола, состоящие из зерноочистительных машин (см. *Очистка зерна*), *сепаратора* (см.) или тарара для очистки зерна от песка, земли и иных легких сорных примесей, куколеотборника, магнитного аппарата, *обойки* (см.), *вальцового станка* (см.), *жернового постава* (см.) и бурата или рассева, для просева муки и отсева отрубей; все указанные М. м. служат для размола



Фиг 3.

как пшеницы, так и ржи; 5) товарные мельницы повторительного размола пшеницы на сортовую муку. На фиг. 3 и 4 представлены чертежи такой мельницы производительностью 100 *т* пшеницы в 24 ч., а в таблице указаны отдельные машины и характеристич. данные мельничного агрегата, причем машины на фигурах обозначены порядковыми номерами таблицы.

Описание мельничных машин было дано гл. обр. в хронологич. порядке их появления в мукомольном производстве, в таблице



Фиг. 4.

же машины расположены в порядке технич. процесса. Остается указать на размещение их в производственных зданиях. 1) Зернохранилище (силосный элеватор или механизированный амбар). Машины для предварительной очистки помещаются в механизированном амбаре. При силосном элеваторе машины для предварительной очистки и автовесы помещаются в машинной башне элеватора, принимающей зерно с вагонов или баржей и опускающей зерно в мельницу. 2) Мельница состоит из обоечного и мелового отделений, с брандмауером между ними или расположенных в отдельных рядом стоящих зданиях. Мельницы обычно бывают не меньше 5 этажей. В обоечном отделении машины распределяются в каскадном порядке, т. е. зерно, поднятое самотаской (элеватором) на верхний этаж, проходит через возможно больший цикл машин через сепараторы в 5-м этаже, куколеотборники в 4-м, наждачные обойки в 3-м этаже, сепараторы во 2-м этаже и новым подъемом самотаской проходит через последующие системы обоечных машин, сепараторов, причем машины хотя и группируются по этажам однотипные, но бывают и исключения из этого порядка. В меловом отделении главнейшие машины располагают в определенных этажах. Вальцовые станки устанавливаются во 2-м этаже, в данной мельнице (фиг. 3 и 4) по 2 ряда в крайних пролетах мельницы и приводятся в движение от двух трансмиссий первого этажа (по 2 ряда станков с одной трансмиссии). Силовая установка на этой мельнице—электроэнергия. Обе трансмиссии 1-го этажа приводятся от электромоторов, соединенных пластичными муфтами с концами валов. Зерно из обоечного отделения поступает в

Состав машин и характеристические данные мельничного агрегата производительностью в 100 *т* за 24 часа.

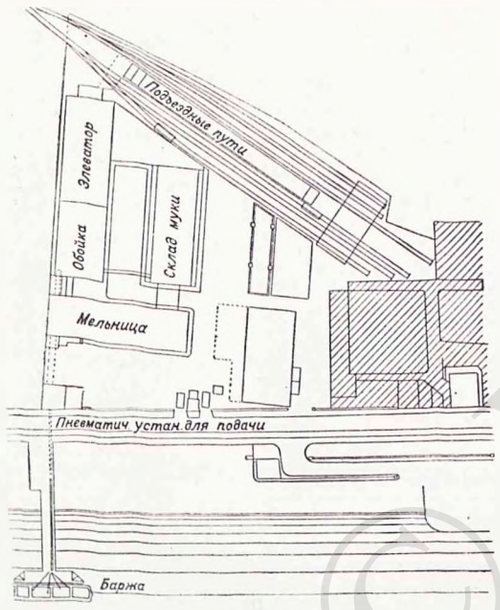
№ по порядку	Название машин	Число	Производительность	Размеры рабочих частей	Уд. производит. на единицу измерения	Потреб. мощн. в IP
	Предварительная очистка					
1	Сепаратор № 5	1	30 *т/ч*	3,6 м² сорт. сита	9 *т/ч* на 1 м²	7,0
2	Циклон № 5	1	250 м³ воздуха в мин.	—	—	—
3	Нагнетательн. фильтр в 264 рукава	1	250 м³ воздуха в мин.	145 м² фильтров. поверхн.	1,7 м³ воздуха на 1 м² поверхн.	0,25
	Зерноочистительное отделение (производительностью 4,25 *т/ч*)					
4	Весы автоматические Хропос № 6	1	7,5 *т/ч*	Емкость ковша 50 *кг*	150 взвешиваний в 1 ч.	—
5	Сепаратор № 4	1	4,25 *т/ч*	1,5 м² сорт. сита	2,8 *т* на 1 м² в 1 ч.	3,0
6	Магнитный аппарат № 8	1	5 *т/ч*	Длина 800 *мм*;	6 *т/ч* на 1 м²	3,0
7	Быстроходные куколеотборники	2	По 2,25 *т/ч*	Диам. 600 *мм*; длина 2 000 *мм* поверхн. 3,75 м²	0,6 *т/ч* на 1 м²	1,0
8	Быстроходные ячменеотборники	2	То же	То же	То же	1,0
9	Контрольный куколеотборник	1	То же	То же	То же	0,5
10	Контрольный ячменеотборник	1	То же	То же	То же	0,5
11	Бичевая обойка № 7	1	4,25 *т/ч*	Диам. 950 *мм*; длина 1 850 *мм*; поверхн. 5,5 м²	750 *кг/ч* на 1 м²	6,0
12	Наждачная обойка № 7	1	То же	То же	То же	6,0
13	Замочный аппарат	1	То же	—	—	—
14	Сепаратор № 4	1	То же	1,5 м²	2,8 *т* на 1 м²	3,0
15	Наждачная обойка № 7	1	То же	5,5 м²	750 *кг/ч* на 1 м²	6,0
16	Щеточная машина № 7	1	То же	5,5 м²	750 *кг/ч* на 1 м²	3,0
17	Сепаратор № 4	1	То же	1,5 м²	2.8 *т/ч* на 1 м²	3,0
18	Бураты для черной и белой пыли	2	По 400 *кг/ч*	4 м²	100 *кг/ч* на 1 м²	1,0
19	Всасывающ. фильтры по 48 рукавов.	2	По 300 м³/*мин* воздуха	60 м² поверхн.	5 м³ воздуха на 1 м² поверхн.	0,5
20	Экгаустеры № 6	2	То же	—	—	12
	Размольное отделение					
21	Вальцов. станки с 4 нарезн. валками 800×250 *мм*	2	100 *т* в сутки	3,2 *м* наработ. валков	108 *кг* на 1 *см* длины в сутки	13
22	Вальцов. станки с 4 нарезн. валками 1 000×250 *мм*	2	То же	4,0 *м*		16
23	Вальцов. станок с 4 нарезн. валками 1 000×350 *мм*	1	То же	2,0 *м*		12
24	Вальцов. станки с 4 гладкими валками 1 000×250 *мм*	7	То же	14,0 *м*	71 *кг*	56
	Общая длина нарабатывающих валков 23,2 *м*				43 *кг* на 1 *см* длины в сутки	
25	Рассевы: двухкорпусных 4, приемн. 12 (рамных самобалансирующих)	8	100 *т*	200 м²	0,5 *т* на 1 м² в сутки	4,0
26	Двойные вейки Омега для центральной аспирации	5	100 *т*	10 м²	10 *т* на 1 м² в сут.	5,0
27	Деташеры	8	—	—	—	2,0
28	Деташеры щеточные для отрубей	2	По 600 *кг/ч*	10 м²	120 *кг/ч* на 1 м²	5,0
29	Центрифуг. бурат	1	600 *кг/ч*	6 м²	100 *кг/ч* на 1 м²	2,5
30	Всасывающий фильтр в 32 рукава для вальцов. станков	1	200 м³/*мин* воздуха	40 м²	На 1 *м* длины валков 1,75 м²	0,25
31	Всасывающий фильтр в 24 рукава для аспирации рассевов	1	150 м³/*мин*	30 м²	1 м² фильтра на 7 м³ сит	0,25
32	Всасывающий фильтр в 32 рукава для веек	1	200 м³/*мин*	40 м²	По 70 м³ воздуха на 1 вейку	—
33	Всасывающ. фильтр в 24 рукава для аспирации веек	1	150 м³/*мин*	30 м²		0,5
34	Экгаустеры № 5	2	По 200 м³/*мин* воздуха	—	—	10,0
35	Экгаустеры № 4	2	По 150 м³/*мин*	—	—	8,0
36	Постав с вертикальн. жерновами диам. 750 *мм* для вымола отрубей	1	—	—	—	10,0
37	Двойные самотаски	31	—	—	—	46
38	Транспортные шнеки для зерна, муки и для аспирации	200 *м*	—	—	—	20
39	Трансмиссия	—	—	—	—	22.75
					Итого	290 IP*

* Удельный расход мощности 2,9 IP на 1 *т* суточной производительности.

закром в 3-м этаже над первым драным станком. Продукты размола из-под драных и размольных вальцов поднимаются самотасками на 5-й этаж и подаются на соответственные отделения рассевов. 5-й этаж—это рассевной этаж. Рассевы отбирают ситами грубые продукты, поступающие на следующие системы вальцовых станков. Крупные частицы ядра зерна направляются с рассевов на вейки в 4-м этаже, отвеянные отрубянистые части (относы) поступают на вальцы для вымола отходов. Промежуточные продукты помола—дунсты поступают также на соответствующие гладкие вальцы. Мука собирается транспортными винтами, подвешенными к потолку 4-го этажа, и отводится через самотаски в контрольные рассевы, с которых вторично просеянная чистая мука от-

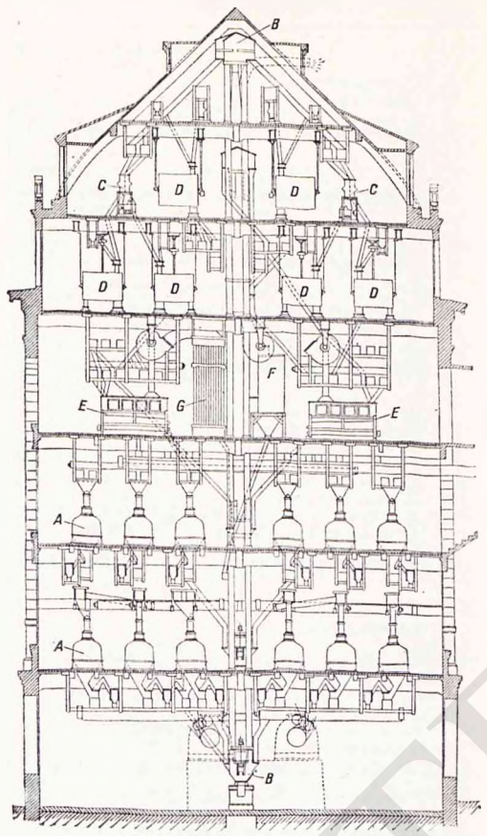
водится в выбойные закрома. 3-й этаж, обычно без машин, имеет под потолком транспортные винты, подающие продукты из-под веек 4-го этажа на различные системы вальцовых станков. Через 3-й этаж, называемый распределительным, проходят также трубы самотека от рассевов и веек к вальцовым станкам. Благодаря наличию распределительного этажа, вальцовый этаж является парадным. Над вальцовыми станками устанавливаются питательные коробки, над ними стеклянные трубы и над последними до потолка такого же диаметра прямые железные трубы. Иногда распределительный этаж сокращают, но тогда упраздняются железные прямые трубы и даже стеклянные, и самотек из-под веек и рассевов направляется в разных направлениях прямо на вальцовые станки. Такие установки встречаются в Америке, но весьма редко в Европе. Приведенная ниже как пример парижская мельница также не имеет распределительного этажа, но это вызвано необходимостью сэкономить один этаж, в виду наличия двух этажей вальцов и двух этажей рассевов; мельница 6-этажная, причем из-за отсутствия распределительного этажа оба вальцовых этажа имеют необычно большую высоту. 3) Выбой муки часто соединяется с пристроенным к мельнице мучным складом в один или несколько этажей. На данной мельнице выбойные аппараты приводные—для облегчения труда рабочих при выборе муки.

Примером крупной мельничной установки является большая парижская мельница (фиг. 5 и 6). Производительность ее 900 *m* в сутки. В целях использования площади здания вальцовые станки размещены во втором и третьем этажах в количестве 177 шт. при длине размольного здания 60 *м* и ширине 16 *м* в свету. Моловое здание двухпролетное с одним рядом колонн и одним рядом самотасок. Станки расположены по три ряда в каждом пролете. Здание в 6 эта-



Фиг. 5.

жей имеет высоту 27 *м*. По числу вальцовых станков (длине вальцовой щели) это самая большая мельница в мире. На 177 станков приходится 86 шт. 8-приемных рассевов и 52 двойных ситовейки, что соответствует производительности 900 *m* в сутки. Мельница расположена фасадом к реке Сене. Зерно из барж разгружается пневматич. транспортером производительностью 125 *m* зерна в час в элеватор, расположенный в одном здании с обоечным отделением,



Фиг. 6.

перпендикулярно к моловому корпусу. Длина этого здания 80 *м*, ширина 21 *м*, высота 27 *м*; 4 зернососа установлены на эстакаде, вдающейся на 50 *м* в реку Сену. Из 4 зернососов зерно идет по 2 железным трубам длиною 75 *м* к реципиентам, которые установлены в трехэтажном здании перед фасадом мельницы. В этом здании установлены также машины для предварительной очистки зерна. Перпендикулярно другому концу молового корпуса расположены мучные склады высотой в 8 этажей, размером 52 × 17 × 27 *м*. Мука из молового отделения передается винтовым транспортером в магазин—в 16 бетонных закромов с мукомешалками и автоматическими выбойными аппаратами. Элеватор и склады примыкают к ж.-д. путям. Справа от молового корпуса находится собственная силовая станция мощностью в 2 400 IP, подающая ток на мельницу. Показатели этой мельницы следующие: считая все станки метровыми, на 900 *m* имеем 354 *м* парнорабочих валков, или всего 26 *кг* на 1 *см* длины пары валков (очень малая нагрузка валков). Считая 86 рассевов по 26 *м*² нетто, или ~2 250 *м*² на 1 *m*, имеем 2,5 *м*², т. е. большую поверхность сит на *m* помола, но небольшую сравнительно с длиной станков. Площадь веек 52 · 2 = 104 *м*²; на 1 *m*—0,115 *м*². Расход энергии равен 2 400 : 900 = 2,66 IP на 1 *m*. Кубатура молового отделения выражается в 62 × 17,5 × 27 = 29 295 *м*³; обоечного отделения—в 28 × 21 × 27 = 15 876 *м*³; выбойного отделения—в 24 × 17 × 27 = 11 016 *м*³; всего — 56 187 *м*³, что на 1 *m* составляет 62 *м*³—достаточно большая величина, но на 1 вальцовый станок приходится 37 *м*³. На фиг. 6 (поперечный разрез большой парижской мельницы) можно усмотреть особенность, что при 6 рядах вальцов *A* в каждом из двух этажей (2-й и 3-й) имеется всего один ряд самотасок *B*—*B*, что дает экономию площадей мельницы и лучшее освещение, и это возможно при значительной длине молового зала—60 *м*, допускающей достаточное число самотасок в один

ряд, а также благодаря значительной мощности самотасок, группировки в них продуктов из-под нескольких вальцовых станков и подаче таковых на рассевы *D* через особые распределители *C* на 5-м и 6-м этажах; ситовейка *E*, фильтр — всасывающий *F* и нагнетательный *G*. Система группировок продуктов на меньшее число самотасок с делителями над рассевами принята и в Америке на крупных мельницах. Эта мельница имеет богатое обоечное отделение, мойки и кондиционеры, пневматический транспорт зерна, автоматич. выбой, взвешивание и зашивку мешков муки, механизацию транспорта муки и связана непосредственно с ж.-д. путями как для приема зерна, так и погрузки муки.

Лит.: Афанасьев П. А., Курс мукомольных мельниц, СПБ, 1893; Зворыкин К. А., Курс по мукомольному производству, Харьков, 1894; Козьмин П. А., Мукомольно-крупяное производство, 4 изд., М., 1926; Kettenbach F., Katechismus für Müller u. Mühlenbauer, Lpz., 1924; Taschenbuch d. Müllers. hrsg. von Miag, 8 Aufl., Dresden, 1927; Dedrick B. W., Practical Milling, Chicago, 1924; Swanson C. O., Wheat Flour and Diet, N. Y., 1928; Miller E. S., Milling Studies, Chicago, 1927; Lemire M., La meunerie appliquée, P., 1926; Bouquin A., Manuel de meunerie, P., 1923; Calfas P., Les grands moulins de Paris, P., 1926.

Л. Розенштейн.

МУЛИНЕ, крученый шелк. См. *Шелк*.

МУЛЛИТ (Mullit), огнеупорный керамич. материал, получивший распространение в последнее время в Америке. Искусственный М. состоит из стекловидного плавленного кварца (5—10% об.), содержащего кристаллы корунда, и минерала М. в виде пачек параллельных игл от 2 до 3,5 μ длиною. Валовой состав при пересчете характеризуется данными: 87,64% минерала М. и 12,36% кремнекислоты. Минерал М. ($3Al_2O_3.2SiO_2$) получается из алюмосиликатных минералов состава $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ [силлиманит, *андалузит* (см.) и *кианит* (см.)], неспособных существовать при $t°$ выше 1 545°. Реакция превращения, установленная Бауеном и Грейгом (Bowen и Greig), выражается ур-нием:

$$3(Al_2O_3 \cdot SiO_2) \rightarrow 3\,Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SiO_2.$$

Легче всего она идет, если исходным материалом служит кианит. Данные о минерале М. (названном по о-ву Мулль, где этот алюмосиликат встречается в естественном виде) и о минералах, которые служат для него исходным сырьем, сопоставлены в таблице.

Свойства минералов группы андалузита.

Минерал состав	Показатели преломления α	Показатели преломления γ	Угол призмы 110∧110	Уд. вес	$t°$ превращен. в М. °C	$t°$ превращен. в М. SK
Андалузит *1 . $Al_2O_3 \cdot SiO_2$	1,632	1,613	89° 12′	3,16—3,20	1 390	13
Силлиманит *1 . $Al_2O_3 \cdot SiO_2$	1,657	1,677	88° 15′	3,23—3,21	1 530	20
Кианит *2 . . . . $Al_2O_3 \cdot SiO_2$	—	—	—	3,56—3,67	1 370	12
Муллит *1 . . . . $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1,612	1,654	89° 13′	3,16	*3	36
						—

*1 Система ромбич. *2 Система триклинная. *3 Размягчение 1810°; начало плавления 1850°.

Керамич. материал М. кроме высокой $t°_{пл.}$ имеет также выгодную особенность—весьма малый коэф. теплового расширения, с вытекающей отсюда стойкостью в отношении резких $t°$-ных скачков. Удельн. вес его 3—3,1. Температура размягчения 1 850° (SK 36); при 1 450° М. под нагрузкою 3,52 *кг* на *см*² не обнаруживает за $1^1/_2$ ч. никакой заметной деформации. Коэф. теплового расширения его между 20 и 1 000° составляет 0,0000056. Материал выдерживает без потери веса более чем 70-кратное погружение в холодную воду, будучи нагрет до 1 850°, и при этом ничуть не трескается. Фирмы Vitrefax Co. в Лос Анджелос и Corning Glass Works, производящие М., исходят из кианита, подвергая его в течение нескольких минут нагреву до 1 370°; по охлаждении вещество тонко размалывается, смешивается с глиною или каолином (7—25% последнего), сплавляется при 1 900° и затем отливается под давлением. Изделия выходят покрытые, но только снаружи, шлаком, к-рый м. б. легко сбит с них. Особенно важное применение муллит нашел в стекольной промышленности: муллитовые же ванны служат до 3 лет и более.

Лит.: «Die Metallbörse», Berlin, 1928, B. 18, 23, p. 624.

П. Флоренский.

МУЛЬДА, см. *Шелк*.

МУЛЬДЕН-ПРЕСС, цилиндрический, вальцовый, корытный, желобчатый пресс или самопресс, машина выполняющая одну из операций аппретуры (отделки) шерстяных и полушерстяных тканей. Эта операция называется прессованием и придает ткани блеск, более гладкую поверхность, пергаментнообразную ощупь и нек-рую упругость, обеспечивающую более длительное сохранение у ткани того внешнего вида, к-рый был придан всей предыдущей обработкой (см. *Аппретура текстильных изделий*).

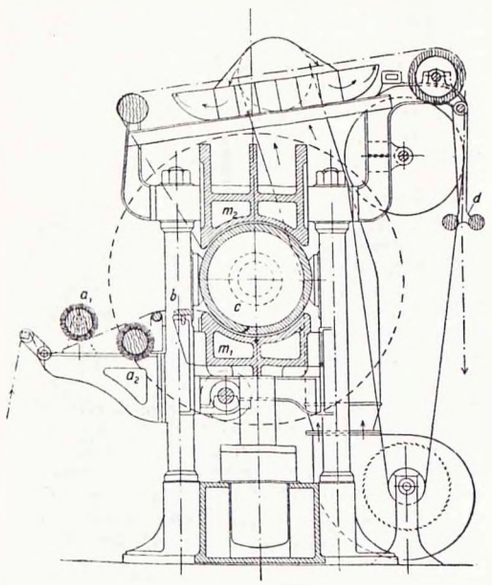
Главным органом М. п. является полый вал *C* (фиг. 1) или цилиндр ($d = 0{,}3 \div 0.5$ *м*) с корытом *M* (Mulden), нагреваемые паром или электричеством.

Фиг. 1.

Вал и корыто прижимаются друг к другу посредством гидравлич. цилиндров или грузов с особыми рычажными приспособлениями. По направляющей планке *B* ткань проходит в направлении стрелок между корытом и вращающимся цилиндром, подвергаясь процессу прессования. Сущность процесса сводится к тому, что ткань с определенным содержанием влажности под действием бо́льшего или меньшего давления скользит в корыте. Действие пресса в данном случае можно сравнить с действием утюга при глажении. Между цилиндром и корытом устанавливается гладко отполированный лист из меди или нейзильбера, который обеспечивает легкое скольжение ткани, причем последняя проходит изнанкой по цилиндру, а лицевой стороной по корыту. Иногда цилиндр покрывают бесконечным сукном, вследствие чего ткань прессуется по мягкой подкладке, что может давать особые эффекты. Давление во время прессования поддерживается постоянным и равномерным и контролируется манометром. В М.-п. оно значительно ниже, чем в других типах прессов и достигает при обработке сукон, буксинов и камвольных тканей 2—4 *atm*, а при нек-рых шевиотных товарах 6—10 *at/m*. Производительность М.-п. 2—4 *м/мин*. Недостаточно отпрессованная ткань обычно имеет вялый или тряпичный

вид и, наоборот, чрезмерно запрессованная жестка наощупь и имеет неприятный блеск.

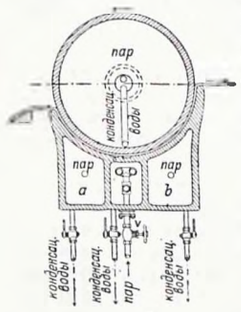
Для увеличения прессующей поверхности М.-п. устраиваются также и с двумя корытами. На фиг. 2 представлена схема такого М.-п. з-да Уайтлей. Ткань проходит между двумя щеточными валами a_1 и a_2, которые очищают приставший сор с обеих ее сторон и укладывают волокна на поверхности ткани



Фиг. 2.

в направлении ворса, затем по расправительной планке b проходит между цилиндром c и медным листом на корытах m_1 и m_2, огибает цилиндр c и выходит из машины через самосклад d или накатывается на ролики в зависимости от дальнейшего хода обработки. По выходе из-под прессующих поверхностей ткань подвергается охлаждению пропуском через нее тока холодного воздуха от вентилятора.

В М.-п. устраиваются приспособления для прессования ткани с толстой кромкой или платков с бахромой так, что при соответствующей перестановке цилиндра и корыта кромки остаются непрессованными. Имеются конструкции М.-п. с боковым расположением корыт с обеих сторон цилиндра. Также строятся М.-п. и с 2 цилиндрами, чтобы подвергнуть ткань более продолжительному прессованию, но такой М.-п. по существу представляет собою два пресса. Кроме того имеются М.-п. с приспособлением для одновременной декатировки ткани. В этом случае корыто разделяется на три части (фиг. 3), имеющие каждая самостоятельн. паропровод; из них a и b служат для обогревания корыта, а средняя часть для *декатировки* (см.). По мере



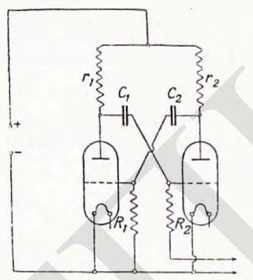
Фиг. 3.

надобности открывается вентиль r, и т. о. пар через трубку и направляющие каналы проходит по всей ширине ткани. При этом способе работы последняя одним проходом прессуется и декатируется; когда декатировочный вентиль закрыт, работа на этом прессе производится, как на обычном.

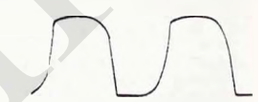
Лит.: Холл А. Д., Аппаратура для беления, крашения, печатания и отделки в текстильной промышленности, пер. с англ., Москва, 1929; Иоксимович Ч. М., Отделка ткани, Москва, 1914; Серебряков А. М., Отделка суконных товаров, Москва, 1930; Вознесенский Н. Н., Отделка ткани, «Химич. технологии волокнист. веществ», Москва, 1926, вып. 7; Georgievics G., Lehrbuch der chem. Technologie d. Gespinsterfasern, 4 Aufl., W.—Lpz., 1924; Reiser N., Die Appretur d. wollenen u. halbwollenen Waren, Lpz., 1899.

А. Великовский.

МУЛЬТИВИБРАТОР, схема лампового генератора, предложенного Г. Абрагамом и Е. Блохом. Этот генератор состоит из двух электронных ламп, соединенных друг с другом т. о., что анодная цепь второй лампы имеет емкостную связь через конденсатор C_1 с цепью сетки первой лампы, а анодная цепь первой лампы имеет емкостную связь через конденсатор C_2 с цепью сетки второй лампы (фиг. 1). Колебания здесь возникают за счет заряда и разряда конденсаторов C_1 и C_2 через сопротивления R_1 и R_2. Продолжительность основного колебания приблизительно равна сумме $C_1R_1+C_2R_2$. Характерной особенностью такого генератора является чрезвычайное обилие гармоник; осциллограмма тока в цепи сетки М. для периода основной частоты $T=2{,}5$ ц/ск. дана на фиг. 2. М. с успехом используется при очень точных радиоизмерениях, выполняя функцию стандарта частоты. Для этой цели совместно с М. употребляют камертонный генератор, фильтрующие контуры и избирательный усилитель. В наиболее распространенной конструкции М. Сюлливана камертонный генератор имеет собственную частоту 1 000 ц/ск. Основная частота М. путем регулирования конденсаторов C_1 и C_2 устанавливается также точно соответствующей 1 000 ц/ск., причем это равенство проверяется



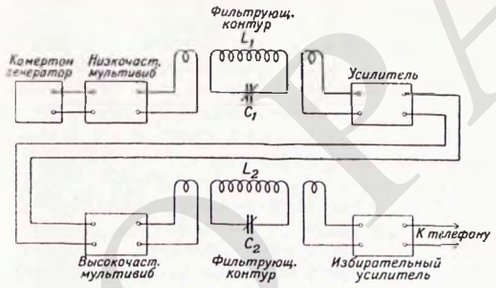
Фиг. 1.



Фиг. 2.

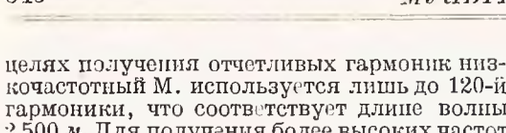
методом исчезновения *биений* (см.). Требуемая для целей измерения гармоника М., через фильтрующий резонансный контур L_1C_1 (фиг. 3), подводится к избирательному четырехламповому усилителю. Фильтрующий контур служит для отфильтровывания всех остальных ненужных гармоник М.; он может настраиваться на частоты от самых низких до 1 200 кц/ск. В анодной цепи первой лампы избирательного усилителя находится резонансный контур, настраиваемый на частоты, лежащие в диапазоне 8—2 000 кц/ск. Вторая лампа выполняет функции детектора и регенератора, третья и четвертая лампы действуют как усилитель низкой частоты. В

целях получения отчетливых гармоник низкочастотный М. используется лишь до 120-й гармоники, что соответствует длине волны 2 500 *м*. Для получения более высоких частот необходимо добавление второго высокочастотного М., основная частота которого равна 20 кц/ск. и точно устанавливается по 20-й гармонике низкочастотного М. регулированием накала ламп. Высокочастотный М. используется до 60-й гармоники, следовательно наивысшая получаемая частота равна



Фиг. 3.

1 200 кц/ск. ($\lambda=250$ *м*). Отличие высокочастотного М. от низкочастотного заключается только в том, что анодные сопротивления r_1 и r_2 (фиг. 1) заменены катушками самоиндукции. Фильтрующий резонансный контур L_2C_2 (фиг. 3) служит для отфильтровывания всех нежелательных гармоник, даваемых высокочастотным М. На фиг. 4 представлены резонансные кривые (измеренные термогальванометром) 25—45-й гармоник М. Описанная установка, состоящая из собственно М., фильтрующих контуров и избирательного усилителя, часто используется для



Фиг. 4.

точной градуировки волномеров. Градуировка выполняется след. обр зом: настроив установку на какую-нибудь частоту (кратную частоте камертона 1 000 ц/ск.), связывают с избирательным усилителем вспомогательный ламповый генератор. Эта связь осуществляется расположением вспомогательного генератора на соседнем столе в расстоянии от избирательного усилителя 4—5 *м* без помощи каких-либо добавочных катушек связи. Вспомогательный генератор по методу биений точно настраивается на частоту, даваемую установкой. Градуируемый волномер связывается со вспомогательным генератором и настраивается с ним в резонанс. В качестве индикатора резонанса обыкновенно употребляется гальванометр постоянного тока, включаемый в предназначенные для телефона гнезда на волномере. Изменяя частоту, даваемую установкой, и производя каждый раз требуемые настройки, получают градуировку волномера. В случае градуировки гетеродинного волномера настройка в резонанс осуществляется по методу биений между колебаниями гетеродинного волномера и колебаниями вспомогательного генератора. Исчезновение биений наблюдается в телефоне гетеродинного волномера. Мощность вспомогательного генератора обычно берется не менее 20 W.

Лит.: Moullin E. B., The Theory a. Practice of Radio Frequency Measurements, London, 1926; Abraham H., Bloch E., Mesure en valeur absolue des périodes des oscillations électriques de haute fréquence, «Annales de Physique», Paris, 1919, série 9, t. 11, p. 237—302; Griffith W. H., A Standard Multivibrator Wavemeter, «Wireless World a. Rad. Rev.», L., 1925, v. 16, p. 309—313; Scheibe A., Normalfrequenzen u. absolute Frequenzmessung, «Zeitschrift f. Hochfrequenztechnik», B., 1927, *29*, p. 120—129, 158—162.

Н. Крылов.

МУЛЬТИРОТАЦИЯ, см. *Мутаротация*.

МУМИЯ, минеральная краска, состоящая из безводной окиси железа с примесью гипса или алюмосиликатов. Содержание Fe_2O_3 в М.—от 30 до 90%. Краска, содержащая более 90% Fe_2O_3, носит в торговле название кровавика, или крокуса; краска с темнофиолетовым оттенком носит название капут-мортуум, или фиолетовой М., с красным—английской красной. Получается М. обжигом железного купороса. Темп-ра и доступ воздуха при обжиге оказывают большое влияние на оттенок краски. М. как масляная краска очень распространена в малярном деле; с вареным маслом она хорошо сохнет и дает прочный слой, противостоящий атмосферным влияниям. При исследовании М. продукт испытывается на присутствие свободных к-т и растворимых солей железа, т. к. присутствие их делает краску непригодной для окраски железных частей и затрудняет ее высыхание. При приеме к М. в качестве краски предъявляют следующие требования: 1) однородный и достаточно тонкий помол, 2) отсутствие кислотности, 3) содержание Fe_2O_3 не менее 25% для светлых сортов М. и не менее 40%—для темных; остальная часть М. может представлять гипс или глину, но не мел [1].

Лит.: 1) ОСТ 279, см. также *Краски минеральные*.

С. Михайлов.

МУРАВЛЕНИЕ, соляное глазурование, см. *Глазури*.

МУРАВЬИНАЯ КИСЛОТА, HCOOH, простейшая из карбоновых к-т жирного ряда (см. *Кислоты*). В природе встречается в различных частях и органах животных и растений; образуется при неполном сгорании органич. веществ и в результате разнообразных биохимич. реакций, напр. в процессах брожения. М. к. является одним из давно известных органич. веществ; впервые она была обнаружена в муравьях, откуда и получила свое название.

Свойства. М. к.—жидкость с едким запахом, сильно раздражающая слизистые оболочки; при попадании на кожу вызывает долго не заживающие болезненные ожоги: $t°_{пл.}$ М. к. +8,3°; $t°_{кип.}$ 100,8° при 760 *мм*, 30,5° при 50 *мм* и 21,8° при 25 *мм*; уд. вес 1,2201; теплоемкость 0,522 (от 18 до 56°), 0,552 (от 84 до 150); теплота испарения на 1 *г*-моль 4,8 cal. М. к. легко растворяется в спирте и эфире; с водой М. к. смешивается в любом отношении. Смесь М. к. с водой, содержащая 22,5% воды, имеет постоянную $t°_{кип.}$, равную 107,1°, и отвечает составу $4\,HCOOH+3\,H_2O$. Уд. в. водных растворов М. к.—см. ниже. Являясь первым членом гомологического ряда жирных к-т, М. к. резко отличается от своих гомологов наличием

Удельные веса водных растворов М. к.

Крепость раствора М. к. в %	D_4^{20}	Крепость раствора М. к. в %	D_4^{20}
10	1,0247	60	1,1425
20	1,0489	70	1,1656
30	1,0730	80	1,1861
40	1,0964	90	1,2045
50	1,1208	100	1,2201

восстановительной способности, которою остальные жирные к-ты не обладают:

$$HCOOH + O = H_2O + CO_2.$$

Поэтому М. к. осаждает при нагревании из водных растворов солей серебра металлич. Ag; окись ртути она восстанавливает в Hg; $HgCl_2$ превращает сначала в HgCl, а затем—в металлическую Hg. Причиной восстановительных свойств М. к. является наличие в ней альдегидной группы $-C\overset{O}{\underset{H}{<}}$. Другим характерным свойством М. к. является распад по уравнению:

$$HCOOH = CO + H_2O,$$

совершающийся под влиянием водоотщепляющих веществ (напр. конц. серной к-ты); эта реакция служит удобным приемом для получения чистой окиси углерода в лабораториях. В присутствии мелко раздробленного родия (аналогично влияют Ir и Ru) М. к. каталитически распадается на CO_2 и H_2. М. к. принадлежит к числу очень сильных к-т; константа ее диссоциации в 12 раз больше соответствующей константы для уксусной к-ты. Соли М. к.—**формиаты**—б. ч. устойчивы и хорошо кристаллизуются (обычно без кристаллизационной воды). по с некоторыми тяжелыми металлами, например Ag, Au и $Hg^{\cdot\cdot}$, М. к. солей не образует.

Получение М. к. Для получения М к. могут быть применены весьма разнообразные методы, из которых только немногие представляют технич. интерес. Окисление метилового спирта, омыление синильной кислоты или хлороформа, разложение хлорала щелочами и т. п. реакции приводят к образованию М. к., но практич. значения не имеют. Прежде для получения М. к. пользовались почти исключительно реакцией, открытой Бертело и заключающейся в термич. разложении двухводной щавелевой к-ты в присутствии глицерина:

$$\underset{\text{щавелевая кислота}}{C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O} = HCOOH + 2H_2O + CO_2.$$

Роль глицерина состоит в том, что он образует с отщепляющейся от щавелевой кислоты М. к. сложный эфир, который в следующей стадии процесса разлагается кристаллизационной водой щавелевой к-ты на М. к. и глицерин:

I. $HCOOH + \underset{\text{глицерин}}{C_3H_5(OH)_3} = C_3H_5(OH)_2 \cdot O \cdot CHO + H_2O;$

II. $C_3H_5(OH)_2 \cdot O \cdot CHO + H_2O = C_3H_5(OH)_3 + HCOOH.$

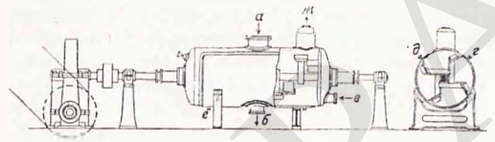
Несмотря на то, что этот способ не требует сложной аппаратуры и дает весьма хороший выход, он оказался нерентабельным, вследствие высокой стоимости исходного продукта (щавелевой кислоты). Только после того как был разработан дешевый способ получения формиатов, а из них—свободной к-ты, получение М. к. получило надежную экономич. базу. В виду того, что щелочные соли М. к. при нагревании превращаются в оксалаты, они в настоящее время применяются как исходный продукт для приготовления щавелевой кислоты. Все современные способы производства М. к. исходят из формиатов, получение к-рых основано на реакции между окисью углерода и щелочами. В качестве последних пригодны не только гидраты окисей щелочных или щелочноземельных металлов, но и аммиак и органические основания. Несмотря на то, что в патентной литературе встречаются самые разнообразные видоизменения этой общей реакции как по способу проведения, так и по характеру щелочного компонента, в технике в настоящее время применяются только три способа, пользующиеся в качестве исходного продукта либо едким натром, либо известью, либо солевыми смесями, в водных растворах которых образуется едкий натр.

1. **Получение формиата из едкого натра.** При действии CO на NaOH получается формиат натрия:

$$NaOH + CO = HCOONa,$$

из к-рого действием минеральной кислоты может быть приготовлена М. к. Однако это превращение при обыкновенной темп-ре и даже при 100° протекает чрезвычайно медленно. Для ускорения реакции Мерц и Тибириса (Tibiriça) [1] в 1880 г. предложили пользоваться вместо NaOH натронной известью. Этим путем 80% NaOH, находящегося в натронной извести, превращается в формиат; однако и в этом случае реакция протекала весьма медленно и требовала нагревания до 170—200°. Только в 1894 г. Гольдшмидт [2] улучшил способ настолько, что он стал служить способом технич. приготовления формиатов. Видоизменение, внесенное Гольдшмидтом, заключалось главным обр. в том, что реакция производилась при повышенном давлении. Вместо натронной извести он пользовался смесью измельченного NaOH с известью или углем. По этому способу нек-рое время приготовлялись формиаты для восстановления селитры в азотистокислые соли.

Существенное изменение в способ Гольдшмидта было внесено электрохимич. з-дом в Биттерфельде [3]. Согласно патентных сообщений, сделанных этим з-дом, формиаты приготовляются действием CO при нагревании и повышенном давлении на твердый кусковой NaOH, к-рый в течение всей операции сильно размешивается особо мощными мешалками. Этим дано было разрешение проблемы получения дешевых формиатов и следовательно дешевой М. к. В настоящее время для проведения реакции между CO и NaOH применяются автоклавы емкостью от 3 $м^3$ и больше, рассчитанные на рабочее давление в 8 atm. Они снабжены мощными мешалками специальной конструкции, кожухом для подогревания паром и различными эксплоатационными и измерительными приспособлениями (фиг. 1, $а$—отверстие для наполнения, $б$—выход продукта, $в$—впуск охлаждающей воды, $г$—выпуск ее, $д$—впуск пара, $е$—выпуск конденсационной воды и $ж$—выпуск газов). Для суточного производства 3 000 $кг$ формиата натрия из 2 000 $кг$ NaOH необходимо два рабочих автоклава и один запасный. Каждый автоклав (3 $м^3$) вмещает 1 000 $кг$ NaOH и дает 1 500—1 600 $кг$ формиата. После загрузки (едкий натр должен содержать не менее 95% чистого NaOH и предварительно измельчается в куски величиной с кулак) автоклав нагревают и пропускают *генераторный газ* (см.) под давлением в 8 atm. Вследствие экзотермичности процесс вначале протекает чрезвычайно энергично, температура в автоклаве поднимается; выходящий газ



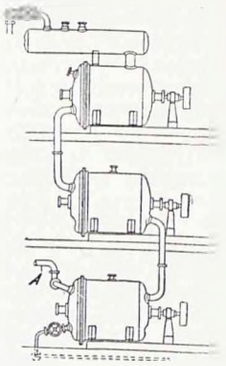
Фиг. 1.

состоит гл. обр. из азота (и других составных частей генераторного газа) и только небольшой примеси CO; тогда нагревание прекращают и в кожух пропускают воду, поддерживая необходимую $t°$. Для устранения спекания массы перемешивание не прекращают до самого конца реакции и охлаждения реакционной смеси. Генераторный газ, применяемый для получения формиата, должен содержать ок. 30% CO и должен быть хорошо очищен от серы, в присутствии которой образуются окрашенные соединения с запахом меркаптанов, сильно затрудняющие дальнейшее получение чистой М. к. Присутствие воды (в большинстве случаев достаточно влаги генераторного газа) повидимому способствует реакции, т. к. совершенно сухие CO и NaOH не реагируют. После того как реакция заканчивается (понижение $t°$), автоклав охлаждают и CO перед выгрузкой формиата выдувают воздухом. При нормальной работе полученный продукт представляет собою слабо окрашенный в желтый цвет гигроскопич. порошок, содержащий 90—95% формиата натрия.

Мокрый способ получения формиата. По этому способу, запатентованному фирмой R. Koepp Co. [4], вместо твердого NaOH применяются его водные растворы. Целесообразность работы с растворами объясняется тем, что при этом сокращаются весьма значительные расходы, связанные с выпаркой щелоков при приготовлении NaOH. Эта операция, выполняемая при высокой $t°$, в мокром способе заменяется упариванием водных растворов формиата, что требует только небольших затрат. Преимущества мокрого способа становятся еще более очевидными, если принять во внимание, что вместо растворов NaOH можно пользоваться Na_2SO_4 и $Ca(OH)_2$, которые в водном растворе образуют равновесную систему:

$$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 \rightleftarrows 2NaOH + CaSO_4.$$

При действии CO на эту систему при нагревании и повышенном давлении NaOH быстро связывается в формиат, и нарушенное равновесие восстанавливается за счет превращения Na_2SO_4 и $Ca(OH)_2$ в NaOH; т. о. весь Na сульфата превращается в формиат. Для непрерывной работы по этому способу применяют аппараты, состоящие из трех автоклавов (фиг. 2) в виде цилиндров из кованой стали, снабженных мешалками ($А$—впуск пара). В этих цилиндрах, которые расположены друг над другом и соединены между собой трубами, находится смесь известкового молока и сульфата натрия. Реакцию ведут с генераторным газом при 200° и давлении 15—20 atm. По мере использования $NaSO_4$ и $Ca(OH)_2$ в автоклавы накачивают свежую реакционную смесь, к-рая сначала поступает в последний цилиндр, откуда выходит отработанный газ. Этим путем осуществляется противоток, обеспечивающий возможность непрерывного ведения процесса. Для компенсации воды, увлекаемой отработанным газом, автоклавы связывают с паропроводом. Так. обр. генераторный газ, насыщенный парами воды, упругость к-рых отвечает давлению, существующему в абсорберах, проходит через всю систему и в конечном итоге может быть применен для питания паровых машин, причем используется не только энергия пара, но и энергия компримированного азота, который остается после реакции. Продукт реакции выпускается в отстойники, где освобождается от главной массы $CaSO_4$, затем отфильтровывается и выпаривается в вакууме. Формиат натрия, к-рый получен по мокрому способу, содержит небольшое количество Ca, которое на получение М. к. вредно не отражается. Для получения же оксалатов формиат необходимо предварительно освободить от Ca,—лишняя операция по сравнению со способом, применяющим твердый едкий натр, и дающим продукт, непосредственно пригодный для превращения в оксалат.



Фиг. 2.

Приготовление формиата кальция. Экономич. смысл этого способа, предложенного BASF, заключается в стремлении заменить сравнительно дорогой NaOH дешевой известью. Получающийся формиат кальция вполне пригоден для приготовления М. к. Для получения же оксалатов его подвергают обменному разложению в водном растворе с Na_2SO_4 (на 12 молей формиата берут 10 молей Na_2SO_4). Необходимым условием проведения реакции по этому способу является применение высокопроцентной окиси углерода (90% CO), которая получается в газогенераторах с кислородным дутьем. Работа по приготовлению формиата кальция производится в аппаратах, сходных с автоклавами, применяемыми для получения формиата натрия из твердого NaOH. Согласно патентам BASF [5], реакция между влажным $Ca(OH)_2$ и высокопроцентным CO-газом протекает при $t°$ 200° и давлении 60 atm. В виду того, что по мере использования CO в автоклаве накапливаются посторонние примеси (N_2, CO_2, H_2 и другие), а газ с низким содержанием CO (< 50%) дает несравненно худшие результаты,—степень использования CO тут меньше, чем в других способах. Отработанный

газ, содержащий еще значительные количества CO, может быть применен в качестве топлива. Необходимость применения газа с высоким содержанием CO значительно ограничивает распространение этого способа. Устройство специальных установок (Линде, Клода и т. д.) для получения кислорода при заводах муравьиной кислоты не может быть выгодным. Применение этого способа дает экономический эффект повидимому только в том случае, если производство М. к. организуется при каких-либо других производствах, при которых кислород получается в качестве побочного продукта (напр. при получении электролитич. водорода для синтеза аммиака, метанола и т. п). Второй недостаток этого способа заключается в том, что CO подвергается сильному компримированию. Это отчасти компенсируется тем обстоятельством, что компримированию и всем дальнейшим операциям—очистке и т. д. подвергается только $^1/_3$ объема газа, применяемого в других способах, пользующихся генераторным газом, который содержит около 70% балластного азота. Преимущество заключается в том, что формиат получается почти сухим и не требует значительных расходов по выпарке.

Помимо описанных способов, нашедших широкое применение в технике, существует ряд методов получения формиатов, которые до сих пор еще не вышли из стадии опытных установок. Большой интерес представляют патенты BASF [6], в которых описывается получение формамида и формиата аммония из CO и NH_3 в присутствии воды. Возможность приготовления М. к. из формамида и формиата аммония обещает дать наилучшее разрешение проблемы производства М. к., так как при этом одновременно достигается получение двух ценных продуктов: М. к. и сульфата аммония—одного из наиболее употребительных удобрительных туков.

В технике концентрированную М. к. приготовляют разложением формиатов, полученных тем либо иным способом, минеральными кислотами, гл. образом концентр. серной к-той. Эта на первый взгляд простая операция осложняется тем, что конц. серная кислота даже при обыкновенной $t°$ разлагает М. к. на CO и H_2O. Применение же разбавленной кислоты невыгодно, т. к. при этом получается 60—65%-ная М. к., непригодная для многих целей. Концентрирование М. к. в колонных аппаратах невозможно, ибо минимум давления паров системы М. к.+вода отвечает растворам с содержанием 75% М. к. Разрешение проблемы получения конц. М. к. было дано М. Гамелем [7], который разработал способ разложения формиатов, заключающийся в том, что формиат сначала разбавляется конц. М. к., а затем к этой смеси приливается конц. H_2SO_4. Например к 100 *кг* сухого формиата натрия и 100 *кг* 90%-ной М. к. постепенно при охлаждении и сильном перемешивании приливают 75 *кг* серной кислоты (66°Bé). Затем к смеси снова добавляют 100 *кг* формиата и 75 *кг* серной кислоты и повторяют эту операцию столько раз, сколько позволяет емкость сосуда. Отгон М. к. из реакционной смеси ведут в чугунных вакуум-аппаратах, снабженных мешалками; дистиллат собирают в керамиковых приемниках. Этим путем получается 90%-ная М. к. Возможно приготовление М. к. высшей концентрации, если для первой смеси воспользоваться 99—100%-ной М. к. и разложение вести моногидратом H_2SO_4 или слабо дымящей H_2SO_4.

Применение М. к. В кожевенной промышленности М. к. служит для удаления кальция из кожи, т. к. формиат кальция хорошо растворим в воде. Наибольшее применение М. к. находит в текстильной промышленности, где она постепенно вытесняет уксусную и другие (например щавелевую, молочную) органич. кислоты. В некоторых отраслях текстильной промышленности, где большое значение имеет сохранение крепости волокна или ткани, М. к. успешно конкурирует даже с серной кислотой. Главная область применения М. к.—в технологии крашения шерсти, т. к. она медленнее и полнее восстанавливает хромовую кислоту, чем винная, щавелевая или молочная кислоты. При крашении полушерстяных товаров выгоднее также пользоваться М. к. вместо серной, так как первая совершенно не действует на растительное волокно. В последнее время встал вопрос о возможности приготовления формиатов целлюлозы в промышленности искусственного волокна. В фармацевтической промышленности М. к. применяется для приготовления муравьинокислых эфиров глицерина (диформиина), которые служат заменой *ацетина* (см.). Наконец М. к. пользуются для приготовления жидких клеевых масс, сложных эфиров М. к., для восстановления органич. соединений, для коагуляции каучука и в качестве консервирующего и дезинфицирующего средства в различных отраслях промышленности (консервном деле, пивоварении, винокурении и т. д.).

Эфиры М. к. Из эфиров М. к. наибольшее значение имеют следующие: метиловый эфир, метилформиат, $HCOO \cdot CH_3$, — жидкость с $t°_{кип.}$ 32,3°; при хлорировании из него получается ряд эфиров хлоругольной к-ты, к-рые применяются как *боевые отравляющие вещества* (см.) и как *инсектициды* (см.). Этиловый эфир М. к., этилформиат, $HCOO \cdot C_2H_5$, легко подвижная, горючая жидкость, пахнущая ромом, смешивающаяся со спиртом и эфиром, с $t°$ замерзания $-80{,}5°$; $t°_{кип.}$ 54,5°; $D_4^{15} = 0{,}9298$; получается нагреванием щавелевой кислоты с глицерином и этиловым спиртом; легче его получать нагреванием молекулярных количеств М. к. и спирта в присутствии 1—2% (объемных) серной к-ты. BASF получает его из абсолютного спирта действием CO в присутствии алкоголята натрия; реакция протекает при $t°$ 60—100° и давлении в 200 *atm*. Этот эфир применяют для приготовления фруктовых эссенций (искусственный ром), также для денатурации спирта, в медицине и ветеринарии; кроме того он служит растворителем целлюлоида и коллодионного хлопка; в органич. синтезе им пользуются для получения альдегидов (при действии на магнийорганич. соединения). Изоамиловый эфир М. к., $HCOO \cdot C_5H_{11}$, жидкость с фруктовым запахом, $t°_{кип.}$ 123,5°, $D_4^{20} = 0{,}8773$, получается длительным нагреванием изоамилового спирта (176 ч.) с 106 ч. 86,4%-ной муравьиной кислоты и с 28,5 ч. 70%-ного раствора $CaCl_2$; применяется для приготовления фруктовых эссенций, а также и в качестве растворителя целлюлоида и коллодионного хлопка.

Лит.: [1]) «B», 1880, B. 13, p. 23; [2]) Г. П. 86419; [3]) Г. П. 179515; [4]) Г. П. 209417, 212641; [5]) Г. П. 383538; [6]) Г. П. 390798, 392409, 414257; [7]) Г. П. 169730.—Чичибабин А. Е., Основные начала органической химии, 2 изд., М.—Л., 1929; Meyer V. u. Jacobson P., Lehrbuch d. organ. Chemie, 2 Aufl., B. 1, p. 509, B.—Leipzig, 1922; Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 1, T. 1, p. 330. **С. Медведев.**

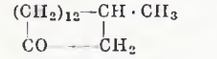
МУРАВЬИНЫЙ АЛЬДЕГИД, см. *Формальдегид*.

МУСКОВИТ, калиевая слюда, см. *Слюда*.

МУСКУС, продукт, вырабатываемый семенными железами самца кабарги, Moschus moschifera, водящейся в Гималаях, Тибете, Монголии и пограничных районах Сибири (натуральный М.). Приготовляют М. сушкой железы, вырезанной у убитой кабарги, на воздухе или на горячих железных листах; полученный т. о. мускус называется М. в мешочках. Вынутый из железы М. представляет собою мелкие, почти круглые зерна темнобурой окраски с резким характерным запахом и носит название мускус в зернах. Высшим сортом считается «тонкинский»; несколько ниже расценивается так наз. «кабаргинский» (добываемый в Монголии и Сибири).

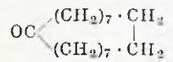
О химич. природе М. известно сравнительно мало; главной составной частью, обусловливающей его запах, является мускон, $C_{16}H_{30}O$ (ок. 0,5—2% всей массы), бесцветное масло с сильным запахом М., растворяющееся хорошо в спирте и мало в воде; $t°_{кип.}$ 327—330° (частичное разложение).

Строение мускона изучено Ружичкой, который придает ему следующую ф-лу:

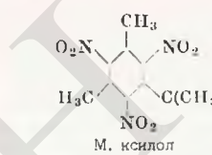


Синтез мускона, недавно осуществленный, промышленного значения еще не получил. Высокая цена М. и быстрое истребление мускусной кабарги приводят к широко распространенной фальсификации М.: подмешиванию сгустков крови, обрезков кожи и т. п. Мировое производство натурального М. составляет приблизительно 2 400 *кг*, на сумму около 3 млн. руб.

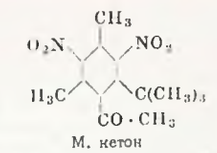
Существует ряд продуктов животного происхождения, заменяющих М., напр. хвосты америк. мускусной крысы, Fiber zibeticus, и др. Из синтетич. веществ наиболее близким к природному М. является эксальтон, имеющий строение



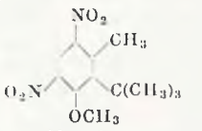
Метод производства его связан с синтезом Ружички, к-рый исходил из дикарбоновых к-т с длинной цепью. Заменителями, ничего общего по химич. строению с натуральным М. не имеющими, являются так называемые искусственные М.—нитропроизводные углеводородов ароматического ряда. Главнейшими из них являются следующие:



М. ксилол



М. кетон



М. амбретт

(по исследованиям Ружички)

Способы получения этих соединений состоят в конденсации изобутилхлорида или бутилена соответственно с ксилолом, диметилацетофеноном или *м*-крезолом с последующим нитрованием полученного продукта. Все три сорта искусственного М. имеют различные запахи, б. или м. приближающиеся к запаху природного М., но не идентичные с ним.

Природный М. находит применение в парфюмерном производстве и в медицине (как возбуждающее); синтетич. и искусственные М. употребляются в парфюмерии как фиксаторы и оттенители запаха. Потребность в искусственном М. составляет ок. 8 000 *кг*; производство его находится в начальной стадии. Натуральный М. в СССР является экспортным товаром.

Лит.: Boux Cl., Les produits odorants d'origine animale, Lyon, 1924, см. также *Душистые вещества*. **Б. Рутовский.**

МУСОР, домовые и промышл. твердые отбросы, дворовый и уличный смет. Словом М. в общежитии принято называть все то, что накопляется в домашнем хозяйстве или в торгово-промышл. заведениях как ненужное и вышедшее из употребления, как то: 1) накопляющиеся ежедневно в населенных местах, в жилищах хозяйственные домовые твердые отбросы; 2) дворовый и уличный смет на территориях жилищ, на улицах, площадях, рынках и других местах общественного пользования; 3) торгово-промышленные отбросы, смешанные с домовыми отбросами там, где торгово-промышл. заведения находятся на территории жилых помещений. Отбросы всех трех указанных категорий относятся к разряду гнию щих. К гнию щему М. относятся также отбросы производства предприятий, имеющих дело с предметами животного и растительного происхождения. Этот особый вид отбросов требует для своего удаления и обезвреживания особых приемов или утилизируется для каких-нибудь целей путем переработки. Кроме указанного вида отбросов накопляются во владениях еще и негнию щие отбросы, как напр. строительный М., земля, песок и т. п.; этот сорт отбросов однообразен по составу, накопление его носит случайный характер, не требует специальных приемов для своего сбора и вывоза и потому не представляет особого интереса для его изучения. Все указанные выше отбросы накопляются в населенных местах изо дня в день, и по мере накопления необходимо заблаговременно удалять отбросы, не доводя их до состояния разложения и гниения. В противном случае М., хранящийся долго на одном месте, представляет благоприятные условия для размножения

мух и крыс, разносящих всюду заразу. Если в небольших городах мероприятия по вывозу и обезвреживанию М. не связаны для населения с особенными трудностями, то в крупных городах очистка их от М. представляет серьезную задачу, надлежащее разрешение к-рой при соблюдении всех санитарных условий требует больших единовременных затрат на сооружения и транспортные средства и очень сложной организации и эксплоатации, в связи с крупными затратами. Очистке предшествует изучение характера, свойств и состава М., размеров его накопления, способов сбора и хранения, меняющихся в зависимости от многих факторов и местных условий. Способы сбора, хранения, утилизации и обезвреживания в зависимости от большего или меньшего развития техники этого дела бывают очень различны.

Домовый М. составляют отбросы следующих видов: 1) кухонные отбросы, к которым относятся остатки овощей, фруктов, зелени, кости, остатки мяса, всякой пищи и всякого рода животные и растительные отбросы; 2) зола, смет комнатный, шлак и остатки топлива; сюда же относятся смет дворовый и уличный и опавшие с деревьев листья, если они собираются вместе с домовыми отбросами; 3) бумага, тряпье и всякого рода текстиль, стекло, фарфор, пробки, старое платье, старая обувь, консервные коробки, эмалированная посуда, щепа, остатки угля и других горючих материалов и все те предметы широкого потребления, к-рые выбрасываются как ненужные и вышедшие из употребления или совершенно негодные; 4) различные отбросы из торгово-промышленных заведений.

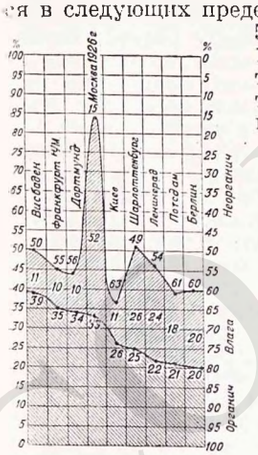
Анализ М. Примеханич. анализе предварительно высушивают М. на открытом воздухе или в сушильн. шкафах до постоянного веса, просеивают через сито с отверстиями определенных размеров, крупные части, оставшиеся на сите, рассортировывают на отдельные составные части. Эти последние делятся на органические и неорганические. Существует специально выработанная методика для исследования М., к-рой руководствуются при механическом анализе и при других лабораторных работах, касающихся изучения количества, состава и свойств М. Такая методика для СССР выработана специальной комиссией по поручению Постоянного бюро Всес. водопроводных и санитарно-технич. съездов, одобрена II Всес. съездом 1927 г. в Харькове и принята к руководству всеми русскими городами, занятыми в настоящее время изучением М. В нее входят 9 разделов: 1) методы определения размеров накопления М. в весовом и объемном отношениях; 2) методика взятия проб первичной и средней и определения состава М.; 3) механич. анализ; 4) элементарный анализ; 5) определение содержания летучих; 6) калориметрия; 7) приготовление аналитических проб; 8) отбор средней пробы шлака и анализ шлака, уноса и провала; 9) определение золы. Инструкция и все приемы работ по анализам приведены в указанной выше методике. По немецкой методике установлена следующая номенклатура составных частей М. для механич. анализа. А) Органич. часть: 1) каменный уголь, 2) кокс, 3) дерево, бумага, 4) овощные отбросы, 5) животные отбросы, 6) кости, 7) тряпки, 8) солома, 9) сено, 10) кожа, 11) вата, 12) резина, 13) волос, 14) листья, 15) пробки, 16) перья, 17) конопля, 18) войлок, 19) мелкий М., 20) крупный М. Б) Неорганическая часть: 1) камни, 2) фарфор, 3) шлак, 4) битый кирпич, 5) гипс, 6) глина, 7) металл, 8) стекло, 9) разное, 10) крупный отсев, 11) мелкий отсев. По методике В. Гампе (Hampe) номенклатура сводится к 15 элементам.

Номенклатура методики, принятой в СССР и преследующей гл. обр. определение теплотворной способности, значительно упрощена и сводится к следующим 14 элементам вместо 31, принятых по немецк. номенклатуре: 1) дерево (солома, пробка, сено), 2) бумага (картон, обои, окурки), 3) кухонные отбросы (остатки мяса, очистки овощей и др.), 4) текстиль (тряпки, веревки, волос, войлок), 5) уголь (древесный, каменный, кокс), 6) кости и чешуя, 7) все прочие органические части, 8) шлак, 9) камни, 10) стекло, фарфор, 11) кирпич и все прочие неорганические части, 12) металл, 13) мелкий отсев и зола, 14) крупный отсев. Номенклатура, классифицируя выборку из мусора ценных предметов, принята Всесоюзным водопроводным и санитарно-техническим съездом в 1929 г. в следующем виде: 1) цветные металлы, чугун и изделия из него, 2) текстиль (тряпки, веревки, войлок, вата, шерстяные изделия, ковры и пр.), 3) кожа, резина и изделия из них, 4) кости и изделия из них, 5) пробки, 6) бумага и изделия из нее, 7) стекло и фарфор небитые, 8) битые стекло и фарфор, 9) разный железный хлам и 10) консервные коробки. Если преследуется цель утилизации пищевых отбросов в мусоре для корма домашних животных или для извлечения жиров, то изучение таких отбросов производится по особой методике, со своей специальной номенклатурой, в зависимости от приемов обработки, которым должен подвергаться М. Если изучение М. или мусорной мелочи после отсева преследует цели удобрения, то и здесь методика должна быть особая.

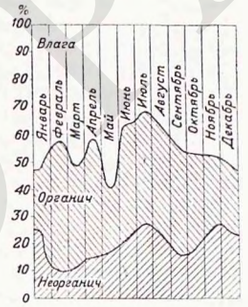
Процентное содержание тех или иных элементов находится в зависимости от многих факторов, к числу к-рых относятся: благосостояние населения, культурность его, климатические условия, род употребляемого топлива, система отопления, род верхнего покрытия мостовых, интенсивность движения и т. д. Количество органич. и неорганич. частей и влаги в различных европ. странах и русских городах показывает диаграмма, представленная на фиг. 1. Изменчивость составных частей по месяцам для московского М. (средняя из всех произведенных анализов) представлена на фиг. 2, показывающей, что %-ное содержание влаги во все времена года очень большое и доходит до 52%; органич. часть колеблется в пределах 20÷30%, неорганическая—10÷25%.

Химический анализ М. преследует гл. обр. выяснение 1) теплотворной способности и 2) удобрительных свойств. Теплотворная способность определяется по эле-

ментарному анализу, когда известно содержание C, H, O, N и S, применением формулы Менделеева, с допущением разницы сравнительно с калориметрич. данными в ту или иную сторону до 4%. По многочисленным исследованиям, произведенным как в иностранных лабораториях, так и в лаборатории Московской мусоросжигательной станции, состав органич. частей М. колеблется в следующих пределах: 40—45% C, 40—50% (O+N+S) и 5—10% H, что приблизительно соответствует теплотворной способности 4 400 Cal. Состав



Фиг. 1.



Фиг. 2.

отдельных составных частей М., например высушенных кухонных отбросов, по анализам В. Гампе, приблизительно таков: от 70 до 75% целлюлозы и от 25 до 30% золы. Об удобрительных свойствах см. ниже.

Количество и состав М. Количество М. (домового и уличного), как и состав его, колеблется в больших пределах. Если домовый мусор и смет собирают вместе, то все накопление принято относить на 1 жителя в год; если же их собирают отдельно, то домовый М. учитывается на 1 жит., а смет—на 1 м² замощения в год. В Риме на 1 жит. приходится в год около 50 кг отбросов, в Нью Йорке и Манчестере—ок. 500 кг, т. е. в 10 раз больше. Количество смета в отбросах не во все времена года одинаково; оно колеблется в пределах от 0 до 33% и в большой степени зависит от состояния мостовых и дворов. В з.-европ. и русских городах ежегодное накопление М. на 1 ж. колеблется в пределах от 150 до 240 кг. Для перевода на объемное количество следует принять средний уд. вес (за год): для русских городов около 0,40—0,50, для германских—летом 0,40—0,50, зимой же (в тех городах, в которых преобладает как топливо бурый уголь) до 0,70, в англ. и америк. городах 0,40—0,50. В среднем удельный вес принимают для летнего времени 0,40, для зимнего—0,50. На фиг. 3 показано накопление М. в кг на 1 жителя в день в различных городах Зап. Европы и США; из русских городов приведена Москва; приблизительно такое же количество М. накопляется и в других крупных городах Союза, как Ленинград, Харьков, Одесса, Ростов. Количество отбросов зависит от следующих факторов.

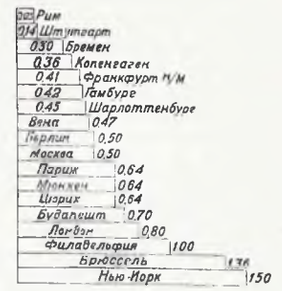
А. Для домовых отбросов. 1) Постоянные факторы: а) характер и количество жителей; б) наличие канализации; в) род топлива; г) наличие домашних животных; д) сортировка на дому; е) образ жизни и благосостояние. 2) Временные факторы: а) климат, б) уборка предпраздничная, после ремонта, после выезда на дачу; в) порча канализации, приемников; г) время года; д) дни недели; е) род пищи.

Б. Для уличного и дворового смета. 1) Постоянные факторы: а) очищаемая площадь; б) род тяги; в) род замощения; г) зеленые насаждения; д) интенсивность движения. 2) Временные факторы: а) состояние замощения; б) время года; в) погода.

В. Для отбросов рыночных, торгово-промышленных и других 1) Постоянные факторы: а) размеры производств; б) род заведений; в) количество приходящих; г) оборот предприятий; д) система отопления; е) наличие канализации. 2) Временные факторы: а) численность занятого персонала; б) время года; в) дни недели.

Те же факторы, за исключением некоторых, влияют и на состав отбросов. Кроме того общими факторами, влияющими на состав М., являются: а) система сбора и хранения и б) продолжительность лежания М. в приемниках.

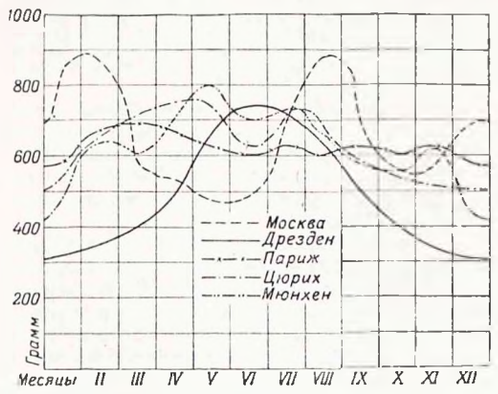
В случае смешанного сбора домового М. со сметом методика изучения состава мусора и его количества упрощается. При заранее выбранной системе сбора, хранения и вывоза принимаются во внимание только самые важные факторы; например по отношению к домовому М.: система отопления (центральное или голландское), род топлива, система канализации (вывозная или сплавная), густота населения во владении, владения с торгово-промышл. заведениями и без них. Обследование продолжается круглый год, причем отмечаются все временные факторы (погода и др.), влияющие на состав мусора. При раздельном хранении смета отмечают все указанные выше факторы; интенсивность измеряется количеством единиц транспорта, которые прошли в течение дня через 1 п. м ширины проезда. Влияние всех указанных факторов на количество отбросов выражается в следующем.



Фиг. 3.

I. Домашнего мусора, подлежащего вывозу, меньше, если имеется канализация, если для отопления и варки пищи служит газообразное или жидкое топливо, если горючие части М. в момент их накопления сжигаются в кухонных очагах, если нет домашних животных, если жители большую часть дня проводят вне дома и не готовят дома пищи, если их средства для жизни ограничены. Летом М. меньше, чем зимой, вследствие бездействия отопления, а следовательно отсутствия золы и шлака. В южных городах зимой М. меньше, летом больше вследствие обилия овощей, зелени и фруктов. Выезд на дачу уменьшает количество мусора, уборка и ремонт увеличивают. II. Смет зимою в городах, когда мостовые бывают покрыты снегом, почти отсутствует; весной, после таяния снега, и осенью он больше, чем летом. Булыжные и шоссированные мостовые дают больше смета, чем асфальтовые или брусчатые; при конной тяге смета получается больше от навоза. Интенсивность движения увеличивает количество

смета, а дождливая погода смывает смет и уносит его к водостокам. Трудно учесть все факторы, влияющие на количество М., но сказанного достаточно, чтобы иметь представление о том, в каких широких пределах могут изменяться его накопления. На фиг. 4 показано, как меняется количество М. по временам года: Москва имеет в течение года два максимума и два минимума, Дрезден—



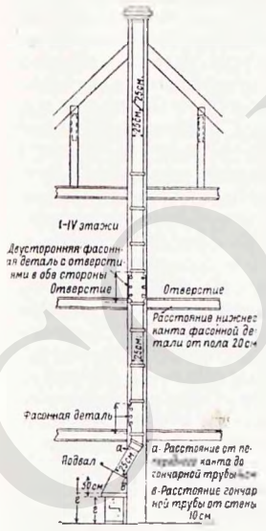
Фиг. 4.

один максимум и один минимум; в остальных городах (Париж, Мюнхен, Цюрих) накопление М. в году почти не меняется. Содержание влаги в канализованных владениях д. б. меньше, чем в неканализованных. В местностях с обильными атмосферными осадками М. получается очень влажный, если мусороприемники не предохранены от влияния осадков. При порче канализационных приемников М. бывает очень влажный, точно также и в том случае, если в пищу употребляется много растительных веществ.

Количество смета, приходящееся в год на 1 жит., зависит от интенсивности движения, рода тяги, верхнего покрытия мостовых, погоды. В з.-европ. и америк. городах на 1 жит. в год приходится от 0,05 до 0,47 $м^3$ мусора; в герм. городах—максимум 0,18 $м^3$ (Бреславль и Берлин) и минимум 0,05 $м^3$ (Франкфурт-на-Майне); в Гааге — 0,30 $м^3$, Амстердаме—0,33 $м^3$, Копенгагене—0,06 $м^3$, Лондоне—0,15 $м^3$, Брюсселе—0,33 $м^3$, Париже—0,40 $м^3$, Филадельфии—0,42 $м^3$, Риме—0,43 $м^3$, Вене—0,47 $м^3$. По Спинола (Spinola), среднее количество М.—0,15 $м^3$. По Штеглицу (Steglitz), на 1 $м^2$ мостовых приходится: в Лейпциге 17 $л$. Дрездене 10 $л$, Берлине 30 $л$, Гамбурге 18 $л$ и Москве 15 $л$.

Система сбора, хранения и вывоза М. Наиболее совершенной системой с б о р а М., в смысле возможности без особых хлопот использовать по прямому назначению заключающиеся в М. ценности и обезвреживать негодные части, является американск. система сбора в квартирах домового М. в три отдельные посуды. При этой системе значительно упрощаются дальнейшие операции, как вывоз, утилизация и обезвреживание. Емкость квартирных ящиков соразмеряется с предварительно изученным процентным содержанием того либо другого вида отбросов. Такие же посуды, но больших размеров, устанавливают во дворах для всех квартир. Объем этих посуд обычно рассчитывают по численности населения дома и по частоте вывоза (продолжительности хранения). Кухонные отбросы используют как корм для домашних животных или же отправляют на утилизационные з-ды для экстрагирования жиров и для превращения остатков в удобрительный порошок. Золу и смет используют на удобрение. Отбросы предметов широкого потребления, после выборки из них ценных предметов, сжигают, что можно производить даже в кухонных очагах. Оставшиеся неорганические части, не представляющие опасности в смысле загнивания при долгом хранении, вывозят на свалку. Американская система не привилась в зап.-европ. городах; попытка проведения ее в Шарлоттенбурге не увенчалась успехом. Другой наиболее распространенной системой, преобладающей в англ. и франц. городах, является сбор как в квартирах, так и во дворах в одну общую посуду всех трех сортов мусора. Мусороприемники, вмещающие все три сорта, получают размеры в зависимости от частоты вывоза и количества жителей, но емкость их не м. б. выше определенной величины, так как они д. б. удобопереносимыми и не тяжелыми, допуская обслуживание их не более чем двумя рабочими. Поэтому, если население дома очень велико, приходится ставить большое количество мусороприемников. В больших домах, для сокращения числа мусорных ящиков, приходится вывозить М. каждый день, в малых же домах вывоз производится реже. Чтобы не допускать загнивания М. в ящиках, летом в жаркую погоду вывозят М. не реже, чем через день. Емкость мусороприемников 50—200 $л$, лучше делать их не более 80—100 $л$. Третьей системой (немецкой) является сбор в две посуды, с выделением в отдельную посуду всего мелкого М.—золы, уличного и дворового смета. В остальном все сказанное о второй системе относится и к этой. За границей существует много конструкций мусороприемников, относящихся к последним двум системам. Такие мусороприемники изготовляются из оцинкованного железа, б. ч. круглого сечения, с крышкой, вращающейся на шарнире и допускающей беспыльную выгрузку М. в кузов транспортных средств, что делает эти мусороприемники вполне приемлемыми в санитарном отношении. Наиболее совершенными с этой точки зрения и наиболее распространенными в зап.-европ. городах являются мусороприемники системы Колонна, емкостью около 100 $л$. При раздельном хранении домового М. и смета м. б. устанавливаемы во дворах мусороприемники одной и той же конструкции, но тогда они должны иметь отличительные признаки, и для них д. б. отведено особое место, т. к. система вывоза тех и других отбросов редко бывает одинакова. Ящики делают б. ч. такой конструкции, чтобы были обеспечены удобство и скорость выгрузки М. Для хранения смета, собранного с проездов и площадей, устраивают специальные ящики, которые или устанавливают на площадях или делают подземными. Дворовые мусороприемники бывают также сменными; тогда их не приходится опоражнивать во время вывоза, и т. о. избе-

гается выделение пыли, неизбежное при пересыпке содержимого в ящиках для вывоза. Четвертой системой, еще слабо прививающейся как за границей, так и у нас, является мусорная канализация: в стене кухни, выходящей на лестничную клетку, устанавливается гончарная труба, через которую из отверстия, проделанного в стене кухни, сбрасывают весь М. (фиг. 5) в приемник, установленный в подвальном этаже под трубой. Преимущество такой системы состоит



Фиг. 5.

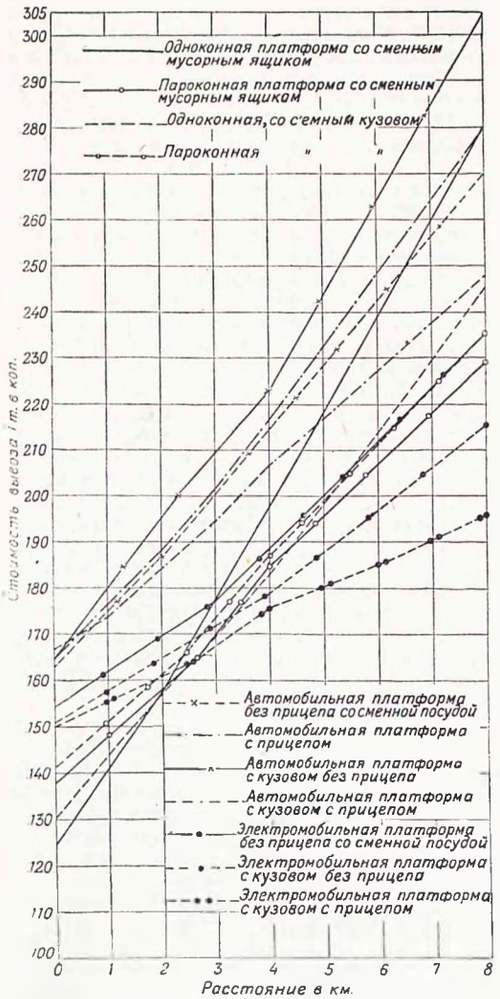
в освобождении жителей от ежедневного хождения с мусорным ведром вверх и вниз по лестнице, что имеет большое значение для населения многоэтажных домов; недостаток тот, что труба от времени до времени загрязняется, если не промывать ее постоянно сильной струей воды, и издает зловоние, проникающее в квартиры, несмотря на вентиляцию трубы; тщательная промывка таких труб невозможна. Существующий в настоящее время в нек-рых городах способ сбора М. в один большой деревянный ящик и хранения до вывоза в течение недель и даже месяцев, когда М. загнивает и служит хорошей средой для размножения мух, мышей и крыс, является недопустимым в санитарном отношении и должен быть заменен одной из описанных выше систем.

С и с т е м ы в ы в о з а, применяемые в настоящее время, так же разнообразны, как и системы сбора и хранения. Если посуда сменная, то она ставится непосредственно на платформу перевозочных средств, а на месте обезвреживания опоражнивается и промывается. Эта система в санитарном отношении самая безупречная, но требует большого количества посуды, и потому по единовременным затратам более дорогая. Но при вывозе М. в сменной посуде через перегрузочные станции, находящиеся на небольших расстояниях от места накопления М., количество посуд во втором комплекте м. б. доведено до минимума. Система трех посуд требует отдельной вывозки каждого сорта по назначению и специального транспорта для кажд. сорта. Система вывоза при несменной посуде требует специальной конструкции кузовов повозок, чтобы можно было беспыльно пересыпать в них М. и беспыльно выгружать его на местах обезвреживания, без соприкосновения рабочих с М. Последняя система, известная под названием «Окснер», в санитарном отношении занимает второе место (после сменной посуды). Беспыльное пересыпание М. в кузов перевозочных средств возможно при снабжении мусороприемников и кузовов крышками и отверстиями, открывающимися автоматически при опоражнивании и плотно закрывающимися после опорожнения, не допуская при этом никакого выделения пыли. Кузова эти на местах обезвреживания снимают с платформы перевозочных средств и при помощи откидного днища беспыльно опоражнивают в загрузочные воронки печей. В Москве введена система «Окснер» с несменной посудой, с той только разницей, что кузова повозок не имеют специальных приспособлений для беспыльной погрузки в них М. Другая, наиболее распространенная в З. Европе система повозок для вывоза домовых отбросов—т. н. парижек, система с несъемным кузовом, установленным на шасси автомобиля; кузов снабжен сверху выдвижными крышками и опоражнивается на местах обезвреживания — мусоросжигательных станциях — наклонением его при помощи механических приспособлений в сторону бункеров. Преимущество этой системы по сравнению с системой «Окснер»—большая скорость выгрузки; недостаток—выделение пыли как при нагрузке, так и при выгрузке.

У б о р к а с м е т а с улиц, площадей, рынков, скверов и других мест общего пользования производится б. ч. вручную; орудиями производства служат метла, совок, лопата, лейка. За границей преобладает машинный способ подметания и поливки, в особенности усовершенствованных мостовых. Появившиеся в последнее время универсальные машины поливают, подметают смет и складывают его автоматически в кузов машины. Для вывоза смета, собранного в подземных ящиках, приспосабливаются электрические тележки, снабженные подъемными приспособлениями.

Д л я в ы в о з а г о р о д с к и х о т б р о с о в применяют конную, автомобильную или электромобильную тягу. Самой распространенной в русских городах является конная тяга. За границей большинство транспортных средств — с автомобильной тягой. В последнее время получила большое распространение электромобильная тяга, гл. обр. на работе по усовершенствованным мостовым. Применение того или иного рода тяги зависит от состояния подъездных путей к местам утилизации и обезвреживания и от расстояния отвозки. На близком расстоянии применяется преимущественно конная тяга или небольшие электрич. тележки, если нагрузка и выгрузка их не сопряжена с большой затратой времени (сменная посуда). На далекое расстояние (более 3 $км$) выгоднее применять автомобильную тягу—для поездов с прицепами с полезной нагрузкой до 10 $т$. На больших расстояниях, при хорошем состоянии мостовых, применяются электромобили, везущие поезда с полезной грузоподъемностью до 10 $т$. Применение ферроникелевых аккумуляторных батарей, выдерживающих тряску, дает возможность применять их и на неусовершенствованных мостовых. Главный недостаток электромобильной тяги—ограниченность зарядки, хватающей на сравнительно небольшой пробег. На фиг. 6 приведены сравнительные данные стоимости работы при различной тяге и различных системах сбора и вывоза М. и при различных расстояниях. Крупные горо-

да, в к-рых приходится устраивать несколько мест обезвреживания, делятся на несколько районов; последние делятся на пояса, к-рые в зависимости от расстояния обслуживаются тягой различных родов. Если местом

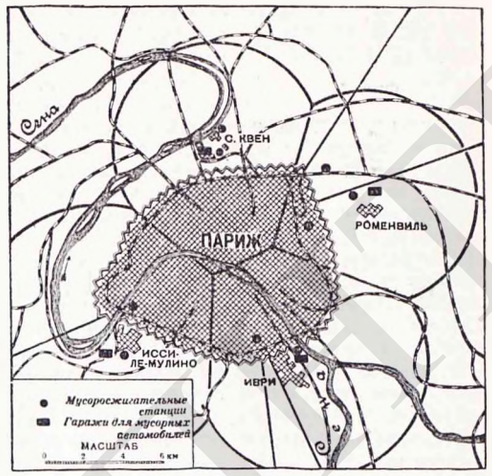


Фиг. 6.

обезвреживания служит мусоросжигательная станция, устраиваемая обычно в черте города, то выгоднее располагать ее в центре обслуживаемого района (фиг. 7, схема Парижа). Так как расходы на транспорт М. ложатся большим бременем на бюджет, то удачный выбор системы вывоза, рода тяги, мест обезвреживания и утилизации имеет громадное значение. Проектировщик в каждом отдельном случае располагает большим количеством всевозможных вариантов и комбинаций, чтобы подойти к более экономному разрешению этой столь сложной и важной транспортной проблемы. Там, где интенсивность движения велика, вывоз и очистка производятся в ночное время или в ранние утренние часы.

Утилизация М. В сельских местностях и городах малой и средней величины, в особенности там, где развито с. х-во, домовый М. и смет находят применение как удобрение, без всякой переработки, и вывозятся крестьянами на огороды. В те времена года, когда нет спроса на удобрение, М. вывозится за город, сваливается на участках земли небольшими слоями и, подвергаясь естественной минерализации, является хорошим удобрением. Чем город больше, чем больше преобладает промышленность и торговля, чем расстояние отвозки за городскую черту больше, тем удаление и обезвреживание усложняются и тем бо́льших забот и средств они требуют, заставляя изыскивать способы для сокращения расходов по устранению отбросов.

По исследованиям, произведенным в различных странах, главн. обр. в Германии и во Франции, Вильзингом (Wilsing), Жираром (Girard), Вейлем (Th. Weyl) и др., М. представляет собою для некоторых почв, напр. торфяных и песчаных, хорошее удобрение в виду содержания в нем питательных неорганич. солей и органич. веществ. Средний химич. состав его таков: в свежих домовых отбросах содержится 0,57% азота, 0,2% фосфорной к-ты, 0,17% калия и 0,02% извести; в слежавшемся виде М. содержит 0,57—0,67% азота, 0,24—0,30% фосфорной к-ты, 0,12—0,20% калия и 0,03—0,04% извести. В Дрездене, Берне, Шарлоттенбурге, Париже и Брюсселе были произведены сравнительные исследования химич. состава навоза, свежего и



Фиг. 7.

слежавшегося М., уличного смета; результаты этих исследований приведены в табл. 1.

Табл. 1.—Химический состав М. (домового и уличного) в %.

Род мусора	Фосфорная к-та	Калий	Азот	Известь
Навоз	0,25	0,49	0,48	—
Свежий М. (по Вильзингу . .	0,42	0,41	0,38	—
Свежий М. (по Вейлю	0,37	0,064	0,34	—
Слежавшийся М.	0,87	0,34	0,42	—
Уличный смет . .	0,21	0,21—0,22	0,18—0,44	—
Мелкий » . .	1,26	0,72	0,285	4,68

По этим исследованиям содержание азота в М. тем больше, чем крупнее составные части.

Так, в отсеве через мелкое сито азота содержится 0,6—0,8%, через крупное сито—0,79—0,97%, в крупных отбросах—до 1,4%. Использование М. на удобрение в неперерабо́танном виде имеет место тогда, когда вывоз на поля не требует больших затрат и окрестные крестьяне в удобрении крайне нуждаются. Наиболее распространенный в последнее время способ переработки мусора на удобрение—отсев его через механич. барабаны-сита на сортировочных станциях; такой отсев, освобожденный от различных предметов (как куски железа, проволоки, черепки посуды, битое стекло), представляет более удобный материал для удобрения.

Сортировка М. С целью утилизации ценных предметов в М. производят сортировку его. Сортировка бывает ручная и механическая. Самый простой способ—накопление мусора отдельно по сортам (америк. система). При этом все сухие отбросы собирают в отдельную посуду: тогда легче выбрать ценные предметы, т. к. они не загрязнены кухонными отбросами и золой. Такой способ в санитарном отношении не представляет никаких неудобств. Как было выше сказано, эта система в Европе не привилась. При этом способе кухонные отбросы используют в день накопления и перерабатывают на корм домашним животным, гл. обр. свиньям. Процентное содержание кухонных отбросов в М. америк. городов в среднем 17,5%, в московском М. 15—20%. Влажность доходит до 75%, в среднем 67%. В тех же приблизительно цифрах выражается содержание кухонных отбросов в немецком М. В США сильно развито использование кухонных отбросов свиными фермами. По статистич. данным для 200 америк. городов, 37% из них кормят свиней кухонными отбросами, 40%—вывозят эти отбросы на свалку, 9%—сжигают их на свалках, 12%—на мусоросжигательных станциях и только 2% перерабатывают их на заводах для извлечения жиров; в 139 городах (70%) кухонные отбросы собираются отдельно от смета, золы и других крупных отбросов. В Лос-Анжелосе имеется ферма на 40 000 свиней, отстоящая от города на расстоянии 80 *км*, куда ежедневно доставляется в барках по воде до 370 *т* кухонных отбросов. В среднем на голову расходуется 7,5 *кг*. Вес свиньи прибавляется в день на $^1/_4$—$^1/_2$ *кг*. По данным Шютце (Schütze), ежегодных кухонных отбросов Берлина могло бы хватить на откорм 100 000 свиней—количество, соответствующее 16 млн. *кг* свиного мяса, что представляет ценность в 8 млн. мар. По наблюдениям, произведенным в Англии, 1 *т* кухонных отбросов хватает на откорм 75 свиней (13 *кг* на 1 свинью в день). Вес свиньи прибавляется в год на 160 *кг*. или в день на 450 *г*. В Гамбурге в начале войны 1914—18 гг. возникло общество для изготовления муки из кухонных отбросов, предназначенной для корма свиней и коров. Добыча жиров из кухонных отбросов практикуется до сих пор во многих америк. городах (Нью Йорк, Филадельфия, Балтимора, Бостон, Буффало, Колумбус, Чикаго, Кливленд, Детройт и другие). Существуют специальные з-ды, в которых кухонные отбросы обрабатываются паром в больших котлах. Этот способ безопасен в пожарном отношении, но сопровождается очень тяжелым запахом. На заводе, построенном в последнее время в Коломбо, этот запах устраняется герметич. затворами дверец котлов и направлением испарений в топку. М. поступает по конвейеру после сортировки в котлы, варится в течение 6 час., после чего поступает в прессы. Экстрагируется около 3% жиров, идущих на изготовление мыла, колесной мази, стеарина; остаток размельчается, сушится и превращается в удобрительный порошок.

Если весь М. собран в одну посуду и вывоз производится на свалку или на мусоросжигательную станцию, то б. ч. предварительно делается отборка ценных предметов тряпичниками—или во дворах (Москва), или на тротуарах (Париж) в момент выставления ящиков с мусором для вывоза, или на возах с мусором (Берлин) самими возчиками. В Париже насчитывается свыше 10 000 человек, занятых этим промыслом. В Вене право выборки ценных предметов на свалке откупается за ежегодную плату в 80 000 австр. шилл. (28 000 р.). Хотя при выборке на тротуарах или во дворах из ящиков, в к-рых М. лежит не более 2—3 дней, приходится иметь дело с незагнившим мусором, но все же при вываливании содержимого ящиков выделяется пыль, состоящая из комнатного, дворового и уличного смета, загрязненного иногда плевками больных, что является крайне негигиеничным. В последнее время во всех тех городах З. Европы, в к-рых вводятся наиболее совершенные способы переработки твердых отбросов, практикуется механическая сортировка. В табл. 2 приведено содержание ценных предметов в домовом М. различных русских, зап.-европ. и америк. городов, по лабораторным исследованиям.

Если при механич. сортировке будет выбрано 80% содержащихся в М. ценных предметов, то при 200 *кг* накопления М. в год на 1 жит. и при 25%-ном содержании ценных предметов в русском М. (по анализам 1924—26 гг.) будет выбрано 40 *кг* ценных предметов в год на 1 жит. На сортировочных станциях М. пропускается через барабаны-сита, освобождается от мелочи, используемой на удобрение, пропускается через магнитные аппараты и освобождается от металлич. частей, а потом попадает на ленту конвейера, по обе стороны к-рой становятся рабочие и отбирают ценные предметы (каждый рабочий какой-либо один предмет). Наиболее ценные предметы—это тряпки всех сортов (хлопчатобумажные, холщевые, шелковые, шерстяные, льняные); их дезинфицируют, распределяют по сортам, стирают в стиральных машинах, центрифугируют, сушат, пакуют в тюки и отправляют на ф-ки для переработки. Металлич. лом и бумага поступают прямо в упаковочные машины. Из костей экстрагируют жир; кости перерабатывают в костяную муку и клей. Остатки после выборки ценных предметов сжигают в печах. Мюнхенская станция в Пухгейме перерабатывает в день до 500 $м^3$ при 50 рабочих. Отсеянным мелким М. превращено в плодородные поля ок. 100 *га* негодной земли. Аналогичные сортировочные станции устроены во многих англ. городах; на континенте они построены

Табл. 2.—Содержание ценных предметов в домовом М. (в %).

Место сбора М.	Бумага	Ветошь	Кости	Железо	Стекло	Резина, кожа, обувь	Итого
Среднее 10 герм. городов	1,66	1,06	1,50	1,24	2,07	—	7,53
Шарлоттенбург	15,24	1,55	0,35	4,06	2,16	0,29	23,65
Лондон	4,28	0,39	0,48	1,00	1,43	—	7,58
Нью Йорк	9,60	2,50	0,50	0,25	0,75	—	7,60
Амстердам	20,00	5,63	0,63	6,76	3,80	0,96	37,78
Цюрих	0,12	0,69	0,71	0,55	1,69	—	3,76
И. Орлеан	27,10	1,55	—	0,12	1,25	0,57	30,55
Одесса, 1926 г. (84 пробы)	4,50	2,39	2,09	0,90	1,12	—	11,00
Харьков, 1926 г.	4,00	3,25	3,50	—	2,00	—	12,75
Москва:							
1924—26 г. (200 проб)	12,00	3,70	5,89	1,85	2,65	—	26,09
1928 г. (24 пробы)	17,83	2,93	2,91	2,08	6,20	0,08	31,95
1929 г. (7 проб)	13,37	2,34	2,20	1,31	1,45	—	20,67

по последнему слову техники в Париже, Кельне, Цюрихе, Шеневерге (Берлин)—все при мусоросжигательных станциях.

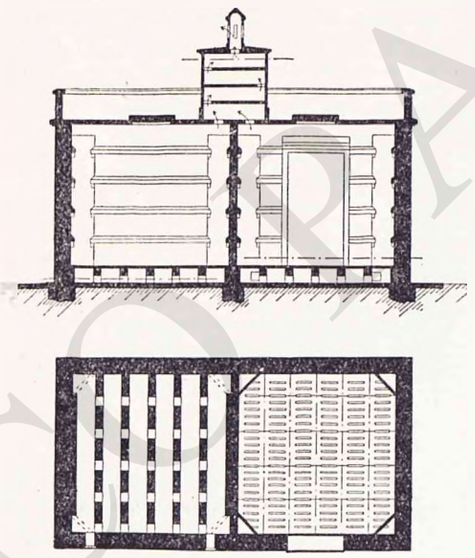
Были попытки использовать М. для добывания из него газов, но они успеха не имели и потому оставлены. Изготовление из М. волокна по способу Герзона (Gerson) находится пока в периоде опытов; по этому способу из М. раньше отбирают ценные предметы в механич. сортировочной, с предварительным отсевом мелочи и отделением металлич. частей, затем легкие части (бумага и пр.) отсасываются, а из оставшихся изготовляется т. наз. мусорное волокно, идущее на подстилку домашним животным, изготовление картона и папки или употребляемое как топливо.

Способы обезвреживания домового М. Одним из способов обезвреживания домового М. является сбрасывание его в море. Главный недостаток этого способа, применяемого в приморских городах, состоит в загрязнении берегов в черте города, куда при попутном ветре мусор снова прибивается волнами, несмотря на то, что его отвозят на барках на довольно далекое расстояние. Этот способ в Германии не применяют, а в америк. городах он вытесняется более совершенными методами. Другой мерой для удаления М. является вывоз за черту города на негодные под обработку участки земли—глиняные и каменоломные карьеры и насыпка здесь М. толстым слоем. Мусор на таких примитивных свалках, загруженных толстыми слоями гниющих отбросов, не может подвергнуться полной минерализации, загрязняет почву, воздух и грунтовые воды, обесценивает участки земли и делает их негодными под застройку. Поэтому подобные свалки д. б. удалены от границ города на далекое расстояние, чтобы пыль и мухи не достигали жилья. Свалки такого рода давно признаны крайне антисанитарными. В небольших городах, располагающих сравнительно достаточной площадью за чертой жилых кварталов, свалки могут быть терпимы вследствие происходящего сильного растворения в воздухе продуктов разложения и естествен. минерализации М., насыпанного сравнительно тонким слоем. В больших городах такие свалки совершенно недопустимы. По исследованиям, произведенным Фишером над свалками гор. Киля, было найдено, что участки под свалками не м. б. отведены под застройку раньше 30 лет, считая с момента прекращения вывоза туда М.

Удорожание вывоза, загрязнение почвы, грунтовых вод и воздуха, обесценивание участков, занос запаха, пыли и мух в город господствующими ветрами заставляют искать более совершенных способов обезвреживания мусора, приемлемых в санитарном отношении и не обременяющих бюджета города непосильными затратами. Таким условиям удовлетворяет почвенный метод обезвреживания—усовершенствованные свалки, на которых М. насыпают тонкими слоями с пересыпкой песком, землей или сметом; при этом происходит скорая и полная минерализация; следующие засыпки делаются через определенные промежутки времени в зависимости от природы почвы и состава М. Рядом опытов и исследований, проделанных в этом направлении в З. Европе, установлено, что участки земли, засыпанные слоем М. в 1,5—2,0 *м*, при условии неплотной засыпки, довольно скоро минерализуются и превращаются в цветущие парки и плодородные поля (гора Шельберберг в Лейпциге, засыпавшаяся М. в течение 40 с лишним лет). Для применения этого метода необходимы следующие условия: близость к черте города (в целях снижения расходов на транспорт); удобные и замощенные подъездные пути; рельсовые пути или какие-нибудь иные приспособления для быстрой и экономной развозки мусора по участку; защищенность от ветров; наличие достаточной площади на засыпку в течение определенного ряда лет, с таким расчетом, чтобы при расширении городской черты участок не подлежал отводу под застройки; отдаленность от рек, прудов и других водоемов, во избежание загрязнения их; сухость и надлежащее дренирование местности до начала засыпки; засыпка слоем М. не более 2 *м*. Особенно хорошие результаты по этому способу получаются при засыпке мусора слоем в 0,5 *м* с пересыпкой землей или песком слоем в 10 *см* и при ежедневном покрытии слоем песка или земли для предотвращения разведения крыс и разноса М. ветром. Во Франции такие свалки допускаются на расстоянии 200 *м* от жилья и на расстоянии 50 *м* от проезжей дороги.

В последнее время во многих городах Италии, США, Франции и Швейцарии стали применять метод обезвреживания М. в специальных камерах сист. Беккари,—т. наз. термических бродильнях. Камеры эти (из бетона или кирпича) разделены внутри перегородкой на две половины и имеют

размеры в плане 3,00×2,80 *м* и в высоту 2,5 *м* (фиг. 8). М., введенный в эти камеры, при доступе наружного воздуха, начинает бродить с повышением $t°$ до 70° и через 40—50 дней превращается в однородное вещество, лишенное запаха и представляющее хорошее удобрение. Все болезнетворные бакте-



Фиг. 8.

рии погибают через 20—26 дней. М. загружается в камеры после предварительной отборки ценных предметов. Таких камер построено во Флоренции 204, вместимостью по 20 $м^3$. Из 1 *т* М. получается 920 *кг* удобрения. Химический состав вещества, получаемого из М. в камерах Беккари, дан в табл. 3.

Табл. 3.—Химический состав вещества, получаемого из М. в камерах Беккари (в %).

Состав	Флоренция	Париж	Марсель
Азот	0,7—1,55	0,830	0,950
Фосфор	0,614	0,630	0,640
Поташ	0,683	0,720	0,720
Вода	22,8—28,0	—	20,6

Такие камеры, построенные в теплых странах под открытым небом, действуют круглый год; в странах же с холодной зимой они могут действовать в течение теплых месяцев. В последнее время появились камеры с двойными стенками для местностей с низкой температурой, доходящей до −20°. Неудобство этих камер заключается в том, что бетонные и кирпичные стенки, будучи подвержены разрушающему действию тепла, влаги, аммиачных газов и сероводорода, быстро разрушаются. Полуторамесячное нахождение мусора в камерах требует сооружения большого числа их и следовательно больших первоначальных затрат.

Самым совершенным способом обезвреживания мусора является сжигание его в усовершенствованных печах; при этом все заразные начала уничтожаются огнем и происходит полное сжигание без выделения продуктов неполного горения; тепло, развиваемое в печах, идет на парообразование в котлах, вмазанных в печи, пар используется для различных целей, а несгоревший остаток (шлак) или используется как строительный материал или служит материалом для изготовления строительных кирпичей; пепел и зола также утилизируются (см. *Мусоросжигание*).

Каждый из приведенных различных способов утилизации и обезвреживания отбросов имеет свои преимущества и недостатки и м. б. применен в любом городе в зависимости от наличия тех или иных местных условий и финансовых ресурсов. В каждом отдельном случае должен быть проделан подсчет нескольких вариантов по приемлемым для данной местности методам и путем сопоставления санитарных и технико-экономических преимуществ каждого варианта избран более выгодный из них и более приемлемый в санитарном отношении. Самый дорогой из этих способов — мусоросжигание — приемлем для крупных городов с очень большими территориями и с большими расстояниями отвозки; в этом случае в соединении с утилизацией заключающихся в М. ценных предметов, путем отборки их в механич. сортировочных, мусоросжигание может оказаться самоокупающимся. Способ Беккари применим для средних и малых городов на юге, с теплым в течение круглого года климатом, если этот способ окажется более выгодным по сравнению с почвенным методом и если не окажется в достаточном количестве свободных участков земли для почвенного метода. Примитивные свалки и сбрасывание в море, как антисанитарные способы, д. б. совершенно исключены. Из способов утилизации мусора наиболее подходящей и удобной является сортировка во время сбора, если она возможна по бытовым условиям; в санитарном отношении она не встречает возражений в том случае, если отсортированные отбросы будут ежедневно вывозиться для их утилизации. Из остальных способов наиболее подходящей для крупных городов является сортировка в механических сортировочных, если по процентному содержанию ценных предметов в мусоре она окажется выгодной, или механическая сортировка вместе с сжиганием, или же одно сжигание без предварительной сортировки, если содержание ценных предметов в М. незначительно. При большом содержании в М. балласта (песка или золы), если М. поступает на мусоросжигательную станцию, следует произвести предварительный отсев этого балласта, дабы тем самым улучшить теплотворную способность мусора; балласт м. б. применен как материал для строительных кирпичей, если в нем преобладает зола, или как материал для удобрения, если преобладает смет.

В санитарном отношении на первом месте из описанных ранее методов сбора, хранения, утилизации и обезвреживания М. стоит следующая комбинированная система: раздельный сбор мусора в три посуды; ежедневный вывоз их на фермы для корма свиней, на заводы для экстрагирования жиров, на сортировочные станции; сжигание остатков в мусоросжигательных печах, употребление

золы и смета на удобрение. При невозможности ввести по каким-либо бытовым условиям такую комбинированную систему, на втором месте д. б. поставлен, применительно к европейским городам, сбор в две посуды — сменную (для домового М.) и несменную (для смета), с раздельным вывозом того и другого М., причем кузова транспортных средств д. б. приспособлены для беспыльной погрузки в них мусора. Наиболее примитивным и антисанитарным способом уборки, сбора и удаления смета с дворов и с улиц является подметание улиц и дворов вручную и вывоз конной тягой по мере накопления за черту города на участки земли негодные под застройку. При этом способе приходится накоплять как смет, так и домовый М. до количества не менее чем на один воз (~1 $м^3$), что соответствует дневному накоплению отбросов в среднем 1 000 человек; поэтому там, где численность населения менее 1 000 человек, вывозка обычно производится не чаще одного раза в неделю, мусор загнивает, издает дурной запах, в нем обыкновенно разводятся мухи и крысы. Вывозка на свалки, удаленные в крупных городах на большие расстояния, обходится очень дорого. При применении почвенного метода, требующего сравнительно небольших затрат, с последующим превращением участков земли в плодородные поля, расходы по сбору и вывозу остаются почти те же, но примесь различных крупных предметов в мусоре, в роде напр. проволоки, осколков битой посуды и других, вызывает большие неудобства в обработке этих земельных участков. В городах средней величины и крупных дело очистки целесообразнее сосредоточить в отделах коммунальных хозяйств. Площади и места общего пользования приходится подметать и поливать с применением усовершенствованных поливочных и подметальных машин; машинное подметание применяется б. ч. на улицах с усовершенствованными мостовыми.

Лит.: Березовский И. П., Устранение домовых отбросов в городах З. Европы, М., 1903 (устарело); Шишкин З. Н., Удаление и обезвреживание твердых отбросов в нек-рых городах З. Европы, «Изв. Пост. бюро Всер. водопров. и санит.-технич. съездов», М., 1915, *12*, 1916, *1*, *2*; О плане реорганизации дела удаления и уничтожения твердых отбросов и уличных сметок от канализованных владений г. Москвы, доклад Московского гор. упр., 1914, *298*; Черкес Д. С., Удаление, утилизация и сжигание мусора, Конспект лекций, чит. в 1922/23 г., Харьков, 1923; Бурче Ф. Я., Обезвреживание и утилизация твердых отбросов, «Труды XII Всерос. водопровод. и санит.-технич. съезда в Москве в 1922», М., 1926, вып. 2, стр. 158; Левинсон Я. В., Санитарное значение отбросов и роль их в распространении эпидемич. болезней, «Труды I Всес. (XIII) водопров. и санит.-технич. съезда в г. Баку в 1925», М., 1927, вып. 2; Шишкин З. Н., Сбор и удаление твердых отбросов, там же; Никитин А. В., Очистка Москвы и ее перспективы, там же; Лифшиц Я. Д., Организация вывоза мусора в Баку автомобилями, там же; Никитин А. В., Организация и экономика очистки населенных мест, Методика исследования твердых отбросов (доклад Комиссии под председат. Бурче Ф. Я.); «Труды II Всес. (XIV) водопр. и санит.-технического съезда в г. Харькове в 1927 г.», М., 1930; Гинзбург М. Х., Налбандянц А. С., Михелес Д. И., Опыт собирания и удаления твердых отбросов в г. Баку и его районах, там же; Бурче Ф. Я., Об опытах, произведенных по очистке владений г. Москвы по новой системе, приспособленной к системе загрузки печей, там же; Углов В. А., Современные системы удаления мусора в Германии по данным Дюссельдорфской гигиенической выставки в 1926 г. и личным воспоминаниям, там же; Уборка и утилизация сухого мусора, Городское хозяйство Лондона, составлено по англ. материалам, М., 1925; Очистка городов и мусоросожигание, Большие города З. Европы, Москва, 1926; Френкель З. Г., Обезвреживание городского мусора мокрым сжиганием, «Вопр. ком. хоз.», Л., 1926, *9*; Драчев С. М. и Скопинцев Д. А., К изучению физ.-хим. свойств почвы свалочных мест, «Гиг. и эпид.», М., 1929; Горбов В. А., Обезвреживание твердых отбросов на земельных участках, там же, М., 1928, *11*; Бурче Ф. Я., Методика исследования мусора в отношении утилизации, ценных предметов, «Труды III Всес. (XV) водопроводного и сан.-технического съезда в Ростове в 1929» (печат.); его же, Сортировка мусора в целях выборки ценных предметов, «Коммун. хоз.», М., 1928, *17—18*; его же, Современное состояние дела очистки городов Зап. Европы по личным впечатлениям, там же, М., 1929, *1—4*, *7—8*, *11—12*; Niedner F., Die Strassenreinigung in d. deutschen Städten, Lpz., 1911; Dörr Cl., Hausmüll u. Strassenkehricht, Lpz., 1912; Sperhake B., Wirtschaftlichkeitsfragen bei d. Ansammlung u. Abfuhr d. Hausmülls, Lpz., 1913; Mayer J. E., Müllbeseitigung u. Müllverwertung, Lpz., 1915; Szalla J. und Silberschmidt W., Städtereinigung—Strassenhygiene u. Müll, Weyl's Handb. d. Hygiene, B. 2, Abt. 4. Lpz., 1918; Die Hausmüll-Beseitigung, hrsg. v. Schmidt u. Melmer, Weidenau-Sieg, 1919; Klinner und Welzel, Müllbeseitigung, Feudingen, 1927; Koller Th., Handbuch d. rationellen Verwertung, Wiedergewinnung u. Verarbeitung v. Abfallstoffen jeder Art, W.—Lpz., 1921; Strassenreinigung, Kehrichtabfuhr, Weidenau-Sieg, 1925; Handbuch d. r Hygiene, hrsg. v. M. Rubner, M. Gruber u. M. Ficker, B. 1, Abt. 1, Leipzig, 1927; Tiesing H., Aus d. Literatur über d. Müllbeseitigung in u. nach dem Kriege, «Ztrbl. f. d. gesamte Hygiene u. ihre Grenzengebiete», B., 1922, B. 2, H. 3 u. 4; Klemm W., Literaturangaben über d. Verwertung d. städtischen Abgänge, «Gesundheits-Ingenieur», Mch., 1924, H. 26; Naumann K., Schrifttum über Müllbeseitigung, Strassenreinigung und Tierkörperverwertung, «Die Städtereinigung», Feudingen, 1928, *5*; Où en est l'urbanisme en France et à l'étranger, Le problème des ordures ménagères, P., 1923; Girard L., Le nettoiement de Paris, P., 1923; Bonnet M. K., Question des ordures ménagères, Rapport de l'ing. municipal de Toulon, Toulon, 1924; Bréchot A., Collecte, transport, traitement des ordures ménagères, P., 1924; Van Lint, Le nettoiement de la voirie de l'après guerre, Extrait des Annales de l'Association des ingen. sortis des écoles spéciales de Gand, P., 1927; Bernard P., Les solutions modernes du problème des ordures ménagères, P., 1926; Jackson J., Development of Methods for the Collection a. Disposal of House Refuse, L., 1924; Jackson J., Suggestion for the Reduction of House Refuse at Its Sourse, City of Birmingham, 1924; Conference of Sanitary Engineering, London, 1924; Ravenel, A Half Century of Public Health, N. Y., 1921; Thomson G., Modern Public Cleansing Practice, Its Principles and Problems, L., 1929; Hering R. a. Greeley S., Collection a. Disposal of Municipal Refuse, N. Y., 1921; Jackson J., Public Cleansing, London, 1929; Koller J., The Utilization of Waste Products, L., 1918; Goodrich, Refuse Disposal a. Power Production, London, 1904; «Ann. Public Works», L., 1924, v. 55, *10*; «Die Städtereinigung», Feudingen, «Gesundheits-Ingenieur», Mch.; «La technique sanitaire et municipale», Paris; «Surveyor», L.; «American City», N. Y.; «Engineering News Record».

Ф. Бурче.

МУСОРОСЖИГАНИЕ, способ обезвреживания гниющих домовых отбросов, при к-ром все находящиеся в них заразные начала уничтожаются огнем. В усовершенствованных установках—печах сложной системы, кроме самого процесса сжигания, преследуется еще утилизация тепла, выделяющегося при сжигании, и утилизация шлаков, получающихся как отброс производства. М. преследует гл. обр. санитарные цели, но для того чтобы этот способ обезвреживания, требующий больших одновременных затрат на оборудование, не обременял бюджета большими расходами на эксплоатацию, стараются оборудовать печи так, чтобы представлялось возможным утилизировать тепло и шлаки.

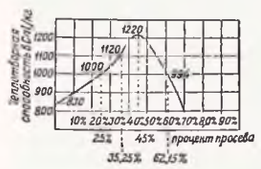
Проектированию мусоросжигательных печей предшествует изучение состава и количества мусора в течение года или нескольких

лет. Методы изучения изложены в методике, одобренной II Водопроводным и санитарно-технич. съездом (краткие сведения об этой методике см. *Мусор*). Самым важным в деле изучения мусора в целях его сжигания является выяснение теплотворной способности мусора, а также его влажности и зольности. Определенная калориметрич. путем теплотворная способность различных составных частей мусора показана в табл. 1.

Табл. 1.—Теплотворная способность различных составных частей мусора.

Составные части мусора	Высш. т плотв. способн.	Т ор тич. т плотв. способн.
Дерево	3 795	4 730
Солома		3 950
Уголь каменный		8 000
» древесный	5 831	6 900
Кокс		7 000
Текстиль { шерсть	4 157	5 800
Текстиль { клетчатка		4 500
Бумага	3 622	4 500
Кухонные отбросы	3 379	—
Кости	2 548	—
Отсев 15-мм	3 305	—
» 3-мм	2 427	—

Теплотворная способность мусора, так же как количество и состав его, подвергается большим колебаниям в зависимости от времени года, климатич. условий, рода топлива, употребляемого для варки пищи и для отопления, содержания в мусоре влаги и золы и от многих других причин. Мусор, как топливо, материал крайне неоднородный; теплотворная способность его может меняться несколько раз в течение дня в зависимости от того, из каких кварталов он собирается. Теплотворная способность обычно бывает больше зимой, когда в М. попадают частицы топлива с золой и шлаком. Так же резко меняется теплотворная способность по странам: англ. мусор обладает самой высокой калорийностью, т. к. в состав его входит до 70% золы и шлака, содержащих очень много угольной мелочи; мусор герм. городов, богатый золой бурого угля, хотя и с небольшим содержанием влаги, имеет очень невысокую калорийность. Мусор русских, а также и французских городов, очень влажен и обладает малой теплотворностью. Чтобы довести мусор до надлежащей калорийности, немцы вынуждены просевать золу и освобождать мусор от этого балласта, но только до известного предела. На диаграмме фиг. 1 нанесены результаты опытов, проделанных проф. Бодлером при просеве мусора с оставлением в отсеве определенных % мелочи. Как видно, отсев увеличивает теплотворную способность только до известного предела, после к-рого она падает. Русский и франц. мусор освобождаются от влаги предварительной подсушкой. Если калорийность мусора очень низка, то для сжигания приходится добавлять топливо, что требует устройства специальной форсунки как для жидкого, так и для



Фиг. 1.

пылевидного твердого топлива. Низшая теплотворная способность мусора, как рабочего топлива, в англ. городах доходит до 1/5 калорийности лучших каменных углей; средняя калорийность московского мусора равняется 900 Cal/*кг*, но доходит и до 1 200 Cal/*кг*. Для парижского мусора калорийность держится также в этих пределах, но зимой доходит до 1 500 Cal/*кг*. Берлинский мусор, непросеянный, настолько беден горючим, что не м. б. сожжен без добавочного топлива, и только после введения предварительного просева испарительность доводится до единицы. Испарительность мусора доходит в англ. городах до 2,75, минимум до 1,25. Средняя величина ее по 28 городам — 1,70; в з.-европ. городах — в Германии, Швеции, Голландии—испарительность в среднем принимается за единицу, отдельно она выражается так:

Базель	0,82	Ахен	1,00
Амстердам	0,93	Франкфурт н/М.	1,00
Бармен	1,00	Фюрт	1,00
Киль	1,03	Копенгаген	0,92
Майнц	1,12	Ганновер	0,91
Бреслау	1,42	Турин	0,90
Вервье	1,44	Христиания	0,89
Стокгольм	1,40	Брюнн	1,05
Кенигсберг	1,07	Фиуме	0,90

В парижских установках, до введения предварительной подсушки, величина испарительности получал сь ок. 0,6—0,7, зимой—максимум 0,991—1,390; после введения предварительной подсушки мусора (табл. 2),

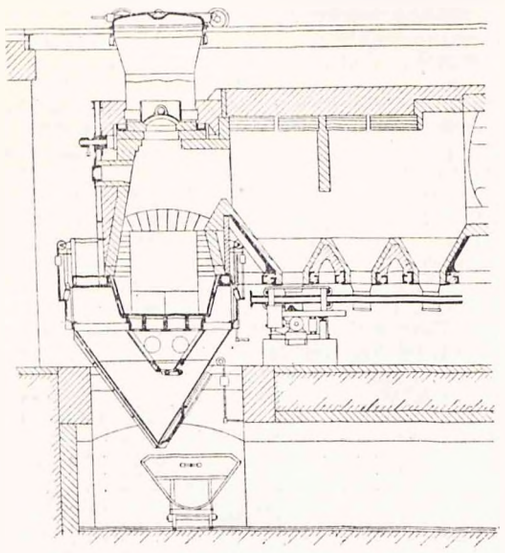
Табл. 2.—Результаты сжигания мусора до и после просушки.

Состояние мусора	№ опытов	Влажн. в %	Калор. сух. вещ. в Cal/*кг*	Выпарено на 1 *т* сожженного мусора в *кг*
Непросушенный мусор	1	52	3 691	621
	2	48	3 720	714
	3	61	3 596	761
Просушенный мусор	1	30	3 691	967
	2	26	3 720	937
	3	28	3 596	959

содержащего 52% влаги, при калорийности сухого вещества около 3 700 Cal/*кг* испарительность поднялась с 0,613 до 0,967. Испарительность московского мусора по практике трехлетней работы печей в среднем ~0,40.

Процесс мусоросжигания в больших станционных установках заключается в следующем. Мусор, предварительно отсеянный и отсортированный, с выборкой ценных предметов или без отсева и сортировки, загружается в печи через специальные загрузочные воронки; в больших и сложных установках загрузка производится автоматически, при помощи электрич. или механич. приспособлений. Мусор из загрузочной воронки попадает прежде всего на сушильный аппарат (в последних парижских устройствах сушильный аппарат располагается перед загрузочной воронкой печи) и затем сгорает в печах на колосниковых решетках с подведенным под них горячим дутьем; после окончательного сжигания до образования шлака последний автоматически удаляется из печи, после чего печь загружается новой порцией

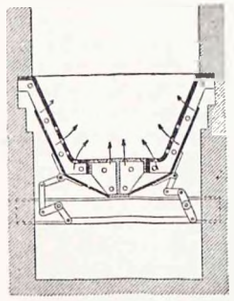
мусора; в некоторых конструкциях процесс нагрузки ведется непрерывно, а шуровка и шлаковка производятся автоматически. Га-



Фиг. 2.

зы, выделяющиеся при сжигании, омывают вмазанный в печь паровой котел, снабженный пароперегревателем, и проходят через водяные или воздушные экономайзеры и пеплоуловители, после чего удаляются через боров в дымовую трубу. Пар из котла поступает или в паровую машину или в паровую турбину, соединенные каждая с электрическим генератором, для выработки электрической энергии, которая частью расходуется на нужды самой станции, а в большей части передается на сторону; в некоторых установках пар передается, без превращения в электроэнергию, непосредственно на предприятия, расположенные на территории станции (прачечная, завод шлакового кирпича и др.), или на городские электрич. станции, взамен чего мусоросжигательная станция получает электроэнергию.

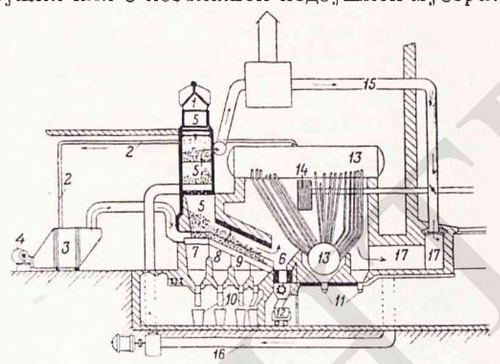
Мусор, который привозят на станцию, выгружается в специальные бункера или подвозится прямо к воронкам печей. Помещение для загрузочных воронок печей устраивается обычно в верхнем этаже, обособленном от остальных помещений. В нижнем этаже помещаются печи с котлами; здесь располагается также оборудование, относящееся к печам; некоторые части оборудования располагаются в подвальном помещении. Если пар используется для выработки электрич. энергии, то рядом с котельным помещением, в том же здании или в соседнем, устраивается электрич. станция с необходимым оборудованием на соответствующую мощность. Если шлак утилизируется для



Фиг. 3.

изготовления строительных кирпичей или щебня, то со стороны выхода шлака устраивается шлаковый з-д соответствующей производительности. Если до поступления в загрузочные воронки печей мусор подвергается просеиванию и сортировке, то к помещению для воронок пристраивается сортировочное помещение. Иногда пар используется для отопления зданий и для душей. На мусоросжигательной станции должны находиться ремонтные мастерские, материальные склады, кладовые, гаражи, обозные парки, лаборатории, души, здание для конторы и жилые помещения для ответственного и дежурного персонала.

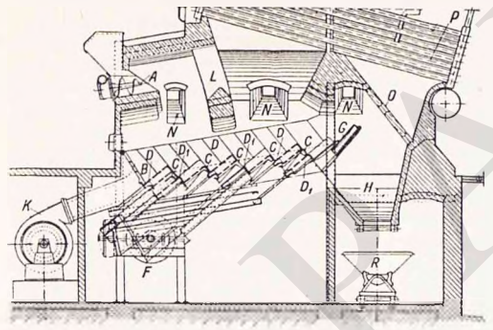
Современные мусоросжигательные установки оборудованы печами, которые можно разделить по их конструкции на несколько категорий. 1) Печи нем. конструкции Инферно-Лурги-Уде (Inferno-Lurgi-Udhe, фиг. 2) с шахтной топкой, с камерой сжигания, снабженной подогревателем воздуха, с периодич. загрузкой порциями и периодич. шлаковкой, производимой механич. путем; к этому типу печей д. б. отнесены также печи сист. Дидие и Дёрр (Didie, Dörr). 2) Печи очелковые системы Хинан и Фрауд (Heenan a. Froude) и системы Гербертц (Herbertz) с механич. или гидравлич. шлакоудалителем через фронт печи, без предварительной подсушки или с небольшой подсушкой мусора.



Фиг. 4а.

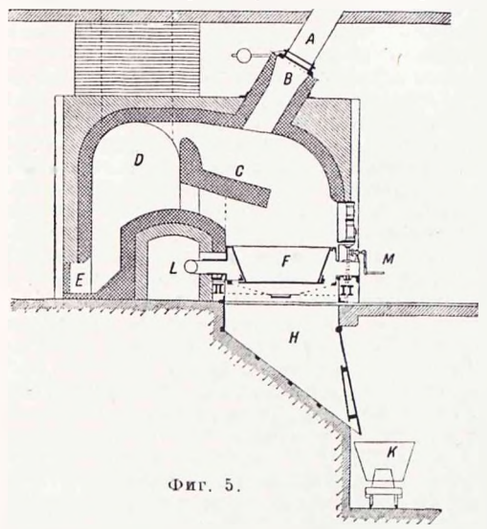
Решетка—корытообразная с боковым и нижним дутьем воздуха, пронизывающего всю массу мусора (фиг. 3). 3) Печи очелковые—с механич. топками, тремя зонами горения, малым топочным пространством, без камеры сжигания, с автоматич. шуровкой и шлаковкой, подогревом воздуха в боковых чугунных полых топочных коробках и регулировкой подачи воздуха во все три зоны горения—подсушка, собственно горение и шлаковка. На фиг. 4а представлена печь сист. Музаг, где *1*—кузов с мусором, *2*—пар для подогрева воздуха, *3*—паровой калорифер для нагрева воздуха, *4*—вентилятор с электромотором, *5*—мусор, *6*—шлаковый генератор, *7*—зона подсушки, *8*—зона сжигания, *9*—зона шлакования, *10* и *11*—провал, *12*—вагонетка для шлака, *13*—котел, *14*—пароперегреватель, *15*—канал для вывода паров после подсушки в дымовую трубу, *16*—канал для засоса горячих газов для подсушки мусора, *17*—боров для отвода газов в трубу. На фиг. 4б изображена печь

сист. «Везувио-Мартини», где *A*—шнек для подачи мусора в печь, *B*—воздухопровод в топку, *C*, *D*, D_1—подвижные и неподвижные полые колосники, *F*—вал механизма



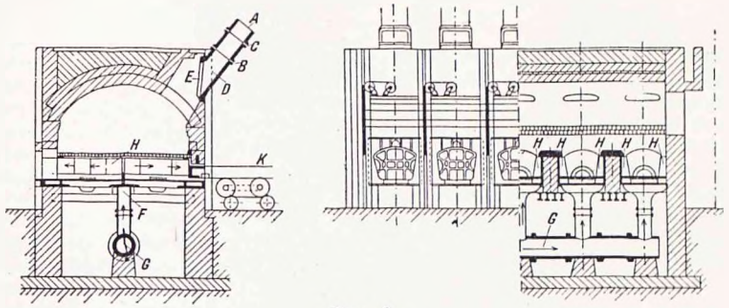
Фиг. 4б.

для приведения в движение колосников, *G*—приспособление для шлакования, *H*—приемник для шлака, *K*—вентилятор, *L*—проход для газов под котел, *N*—шуровочные отверстия, *O*—окна для прохода тепла шлаков под котел, *P*—котел, *R*—вагонетка для отвозки шлака. 4) Печи сист. Брешо (Bréchot, фиг. 5) также очелкового типа, с постепенной подачей мусора через загрузочную воронку *A*, путем открывания клапана *B*, на сушильный под *C*, находящийся в топочном пространстве над колосниковой решеткой, с опрокидывающейся (при помощи механизма *M*) колосниковой решеткой *F*, составляющей отдельный аппарат, вставляемый в топку в собранном виде, с удалением из-под печи *H* шлака, падающего при опрокидывании решет-



Фиг. 5.

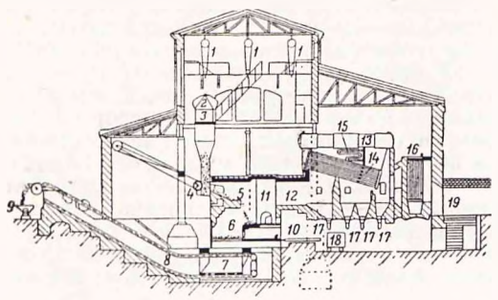
ки в вагонетку *K*, движущуюся по рельсам; *D*—камера сжигания, *E*—отверстие для очистки от золы и пепла, *L*—воздухопровод. 5) Печь сист. Буссанж (Boussange, фиг. 6), устроенная по типу очелковых англ. печей Хинан и Фрауд и нем. печей Гербертц, но с предварительной подсушкой мусора отходящими в трубу газами в специальных аппаратах, находящихся вне печи; колосниковая решетка корытообразной формы, с боковыми сменными полыми коробками, с предварительным подогреванием воздуха при прохождении через полые пространства решеток, с механич. или гидравлич. шлакованием и выводом блока шлака в помещение печей. В этих печах подача мусора в загрузочные воронки производится автоматически грейферами, движущимися непрерывно по бесконечному рельсовому пути над загрузочными воронками печей, расположенными во 2-м этаже здания мусоросжигательной станции над печным помещением. На фиг. 6: *A*—подача мусора, *B*—клапанная коробка, *C*—клапан, *D*—загрузочная воронка, *E*—клапан, *F*—подача воздуха, *G*—воздухопровод, *H*—боковые полые коробки колосниковой решетки для подогрева воздуха, *K*—тележка для шлака.



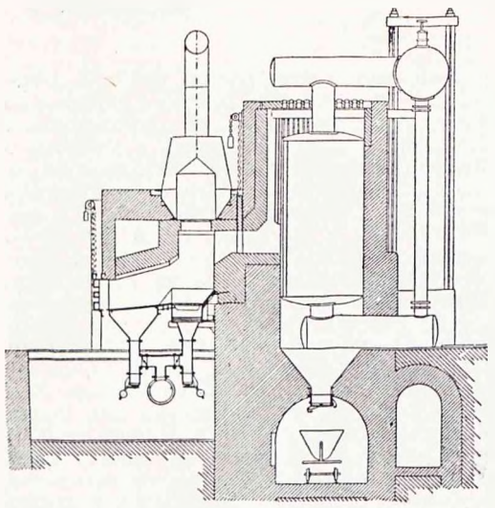
Фиг. 6.

6) Печи сист. Сепиа (Sepia, фиг. 7)—очелкового типа, как и печь Брешо, с сушильным подом, расположенным над колосниковой решеткой, с подачей мусора в кузовах *2* электрич. кранами *1* через загрузочную воронку *3* на сушильный под *5* бесконечным винтом *4*, с гидравлич. шлакованием в бассейн с водою *7*, расположенный под колосниковой решеткой *6* (грануляция), с выводом гранулированного шлака из бассейна наружу в вагонетки *9* по цепному транспортеру *8*; *10*—гидравлич. толкач для шлакования, *11*—камера сжигания, *12*—соединительный боров печи с котлом, *13*, *14*—котел, *15*—перегреватель, *16*—экономайзер, *17*—теплоуловитель, *18*—вагонетка для пепла, *19*—боров к дымовой трубе. В печи этой системы, как и в печи сист. Буссанж, воздух, прежде чем попасть в топочное пространство, предварительно подогревается в полых пространствах боковых стенок корытообразной решетки и потом в полости самой решетки и в слое шлаковой подушки. В отличие от сист. Буссанж боковые стенки сделаны цельными, не разбирающимися; поэтому при их прогорании приходится сменять всю стенку. 7) Печи сист. Гумбольдт (Humboldt, фиг. 8) также очелкового типа, с двойной колосниковой решеткой в целях использования теплоты шлака для подогрева воздуха. Основной принцип рационального шлакова-

ния заключается в том, что удаляемый из печи горячий шлак оставляется на нек-рое время на передней решетке, через к-рую пропускается вдуваемый в печь воздух, нагревающийся при этом до высокой $t°$. Здесь так же, как и в печах систем Буссанж и Хинан, шлак выносится механически в помещение печей. 8) Печь америк. сист. Дикери (Decarie, фиг. 9) отличается от европ. систем тем, что имеет две расположенные одна над другой решетки и что стенки топки представляют металлические полые рубашки с циркулирующей в них водой. Таким образом получается как бы котел с внутренней топкой (жаровой трубой). На фиг. 9: *1*—эстакада для загрузочных воронок, *2*—крышка, *3*—загрузочная воронка, *4*—автоматич. клапан, *5*—канал для подвода холодного воздуха от вентилятора к подогревателю, *6*—верхняя решетка, *7*—камера сжигания, *8*—подогреватель, *9*—нижняя решетка, *10*—горячий



Фиг. 7.



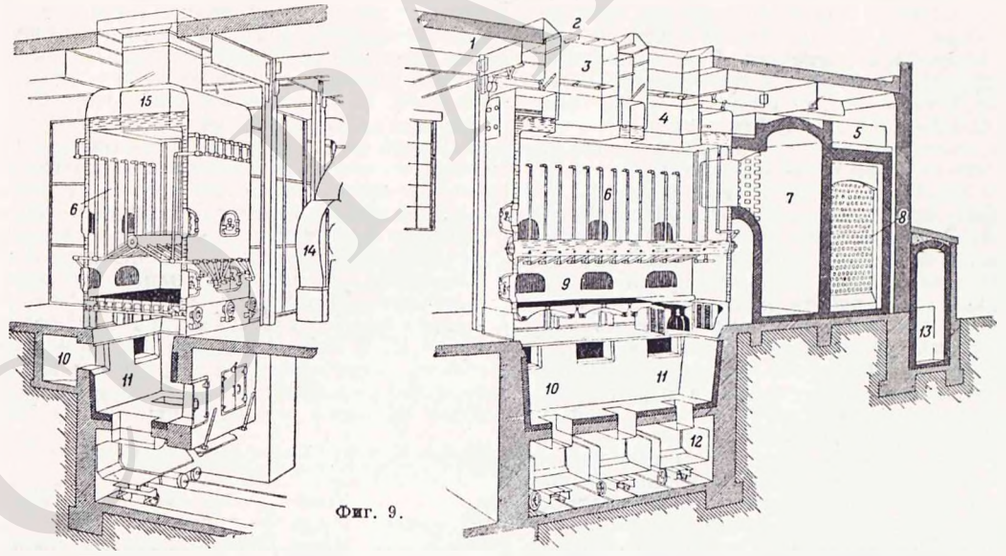
Фиг. 8.

воздух, *11*—зольник, *12*—вагонетка для золы, *13*—боров к дымовой трубе, *14*—вентилятор, *15*—паровое пространство.

Существенными частями каждой печи являются: загрузочная воронка, топка, камера сжигания, колосниковая решетка, подогреватель воздуха и различные электрич. и механич. приспособления для загрузки, шуровки и шлаковки. Необходимыми частями оборудования являются: паровые котлы с питательными насосами, воздуходувки, подъемные или автоматич. приспособления для подачи мусора к печам и для выемки шлака из печи, весы для взвешивания мусора и шлака. С целью достигнуть сжигания мусора без добавления топлива искусственно повышают теплотворную способность мусора путем подсушки его или отсева мелочи. Для достижения высокой темп-ры в топке, в целях получения спекающихся шлаков, годных для строительных целей, вдуваемый в топку воздух подогревают до высокой $t°$. Для получения наибольшего кпд котла приходится различными конструкциями топки устранять потери тепла или же стремиться к использованию тепла уходящих в дымовую трубу газов. Механизацией и автоматизацией различных манипуляций по уходу за печью число обслуживающего персонала доводится до минимума.

Усовершенствования в процессе М. в основном следующие: 1) подсушка мусора дымовыми газами; 2) просевание до сжигания; 3) подогрев воздуха или дымовыми газами в экономайзерах, или в полых чугунных коробках топки, или в камере сжигания, или паром в калориферах; 4) подогрев питательной воды для котла, производимый или в полых чугунных стенках топки или отходящими дымовыми газами в водяных экономайзерах; 5) выравнивание $t°$ в различных топках по принципу взаимодействия, устройством аккумулятора тепла—камеры сжигания; 6) введение добавочного воздуха в камеру сжигания в случае неполного сгорания; 7) приспособление для обдувки трубок котла и для удаления пепла на ходу. Иногда стараются обходиться без подъемных приспособлений для подачи мусора к загрузочным воронкам печей; для этого устраивают особую эстакаду для въезда перевозочных средств непосредственно в верхний этаж к загрузочным воронкам. Если мусор подается в печь непосредственно в кузовах, то конструкция загрузочных воронок д. б. приспособлена к конструкции кузовов транспортных средств. Кузов, снабженный откидным дном, ставится непосредственно на загрузочную воронку печи, и мусор пересыпается или прямо в печь или в бункер, находящийся над загрузочными воронками печей. Бункера имеют непосредственное сообщение с печью, а в случае отсутствия этого сообщения мусор подается к печам электрическими кранами, снабженными грейферами. Все эти конструкции для подачи мусора к печам согласуются с конструкцией и системой транспортных средств.

Суточная производительность станционных печей колеблется в пределах от 40 до 120 *m* мусора в сутки в одном агрегате, при напряжении колосниковой решетки от 500 до 1 000 *кг/м²* в час. Температура в топке—от 600 до 800°, а в камере сжигания доходит до 1 000—1 100°; $t°$ дымовых газов—от 200 до 350°. Испарительность, в зависимости от калорийности мусора, колеблется в больших пределах—от 0,40 до 1,00 и более (см. выше). Кпд котла обычно не особенно высок — от 0,40 до 0,60; напряжение поверхности нагрева котла—от 10 до 15 *кг/м²*. При электрич. станции мятый пар используется на отопление и на подогревание воды для душей, а в печах системы Музаг—на подогрев воздуха. Парижские установки снабжают электроэнергией водоподъемные станции. Берлинская установка Шенеберг отпускает пар соседней электрич. станции. Кельнская установка расходует на свои нужды 6—5 млн. kWh электроэнергии и продает на сторону 9 млн. kWh при сжигании в год 102 000 *m*



Фиг. 9.

мусора. Парижские станции сжигают в год 400 000 *m* мусора и вырабатывают 30 млн. kWh электроэнергии. Электрич. энергия используется еще для зарядки электромобилей, подвозящих мусор к станции. В Бирмингаме ежедневно заряжаются 40 таких электромобилей; в Шенеберге 20 электромобилей заряжаются электроэнергией, получаемой с соседней электрич. станции взамен отпускаемого ей пара; в Москве имеется установка для зарядки электромобилей.

Стенки топок для предотвращения прикипания к ним шлака делают из полых чугунных плит, в которых циркулирует вода или воздух; вода используется на питание котлов (печи Дидие и Дикери), а воздух—для подогрева дутья (Музаг, Сепиа). Шлаки выгружаются из печи или в виде спекшейся массы, раздробляемой сейчас же струей холодной воды, или гранулируются, падая в бассейн с водой, находящийся под колосниковой решеткой печи. Состав шлака и пепла по анализам, произведенным в Бармене, в Фюрте и в Москве, приведен в табл. 3.

Табл. 3.—Состав шлака и пепла.

Составные части	Бармен			Фюрт	Москва
	л тн. шлак	зимн. шлак	пепел		
SiO_2 . . .	46,08	45,74	39,60	53,38	56,51
CaO . . .	9,88	9,92	10,25	6,48	12,02
Fe_2O_3 . .	16,09	15,75	21,19	19,62	11,58
Al_2O_3 . .	18,81	21,71	24,26	11,98	6,51
MgO . . .	2,67	2,51	2,91	1,20	2,33
SO_3	2,09	1,51	1,30	0,28	1,25
P_2O_5 . . .	—	—	—	1,52	3,03
Горючее .	3,95	2,15	0,49	5,54	5,47

Если шлак предназначается для продажи как строительный материал, то он раньше поступает в дробилки и дробится на 3—4 сорта по величине: мелкое зерно употребляется вместо крупного песка, зерно средней величины—для бетона, крупное—для дренажа, биологич. фильтров и других целей. Иногда весь получающийся шлак бывает выгоднее перерабатывать на специальных заводах, расположенных на территории станции, в строительные кирпичи с примесью извести или цемента; на этих з-дах шлак подвергается предварительной переработке пропусканием через магнитные аппараты, с целью освобождения от кусков железа. Кроме того из шлака отбираются куски кокса вручную или пропусканием через наполненные водой аппараты, в которых кокс выплывает на поверхность воды. Отсортированный т. о. шлак поступает в паровую ванну для гашения заключающейся в нем извести и перед измельчением выдерживается в течение некоторого времени на воздухе для выветривания сернистых соединений. Кроме строительных кирпичей из шлака изготовляются еще трубы, тротуарные плиты и другие изделия. В Бармене из кирпича, изготовленного из мусорного шлака, выстроено 500 поселковых домов с 2 200 квартирами и 6 500 комнатами. Две парижские станции (из четырех) выработали в 1926 г. 16 млн. кирпичей.

Пепел из пеплоуловителей или используется как изоляционный материал или (по опытам, произведенным в Гамбургской установке) может служить связующим материалом вместо цемента. Мелкий мусорный отсев, к-рый получается пропусканием мусора перед сжиганием через барабаны-сита, представляет хорошее удобрительное средство и охотно разбирается окрестными крестьянами или увозится на поля на жел.-дор. платформах по подъездным путям (Париж). На новейшей Кельнской установке, а также на Кильской установке этот отсев, смешанный с глиноземом и коксом, брикетируется и поступает для плавления в печи специальной конструкции; при выходе из печи он в

расплавленном состоянии отливается в формы для брусчатки мостовых. Если остывание происходит медленно, то получается очень твердой породы материал, подходящий по твердости к базальту; при несколько ускоренном остывании из отсева вырабатываются гончарные трубы, а при самом быстром—хрупкие стеклянные изделия (способ Suho Humboldt).

Мусоросжигательные станции целесообразно строить в крупных городах, имеющих возможность затрачивать большие средства на здания и сооружения. Если принять минимальную суточную производительность печи в 40 *m*, то это примерно соответствует населению в 80—100 тыс. жит. в том случае, если печь работает круглые сутки; при работе станции в две смены такая печь может обслуживать 50—65 тыс. жителей; при работе же в одну смену—от 30 до 40 тыс. жит. Работа в одну смену является неэкономной и требует добавочного топлива для растопки каждый день, в то время как при двухсменной работе почти не приходится прибегать к растопке; самой экономной работой печи является непрерывная работа в течение круглых суток в будни и праздники. Одно из основных условий для рационального применения М.—это, чтобы расходы по эксплоатации станции м. б. покрыты доходами от продажи пара. Отсутствие свободных участков за чертой города для почвенного метода обезвреживания является второй причиной введения М.; если при этом мусор не обладает достаточной калорийностью для покрытия расходов по сжиганию, то приходится прибегать к подсушке его дымовыми газами или к отсеву негорючей мелочи или, в крайнем случае, к добавочному топливу; для покрытия эксплоатационных расходов прибегают к предварительной выборке ценных предметов, к использованию шлака как строительного материала или для изготовления бетонных изделий и к использованию пара на производстве, которое устраивается здесь же, на территории станции. В городах средней величины, до 100 тыс. населения, по местным условиям не всегда м. б. применено М. В крупных городах, с населением от 500 тыс. жит. и более, когда территория города сильно раскинута и когда предполагаемое расширение городской черты в ближайшие 25—30 лет сильно отдаляет места земельных участков для почвенного метода обезвреживания, бывает, по экономич. соображениям, выгоднее устраивать М., т. к. мусоросжигательная станция м. б. расположена в населенных кварталах и следовательно м. б. сильно сокращены расходы на транспорт. В большинстве случаев введению М. препятствуют экономич. соображения как в отношении больших единовременных затрат, так и в отношении расходов на эксплоатацию, к-рые б. ч. при малой калорийности мусора ложатся тяжелым бременем на бюджет. В крупных же городах с плотностью населения, превосходящей 80 чел. на *га*, М. должно быть введено несмотря ни на какие расходы, т. к. этого настоятельно требует санитарное благополучие, и в этом случае экономич. соображения отходят на задний план. Мусоросжигательная станция м. б. иногда с успехом устроена на территории газового завода, с использованием коксовой мелочи для поднятия калорийности мусора и с отпуском пара на газовый з-д (Фюрт).

Капиталовложения принято относить на 1 *m* суточной производительности или на 1 жителя. Все расходы по эксплоатации и по амортизации принято относить на 1 *m* сожженного мусора. Если мусоросжигательная станция представляет собою целый комбинат, т. е. кроме самой станции на ее территории имеются еще з-ды для выработки шлаковых изделий, электрич. станция, сортировочная станция, прачечная и другие предприятия, то эксплоатационные расходы по каждому производству учитываются отдельно. Такой способ учета удобен и полезен потому, что при окончательной сводке годовых отчетов видно, какое из подсобных предприятий является самоокупающимся, какое работает в убыток и какое приносит доход для покрытия расходов по сжиганию. В общем итоге при проектировании установки подсобные предприятия рассчитывают т. о., чтобы доходом от них были покрыты расходы по М. В табл. 4 указано, как приблизительно распределяются основные расходы по М. без амортизации, % на капитал и расходов по сбору и транспорту мусора. Как

Табл. 4.—Соотношение отдельных элементов расходов (в %).

Элементы расходов	1900 г. Гамбург (Горсфол)	1921/22 г. Фюрт Гумбольдт)	1912—15 гг. Ленинград (Хинан)	1926/27 г. Москва (Музаг)
Заработная плата	71	55	70	68,20
Энергия	24	10		9,30
Топливо		20		7,50
Ремонт		5	30	—
Материалы и др. расходы	5	10		15,00
	100	100	100	100,00

видно из табл. 4, заработная плата составляет около 70%. Расход на амортизацию м. б. подсчитан на основании данных на капиталовложение в зависимости от числа жителей, обслуживаемых станцией. Процент на амортизацию и на капитал в общем обычно составляет 10%.

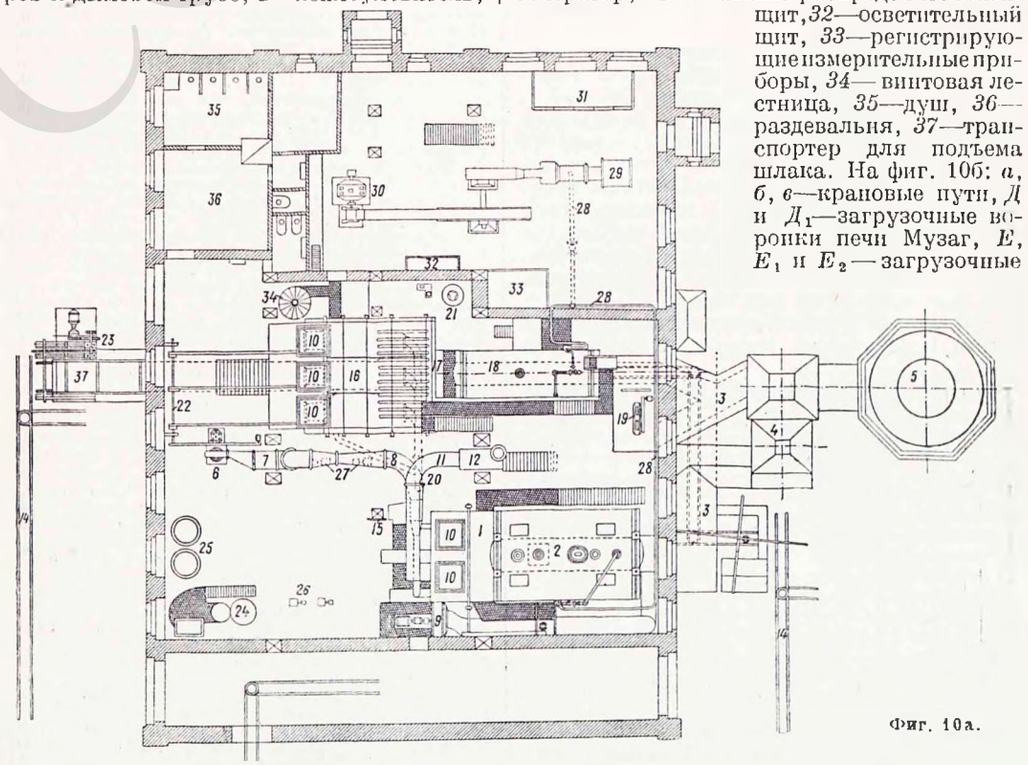
В табл. 5 приведен ряд статистич. данных из практики ряда заграничных и русских установок с указанием системы печей, года их постройки, пропускной способности и капиталовложений, отнесенных на 1 *m* сожженного мусора. На фиг. 10а и 10б изображены планы 1-го и 2-го этажей 1-й Мусоросжигательной станции в Москве. Станция эта оборудована 2 печами по 80 *m* суточной производительности каждая—одна нем. системы Музаг (работает с апр. 1926 г.), другая—франц. системы Сепна (работает с апреля 1927 г.). Здание для печей имеет 2 этажа. Система загрузки печей и система шлаковки сконструирована с соблюдением всех гигиенич. требований; рабочие не только не соприкасаются с мусором, но и не видят его. При станции имеются души с чистыми и грязными раздевальнями. Отопление—цен-

Табл. 5.—Стоимость сжигания 1 *m* мусора (для различных иностранных и русских городов).

Город	Система печи	Сут. производ. в *m*	Количество сожженного в год мусора (в тыс. *m*)	Стоим. установки на 1 *m* суточн. производ. (в руб. довоен.)	Стоим. сжигания 1 *m* в руб. *1
Монтевидео	Бальмер	270	66 (1916 г.)	480	1,06
Гамбург	Уде	528	100 (1916 г.)	1 000	1,42
Фюрт	Гумбольдт	50	12 (1916 г.)	1 380	1,84
Висбаден	Дёрр	117	17 (1916 г.)	1 400	2,20
Франкфурт н/М.	Герберц	180	46,5 (1916 г.)	3 500	2,90
Мильвоки	Хинан и Фруд	240	54 (1916 г.)	1 725	3,02
Берлин	Мартини-Везувио	300	50 (1923 г.)	—	2,50
Ленинград	Хинан и Фруд	170	26 (1913—15 гг.)	3 000	~2,00
Москва	Музаг	80	8 (1926/27 г.)	2 500	2,75 *2
»	Сепна	80	—	2 500	2,53 *2

*1 При переводе иностранной валюты в рубли было принято: доллар = 2 р., марка=50 к., франк=10 к.
*2 При нагрузке в 50%.

тральное, паровое, вентиляция в нижнем этаже достигается воздуходувками, высасывающими из помещения весь испорченный воздух. В верхнем этаже на крыше устроен фонарь с открывающимися рамами. На фиг. 10а изображено: *1*—печь системы Музаг, производит. 80 *m* в сутки, *2*—котел Гумбольдт, поверхность нагрева 250 *м*², *3*—боров к дымовой трубе, *4*—пеплоуловитель,



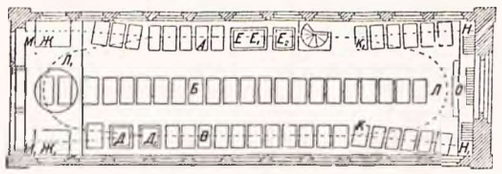
Фиг. 10а.

5—дымовая труба, *6*—вентилятор, *7*—подогреватель воздуха, *8*—воздухопровод в печь, *9*—эксгаустер, *10*—сушильный аппарат, *11*—трубопровод, *12*—пеплоуловитель и труба для отвода паров подсушенного мусора, *14*—вагонетные пути, *15*—измерительные трубы, *16*—печь сист. Сепна, производит. 80 *m* в сутки, *17*—боров, соединяющий печь с котлом, *18*—котел сист. Бабкок и Вилькокс, поверхн. нагрева 132 *м*², *19*—экономайзер Грина, *20*—вентилятор, *21*—гидравлич. аккумулятор, *22*—трансмиссия для загрузочного устройства, *23*—трансмиссия для транспорта шлака, *24*—водоочиститель сист. Зейферт, *25*—баки питательной воды, *26*—насосы для котла Гумбольдт, *27*—насосы для котла Бабкок и Вилькокс, *28*—трубопровод к паровой машине, *29*—паровая машина, *30*—генератор, *31*—главный распределительный щит, *32*—осветительный щит, *33*—регистрирующие измерительные приборы, *34*—винтовая лестница, *35*—души, *36*—раздевальня, *37*—транспортер для подъема шлака. На фиг. 10б: *а*, *б*, *в*—крановые пути, *Д* и $Д_1$—загрузочные воронки печи Музаг, *Е*, $Е_1$ и $Е_2$—загрузочные воронки печи системы Сепна, *Ж* и $Ж_1$—люки для подъема кузовов, *К* и $К_1$—стрелки, *Л* и $Л_1$—петли подвесных путей, *М* и $М_1$—тупики для подъема кузовов, *Н* и $Н_1$—тупики для ремонта кранов.

Подвоз мусора к станции, в зависимости от расстояния, производится конной, автомобильной и электромобильной тягой. Электромобили заряжаются ртутными выпрямителями током, вырабатываемым на времен-

ной электрич. станции, мощностью 150 kW, устроенной в том же здании. Станция снабжена в достаточной степени всеми необходимыми измерительными приборами, контрольными и регистрирующими, и имеет надлежащим образом оборудованную лабораторию для анализа мусора.

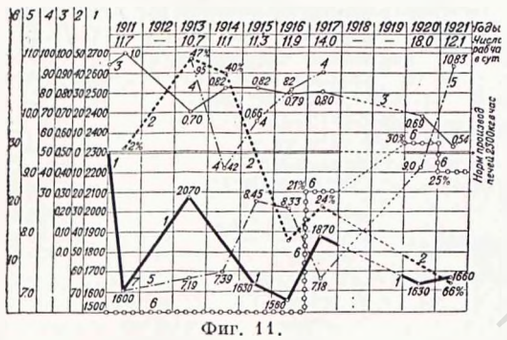
На фиг. 11 приведена характерная диаграмма работы станции г. Фюрта (с печами



Фиг. 10б.

системы Гумбольдт) в течение 11 лет ее существования; различными кривыми отмечены наиболее интересные данные, а именно: *1*—часовая производительность печей в *кг*, *2*—прибыль и убыток в % от общей доходности, *3* — испарительность, *4* — стоимость сжигания 1 *т* в коп., *5*—расход энергии в kWh на 1 *т* сжигаемого мусора, *6*—расход добавочного топлива в % от всего сжигаемого мусора.

Одним из последних достижений техники является пущенная в мае 1928 г. в эксплоатацию Кельнская установка на 550 *т* суточной производительности. Прибывающий мусор перерабатывается полностью без остатка; после сортировки и сжигания вырабатывается электрическая энергия, отпускаемая в городскую сеть, и выпускаются разные ценности—в виде напр. сырья для дальнейшей переработки (как то: металлич. лом, тряпки и пр.), или строительных кирпичей, или брусчатки для мостовых. На фиг. 12 представлен схематический продольный разрез всех зданий городской Кельнской

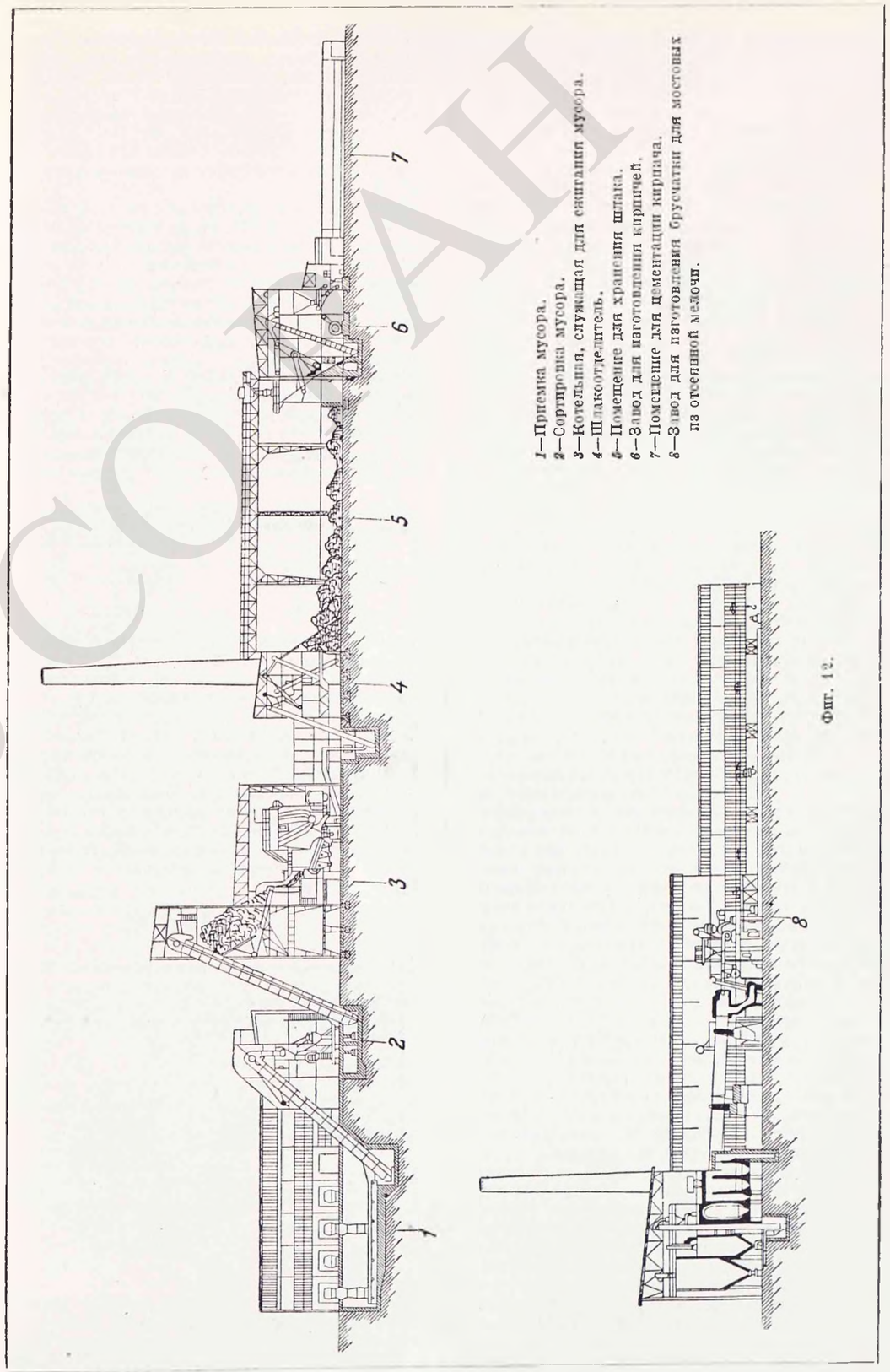


Фиг. 11.

мусоросжигательной установки, а также завода для изготовления брусчатки для мостовых из отсеянной мелочи. Перечень отдельных частей в порядке производств приведен ниже, на самом чертеже. Станция обошлась в 9 200 000 мар. Из 550 *т* мусора получается ежедневно 341 *т* (62%) крупного мусора, идущего на сжигание, 192,5 *т* (35%) мелкого отсева, идущего на изготовление брусчатки для мостовых, и 16,5 *т* (3%) различных ценностей. Шлаков после сжигания получается 119,35 *т* (21,7%) и пепла 20,46 *т* (3,72%). Часовая паропроизводительность котлов равна 16,8 *т* при давлении 14 *atm* или 2 100 kWh электроэнергии (50 400 kWh в день), а в год 15 520 000 kWh; из них отпускается в городскую сеть 9 млн. на сумму 180 000 мар., по 2 пф. за 1 kWh. Продажа шлаковых изделий дает 2 146 400 мар., продажа ценностей 98 300 мар., остальные мелкие статьи дохода дают 4 050 мар., а всего в год получается доходов на 2 428 000 мар. Расходы составляют: заработная плата—724 760 мар., амортизация—760 411 мар., различный текущий ремонт—213 040 мар., прочие расходы по производству—730 589 мар., а всего 2 428 800 мар.

Для постройки мусоросжигательных станций специальной комиссией при Постоянном бюро водопроводных и санитарно-технич. съездов выработаны основные положения, одобренные II Всес. съездом и опубликованные в его трудах.

Лит.: Павловский А. К., 1-я городская мусоросжиг. станция в Петербурге, СПБ, 1906; Шишкин З. Н., Васильеостровская мусоросжиг. станция в Петербурге, «Известия Пост. бюро всер. водопр. и сан.-технич. съездов», Москва, 1914, *5*; Об устройстве новых мусоросжиг. станций, П., 1916; Бурче Ф. Я., Мусоросжиг. печи Петрограда и результаты их эксплоатации, «Известия Пост. бюро всер. водопр. и сан.-технич. съездов», М., 1916, *5*; О плане реорганизации дела удаления и уничтожения твердых отбросов и уличных сметок от канализов. владений г. Москвы, доклад МГУ № 298, М., 1914; Бурче Ф. Я., Обезвреживание твердых отбросов сжиганием, «Коммун. хоз.», М., 1922, *1—2*; его же, Экономич. выгоды мусоросжигания, там же, М., 1924, *2—3*; Левинсон Я. Б., Сжигание твердых отбросов, Л., 1922; Бурче Ф. Я., Организация мусоросжигания на городских станциях, «Труды I (XIII) Всес. юзн. водопр. и сан.-технич. съезда», М., 1927, вып. 2; его же, Соврем. состояние мусоросжигания за границей и в СССР, «Труды III Всес. теплотехнич. съезда», М., 1927, т. 3, вып. 2, стр. 185; его же, Организация и экономика мусоросжигания, «Труды II (XIV) Всес. юзного водопр. и сан.-технич. съезда в Харькове в 1927 г.»; его же, Основные положения по проектированию и устройству коммун. мусоросжиг. станций, там же; его же, О результатах годичной эксплоатации моск. мусоросжигат. станции, там же; Лепинсон Я. Б., Основные положения по устройству деструкторов для сжигания твердых отбросов по владениям, там же; его же, Домовые мусоросжиг. печи, там же; Горбов В. А., Мусоросжигание в Москве, «Гигиена и эпидемиология», М., 1926, *9*; Бурче Ф. Я., Анкета для обследования владений в связи с введением мусоросжигания, «Труды III (XV) Всес. юзн. водопр. и сан.-технич. съезда в Ростове в 1929 г.»; его же, Отчет о работе Моск. мусоросжиг. станции за 1927—29 гг., там же; его же, Мусоросжигание, Сборник статей, Москва, 1929; Hache, Die Müllverwertung u. Müllverbrennung, Kattowitz, 1927; Uhlfelder, Müllverbrennungs-Anstalt in Frankfurt a/M., Lpz., 1906; Koepper G., Die Entwicklung d. Müllverbrennung, Dresden, 1906; de Fodor E., Elektrizität aus Kehricht, Budapest, 1911; Koschmieder H., Die Müllverwertung durch Schmelzung, «Städtereinigung», 1921; Wollenhaupt P., Müllverbrennungsanlagen «System Herbertz», Mch., 1921; Udhe O., Die Müllverbrennung nach d. Kriege, «Z. d VDI», 1927, *36*; Valar H. H., Die Lösung d. Kehrichtfrage im Kurort Davos, Davos, 1917; Die Verwertung v. Hausmüll, als zukünftige Müllbeseitigung f. mittlere u. grosse Städte, B., 1927; Meyer J. E., Müllbeseitigung und Müllverwertung, Leipzig, 1915; Tiesing, Aus d. Literatur über d. Müllbeseitigung in u. nach d. m Kriege, «Ztrbl. f. d. gesamte Hygiene», 1922, B. 2, H. 3—4; Klemm W., Literaturangaben über d. Verwertung d. städtischen Abgange, «Gesundheitsingenieur», Mch., 1924, H. 26; Naumann K., Schrift über Müllbeseitigung, Strassenreinigung u. Tierkorperverwertung, «Die Städtereinigung», Feudingen, 1928, *5*; Lefeuvre G., L'incinération industrielle des ordures ménagères, «Chaleur et Industrie», P., 1922, juin; Bréchot A., Collecte, Transport, Traitement des ordures ménagères, P. ris, 1924; Bernard P., Les solutions modernes du problème des ordures ménagères, P. ris, 1926; Bonnet M. H., Question des ordures menagères, Rapport de l'ingénieur municipal de Toulon, Toulon, 1929;



Фиг. 12.

БСОАН

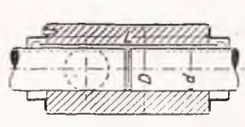
Goodrich W. E., Smell Destructors for Institutional a. Trade Refuse, L., 1904; «Gesundheitsingenieur», München; «Die Stadtereinigung», Feudingen; «La technique sanitaire et municipale», Paris; «Surveyor», London; «Engineering News-Record», N. Y.; «The American City», N. Y. **Ф. Бурче.**

МУСОРОСЖИГАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ, см. *Мусоросжигание.*

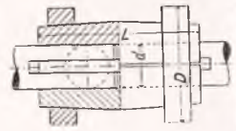
МУТАРОТАЦИЯ, мультиротация,— явление, состоящее в том, что вращательная способность (см. *Вращение плоскости поляризации*) свежеприготовленных растворов нек-рых оптически активных веществ изменяется с течением времени (б. ч. по абсолютной величине, но иногда и по знаку). Особенно часто М. наблюдается в группе сахаристых веществ; ее показывают например все монозы, а также и те полисахариды, которые имеют активные альдегидные группы (например мальтоза, целлобиоза и др.). Явление это обусловливается превращением одной формы сахаристого вещества в другую (до состояния равновесия); напр. обычная α-d-глюкоза имеет уд. вращение $+113°$, но, будучи растворена в воде, она постепенно превращается в β-d-глюкозу с уд. вращением $+19°$, вследствие чего уд. вращение уменьшается до $+52{,}5°$ (равновесно между обеими формами отвечает содержание в растворе $^1/_3$ α-формы и $^2/_3$ β-формы). Для d-маннозы наблюдается даже изменение направления вращения: обычная β-d-манноза обладает уд. вращением равным $-16{,}5°$; в водном растворе вращательная способность ее постепенно уменьшается, проходит через $0°$ и затем делается положительной; окончательное уд. вращение равно $+14{,}2°$, что соответствует равновесию с α-d-маннозой, уд. вращение к-рой $30°$. **П. Шорыгин.**

МУФЕЛЬ, особой формы коробка, открывающаяся с одной стороны и служащая для обжига в ней различных материалов при условии предохранения их от воздействия продуктов горения, а также и голого огня. Материалом для изготовления М. служат различные по составу огнеупорные массы, к-рые в готовом изделии должны быть достаточно огнеупорными, обладать высокой теплопроводностью, необходимой терм. устойчивостью, значительным механич. сопротивлением и являться достаточно плотными (не в ущерб термич. стойкости) для обеспечения наибольшей сопротивляемости химич. воздействиям. В зависимости от условий своего использования М. бывают весьма различных размеров и форм. Для удаления из обрабатываемых изделий паров воды и газов в М. делают небольшое отверстие, закрываемое пробкой после прекращения их выделения; в боковую стенку М. вделывается из огнеупорного материала короткая трубка для наблюдения за ходом процесса нагревания изделий. Нагревание М. производится в особых печах с использованием твердого или газообразного (генераторный газ) топлива. В обоих случаях горячие продукты горения омывают внешнюю поверхность М. и, нагревая его стенки, передают свое тепло обжигаемому в М. материалу. Для М. небольшого размера используется иногда нагревание их электрич. током с применением обмотки М. из платиновой или хромоникелевой проволоки, служащей при этом металлич. сопротивлением. М. находят себе широкое применение в металлургии (получение ковкого чугуна, цементация стали, закалка металлов, дистилляция цинка и пр.), в промышленностях—керамической (закрепление огнем красок на фарфоре, фаянсе и пр.), эмалировочной (эмалирование чугунных изделий), химической (производство ультрамарина и пр.).

МУФТЫ, детали, служащие для соединения двух валов. М. разделяются на неподвижные, подвижные и фрикционные. На фиг. 1 изображена простейшая глухая М., представляющая собой толстостенный полый цилиндр с выбранной внутри шпоночной канавкой; концы соединяемых валов заклиниваются в муфтах клиновыми шпонками, выступающие наружу концы шпонок для безопасности прикрываются металлическим кожухом. Средние размеры М.: $L=(3\div4)d$; $D=1{,}8d+20$ *мм*. Недостатки этой М. следующие: неудобство сборки и разъединения валов, большая длина М. и внецентренный зажим, ведущий часто при валах разных диам.



Фиг. 1.

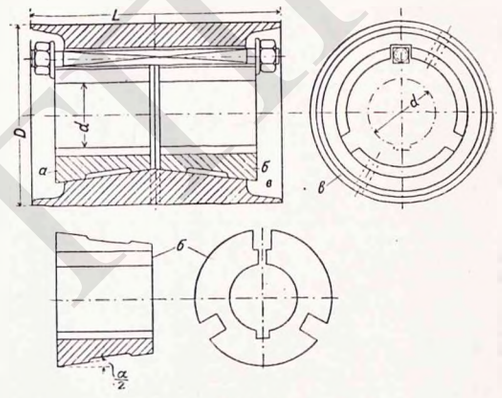


Фиг. 2.

к несовпадению их центров. Более совершенный тип—коническая затяжная М.—изображен на фиг. 2; две половины муфты прижимаются к соединяемым валам, нагоняемыми на конич. наружные поверхности М. затяжными кольцами. Весь крутящий момент должен передаваться исключительно силой трения; шпонки ставят для большей надежности соединения. Принимая равномерное распределение давления по окружности вала, получим значение силы P, с которой необходимо нагонять на М. затяжные кольца для передачи крутящего момента M_d, из ур-ия:

$$P=\frac{4M_d\,\mathrm{tg}\left(\frac{\alpha}{2}+\varrho\right)}{\mu\pi d},$$

где μ—коэф-т трения вала о стенки М., а

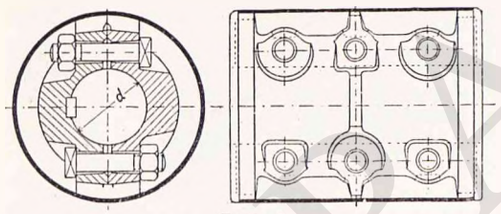


Фиг. 3.

ϱ — угол трения кольца о М. Принимая во внимание шероховатость поверхностей, $\mu=0{,}2$ (предполагая $\mu=0{,}2\div0{,}25$), $\varrho=11°18'$, $\frac{\alpha}{2}=2°\,52'$ (при конусности в 1:10), имеем:

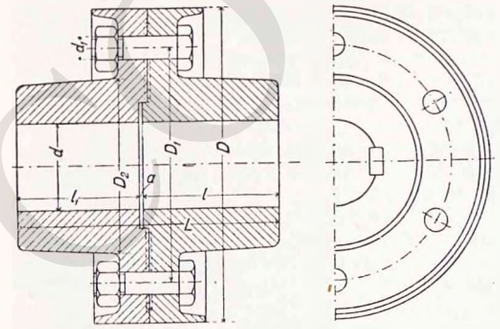
$$P=2{,}55\,\frac{M_d}{d}.$$

Размеры М. этого типа: $L=(3{,}3\div4)d$, $D=(2{,}5\div3{,}7)d$ (большие значения коэф-тов—



Фиг. 4.

для малых d). К неудобствам этих М. относится значительное усилие, необходимое для натяжки колец, к-рая производится поэтому обычно ударами молотов, вследствие чего

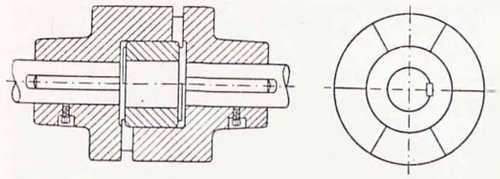


Фиг. 5.

легко возможно повреждение валов и подшипников. На том же принципе основана часто применяющаяся М. системы Селлерса (фиг. 3), в к-рой два разрезных конуса a и $б$ (один изображен на фиг. 3 отдельно) вжимаются тремя болтами в двухсторонюю конич. втулку $в$. Расчет нагрузки болтов P м. б. произведен по формуле (1); гайки болтов скрыты выступами М. Пользующаяся значительным распространением продольно-свертная М. изображена на фиг. 4: она состоит из двух половин, стягиваемых болтами; момент передается исключительно трением; для расчета необходимой силы натяжения болтов можно воспользоваться ф-лой:

$$P=\frac{M_d}{\mu\cdot\pi\cdot d\cdot n},$$

где P—усилие одного болта, а n—число болтов на одной стороне муфты. Следующий,

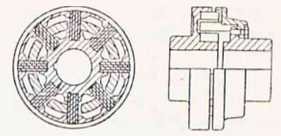


Фиг. 6.

также весьма распространенный тип—дисковая М.—изображен на фиг. 5; крутящий момент передается здесь также трением между обеими половинами М.; натяжение P каждого из n болтов, необходимое для получения достаточной силы трения, определяется из ф-лы:

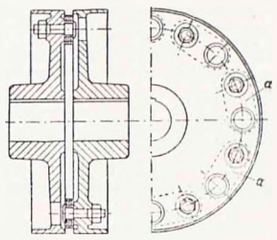
$$P=\frac{2M_d}{D_1\cdot\mu\cdot n},$$

где D_1—диам. по центрам болтов. Полная длина муфты $L=2{,}3d+(50\div60)$ *мм*; длины $l=0{,}5L+4$ *мм*, $l_1=0{,}5L-1$ *мм*, $a=1$ *мм*, диам. втулки $D_2=(1{,}2\div1{,}5)d$; зная диаметр болтов d_1, можно определить $D_1=D_2+3d_1$, $D=D_2+6{,}5d_1+(6\div10)$ *мм*. Толщину дисков делают равной $(1{,}25\div1{,}5)$ d_1, а ширину закраин — достаточной для закрытия головок болтов и гаек. Для правильности установки



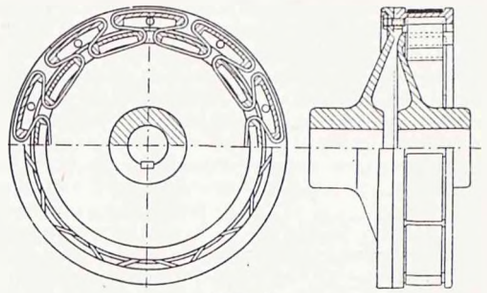
Фиг. 7.

М. снабжена на поверхности разъема центрующим выступом. Обычно обе половины М. запрессовывают на слегка уменьшенные по диам. (на 1—2 *мм*) концы валов и заготовляют шпонки, после чего торцовые поверхности обтачивают начисто на центрах вала. Недостатком этих М. является их трудно поддающееся разборке соединение с концами валов, т. ч. все насаживаемые на вал шкивы, зубчатые колеса и пр. д. б. свертными; по этой же причине при этих М. невозможно применение шарикоподшипников.



Фиг. 8.

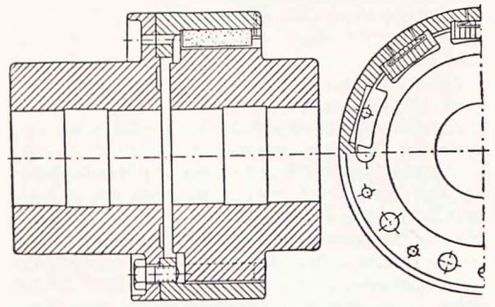
Подвижные муфты. На фиг. 6 изображена снабженная кулаками уравнительная, или расширительная, М., которая применяется при длинных трансмиссионных валах или при валах, укрепленных на подверженных значительным колебаниям темп-ры подставках, с целью выравнивания $t°$-ных удлинений валов и станин. Для центрирования валов внутри М. поставлено кольцо, пригнанное к внутренней поверхности кулаков обеих



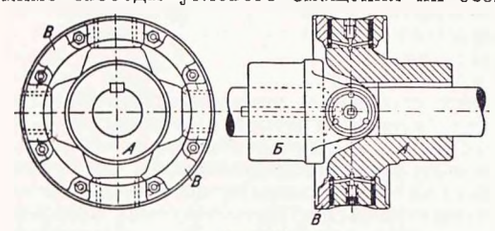
Фиг. 9.

половин М. В тех случаях, когда желательно смягчать толчки и удары при передаче движения от одного вала к другому, между ними располагают упругие, или эластичные, муфты. Типичные представители этого рода М. изображены на фиг. 7—10; в первой муфте упругим звеном являются кожаные пакеты или резиновые бруски, во второй—кожаные сережки a, a, в третьей—бесконеч-

ный ремень, обвивающий кулаки обеих половин М., в четвертой—прокладки из дерева, кожи, резины. В тяжелом машиностроении применяются специальные эластич. М., позволяющие передавать значительные крутящие моменты; примеры М. см. *Гидравлические двигатели*. В тех случаях, когда игра, вызываемая применением эластичных промежуточных звеньев, нежелательна, а валы тем не менее должны иметь нек-рую степень свободы установки, применяют карданные М., или М. Гука (теорию см. *Гука шарнир*). Выполнение М. Гука для трансмиссий показано на фиг. 11: на концах валов сидят крестовины *А* и *Б* с цапфами, соединенные свертным кольцом *В*. Широкое распространение М. Гука получили в автомобилестроении (см. *Карданные валы*) и станкостроении; в последнем применяют М. Гука упрощенного типа (фиг. 12)—т. н. шаровые шарниры. В тех случаях когда валы помимо свободы углового смещения их осей

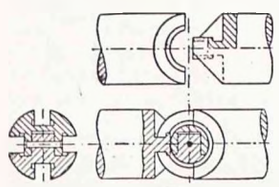


Фиг. 10.



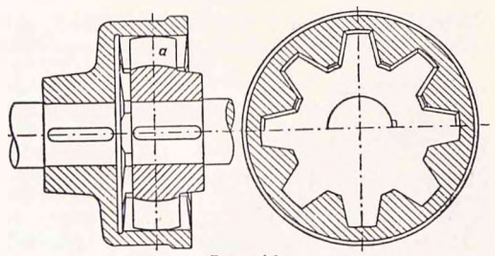
Фиг. 11.

должны обладать известной свободой аксиальных перемещений, применяют подвижные М. типа, изображенного на фиг. 13; основная трудность состоит в придании зубцам *а* такой формы, чтобы они при отклонении осей валов от одной прямой плотно прилегали по всей окружности к граням впадин в другой половине М. В тяжелом машиностроении этот тип муфты получил в последнее время довольно широкое распространение, в форме двойной зубчатой муфты (фиг. 14); внутренняя полость муфты наполняется маслом для смазки зубцов.



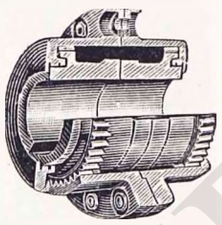
Фиг. 12.

В случае необходимости быстро разобщать и снова соединять валы применяют сцепные М.—кулачковые и фрикционные. Первые позволяют на ходу производить лишь разобщение валов (выключение М.), включению же препятствует получающийся при этом удар, ведущий если не к поломке М. или части трансмиссии, то во всяком случае к их



Фиг. 13.

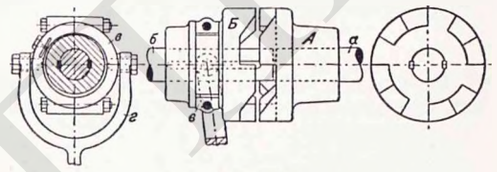
быстрой порче. Типичная сцепная М. для передачи движения всегда в одном направлении изображена на фиг. 15; одна половина муфты *А* насажена вглухую на конец вала *а*, тогда как вторая половина *Б* может перемещаться на шпонке по валу *б* при посредстве кольца *в*, соединенного с вилкой *г* переводного рычага. Иногда в сцепные муфты вводят упругие звенья для достижения возможности включения их во время хода (обычно тихого) валов; большого распространения однако такого рода муфты не получили.



Фиг. 14.

Чтобы возможно было включать валы на полном ходу без сильных толчков, необходимо, чтобы бывший неподвижным вал получал ускоренное вращение, пока его угловая скорость не сравняется со скоростью ведущего вала; это условие делает обязательным постепенно уменьшающееся проскальзывание обеих половин М. в момент включения, что является возможным лишь при условии отсутствия между ними постоянных элементов сцепления, к-рое м. б. осуществлено напр. при посредстве сил трения или электромагнитной индукции. Этим условиям удовлетворяют т. н. фрикционные М., или М. трения.

Рассмотрим процесс включения фрикционных М. Обозначим через U—окружное усилие в *кг* на радиусе r в *м* (фиг. 16), ε—угловое ускорение включаемого вала и I—момент инерции включаемого вала и связанных с ним масс. Полагая силу трения μP постоянной (фиг. 17, А), имеем:



Фиг. 15.

$$\varepsilon = \frac{M}{I} = \frac{U \cdot r}{I} = \frac{\mu \cdot P \cdot r}{I} = \text{Const},$$

т. е. угловое ускорение при этом предположении постоянно (фиг. 17, Б). Угловая

скорость равномерно ускоренного движения имеет выражение

$$\omega = \varepsilon \cdot t = \frac{U \cdot r \cdot t}{I}.$$

По истечении времени T (фиг. 17, В) угловая скорость ω ведомого вала получит значение $\omega_0 = \frac{U \cdot r \cdot T}{I}$, отсюда $T = \frac{I \cdot \omega_0}{U \cdot r}$, где ω_0—угловая скорость ведущего вала. Во время включения работа, совершаемая ведущим концом вала, выразится произведением $U \cdot v \cdot t = U \cdot r \cdot \omega \cdot t$, а работа, получаемая ведомым концом вала за то же время, выразится след. обр.:

$$A = \frac{I \cdot \omega^2}{2} = \frac{I \cdot \varepsilon^2 \cdot t^2}{2}.$$

Разность работы, отдаваемой ведущим валом и получаемой ведомым, равна:

$$U \cdot r \cdot \omega_0 \cdot t - \frac{I \cdot \omega_0^2}{2}.$$

Эта работа является потерянной работой на трение (фиг. 17, Г).

За время T работа, затраченная ведущим валом, равна:

$$A_T = U \cdot r \cdot \omega_0 \cdot T,$$

в то время как работа, полученная ведомым валом, равна:

$$\frac{I \cdot \omega_0^2}{2} = \frac{I \cdot \varepsilon^2 \cdot T^2}{2} = \frac{U \cdot r \cdot T}{2\omega_0} \cdot \frac{\omega_0^2}{T^2} \cdot T^2 = \frac{U \cdot r \cdot \omega_0 \cdot T}{2}.$$

Из этого последнего выражения видно, что только одна половина затраченной работы идет на ускорение движения масс, другая же половина остается потерянной на трение. Вывод этот является общим и справедливым для произвольного изменения окружной силы U, как это видно из следующего рассуждения. Работа, затраченная ведущим концом вала,

$$A = \int_0^T U \cdot r \cdot \omega_0 \cdot dt;$$

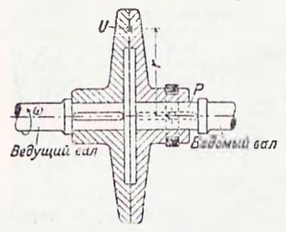
подставляя под интеграл выражения:

$$U = \frac{I \cdot \varepsilon}{r} \quad \text{и} \quad \varepsilon = \frac{d\omega}{dt},$$

получим:

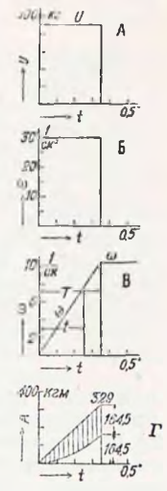
$$A = I\omega_0 \int_0^{\omega_0} d\omega = I \cdot \omega_0^2.$$

Работа же, полученная ведомым концом вала за время ускоренного движения, когда угловая скорость достигнет значения ω_0, выразится, как известно, значением: $\frac{I \cdot \omega_0^2}{2}$, что составляет половину затраченной работы.



Фиг. 16.

Общие соображения по проектированию фрикционных М. Для плавного включения трущиеся поверхности М. слегка смазывают; для повышения коэфта трения в качестве одного из трущихся элементов применяют: кожу, дерево, бумагу, пробку и т. д., чаще всего асбест в форме проволочно-асбестовых прокладок; асбест обладает еще и тем преимуществом, что исключает возможность сгорания трущихся частей. Выбор размера М. производится по величине $\frac{N}{n}$, где N—передаваемая мощность в Нр, а n—число об/м. вала. М., включаемые посредством пружин, надо признать более совершенными, чем те, где таких эластичных элементов нет, потому что при возможных перегрузках вала, а также при весьма неравномерной нагрузке они предохраняют от поломки соединяемые валы. Валы д. б. точно центрированы, а опоры размещены возможно ближе к М., для тяжелых же М. опоры размещают по бокам М. на одной общей раме. Замыкание М. может быть выполнено одним из следующих способов: посредством рычагов, пружин и винтовой передачи. Реже применяются центробежные и электрич. М. В качестве примера рассмотрим расчет конической фрикционной муфты (фиг. 18).



Фиг. 17.

Окружная сила на трущейся поверхности

$$U = \frac{M}{r}.$$

Из чертежа имеем:

$$U = 2N\mu.$$

Сила P, нужная для включения М., определяется из мн-ка сил:

$$\frac{P}{2} = N \sin\frac{a}{2} + \mu \cdot N \cos\frac{a}{2} = N\left(\sin\frac{a}{2} + \mu \cdot \cos\frac{a}{2}\right).$$

Подставив в выражение силы P значение нормальной силы нажатия $N = \frac{U}{2\mu}$, имеем:

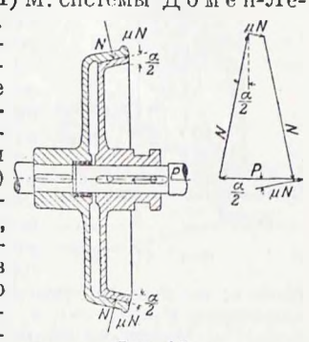
$$P = U \cdot \frac{\sin\frac{a}{2} + \mu\cos\frac{a}{2}}{\mu} = \frac{U}{\mu'},$$

где

$$\mu' = \frac{\mu}{\sin\frac{a}{2} + \mu\cos\frac{a}{2}};$$

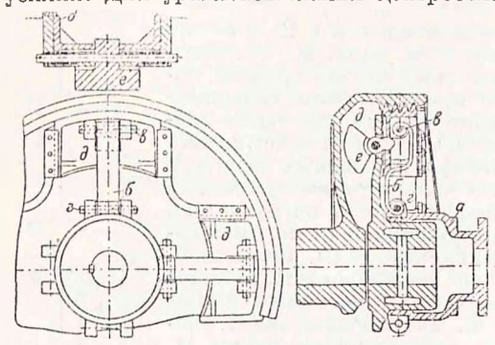
μ' возрастает с уменьшением $\frac{a}{2}$; угол $\frac{a}{2}$ берут в 10—15°.

Ниже приведено несколько конструкций фрикционных М. 1) М. системы Домен-Леблана (фиг. 19). Устройство муфты понятно из чертежа. Включение муфты производится передвижением при помощи рычага (отводки) и кольца, не показанных на фиг. 19, подвижной муфточки *а* влево; в результате этого S-образная пружина *б*, к-рая охватывает концами пальцы *в* и *г*, деформируется и передает силу нажатия на башмак *д*; рабочие поверхности башмака и второй части муфты снабжены канавками клинообразного сечения,

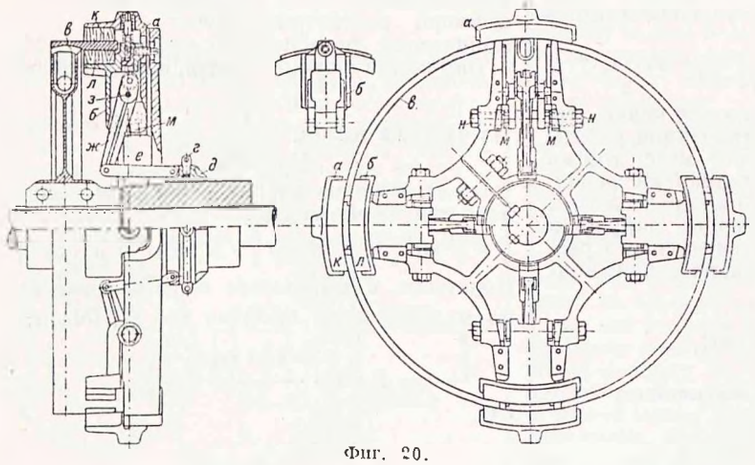


Фиг. 18.

что позволяет уменьшать силу нажатия на башмак для получения данного окружного усилия. Для уравновешивания центробежной силы башмака, к-рая развивается во время вращения вала, устроен противовес *е*. 2) М. Гилля (см. фиг. 20). Достоинством ее является устройство фрикционных колодок *а* и *б*, к-рое обеспечивает полное ра-

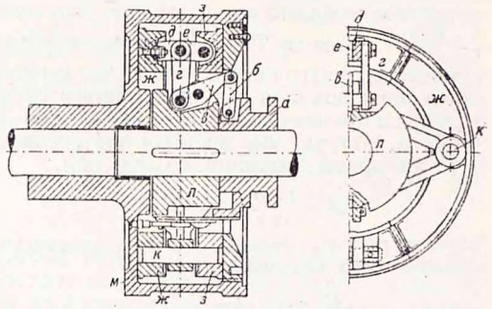


Фиг. 19.



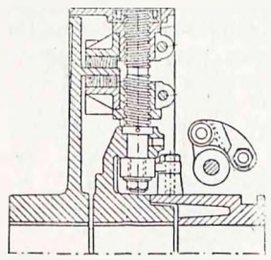
Фиг. 20.

венство нажима с обеих сторон фрикционного кольца *в*, вследствие чего последнее, не испытывая изгиба и давления в радиальном направлении, м. б. сделано весьма тонким. Достигнуто это тем, что обе колодки сделаны подвижными и могут перемещаться по направляющим в теле муфты: сцепление производится перемещением кольца *г*, ведущего за собой втулку *д* с укрепленными на ней одним концом сережками *е*; последние отклоняют рычаг *жс*, качающийся вокруг оси *з*, укрепленной в колодке *а*. Рычаг *жс* опирается сидящим на конце его роликом в стальную упорку в теле второй колодки *б* и сжимает таким образом обе колодки *а* и *б*, которые в свою очередь щеками *к* и *л* захватывают кольцо *в*. Для того чтобы обе колодки при выключении М. отходили от кольца *в*, хвостовые их части соединены сережками *м*, *м*, имеющими неподвижный относительно тела М. центр вращения вокруг болта *н*. На фиг. 21 представлена М. сист. Gnom, аналогичная по дейст-

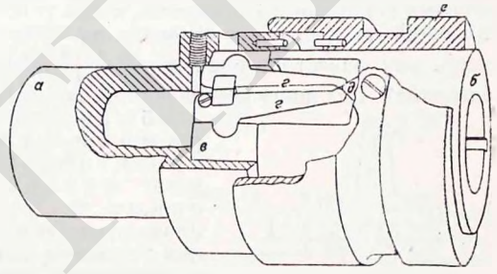


Фиг. 22.

вию с М. Гилля; включение М. производится поворотом винта с прямоугольной нарезкой левого и правого направления. 3) На фиг. 22 представлена М. системы Ломана; включение ее производится передвижением влево муфточки *а*, которая посредством серьги *б*, рычага *в*, серьги *г* и коленных рычагов *д* и *е* прижимает кольца *жс* и *з* к поверхностям трения М. Кольца *жс* и *з* могут свободно передвигаться по направляющему стержню *ж*, к-рый наглухо укреплен в крестовине муфты *л*, сидящей на правом валу, конец которого заложен в ступицу барабана *м*, посаженного на шпонке на конце левого вала. 4) В станкостроении часто применяют фрикционные М. упрощенного типа с разрезными прижимающими кольцами (фиг. 23); концы валов сидят на шпонках в половинах М. *а* и *б*; сидящее на половине М. *б* пружинящее кольцо *в*, имеющее в сжатом состоянии меньший



Фиг. 21.

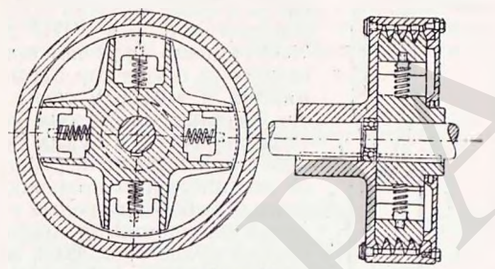


Фиг. 23.

диам., чем выточка в половине *а*, в к-рой оно вращается, м. б. расширено при помощи рычажков *г*, *г*, раздвигаемых клином *д*, сидящим в передвижной муфточке *е*.

На фиг. 24 изображена центробежная М. Центробежные силы, возникающие в колодках, возрастая с увеличением числа

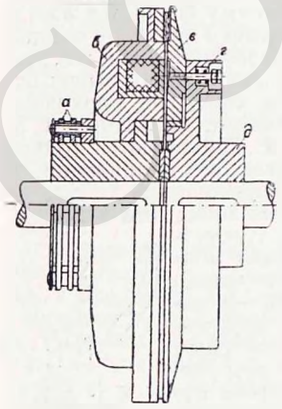
оборотов, сцепляют М. С уменьшением числа оборотов центробежные силы уменьшаются, и М. автоматически выключается. Подобные М. применяются напр. в тех случаях, когда необходимо разогнать двигатель без нагруз-



Фиг. 24.

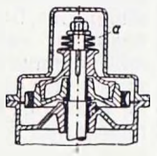
ки и включать последнюю лишь по достижении мотором определенной скорости.

На фиг. 25 показана электромагнитная М., включаемая электрич. током, подводимым через контактные кольца *а* к обмотке магнита *б*, притягивающего диск *в*, сидящий на правой части муфты *д*. При выключении тока диск *в* оттягивается пружинами *г* в свое первоначальное положение.



Фиг. 25.

В заключение отметим предохранительную М. (фиг. 26), получившую широкое распространение в поворотных кранах. Тарелчатые пружины *а* прижимают заклиненную на валу верхнюю часть М. к нижней, чем достигается возможность передачи движения от червячного колеса к вертикальному валу поворотного механизма. В периоды торможения крана и вообще в случае возникновения вращающих моментов бо́льших, чем те, на которые М. рассчитана, сила трения оказывается недостаточной, М. проворачивается и предохраняет этим червячную передачу от поломки.



Фиг. 26.

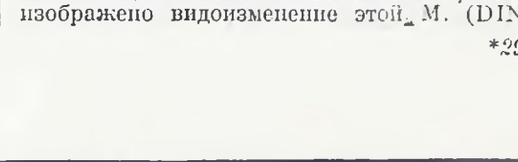
Лит.: Сидоров А. И., Курс деталей машин, М.—Л., 1926—27; Берлов М. Н., Детали машин, сокращ. руков. по расчету и проектированию, 2 изд., Москва, 1929; Бобарыков И. И., Детали машин, Часть общая, М.—Л., 1926; Часть спец., М.—Л., 1927; Bach C., Maschinenelemente, B. 1—2, Lpz., 1922—1924; Laudien K., Die Maschinenelemente, 4 Aufl., B. 1—2, Lpz., 1925—27; Rötscher F., Die Maschinenelemente, B. 2, B., 1929; Dubbel H., Taschenbuch f. d. Maschinenbau, 5 Aufl., B. 1—2, B., 1929; Jellinek S., Transmissionen, B., 1912; Ernst A., Ausrückbare Kupplungen für Wellen u. Räderwerke, Berlin, 1890; Klein L., Reibungsziffern für Holz u. Eisen, Forschungsarbeiten, H. 10, Berlin, 1903; Ohnesorge O., Die neue Kraftmaschinenkupplung d. Berlin-Anhaltischen Maschinenbau A. G., «Z. d. VDI», 1908, B. 52, p. 1030—1035.

С. Кочергин.

М. кабельные—приспособления для соединения двух концов кабеля, или для ответвления кабеля, или для ввода и вывода кабеля. Являясь в большинстве случаев наиболее уязвимой частью кабельной сети, М. представляет собою весьма ответственную часть кабельной линии.

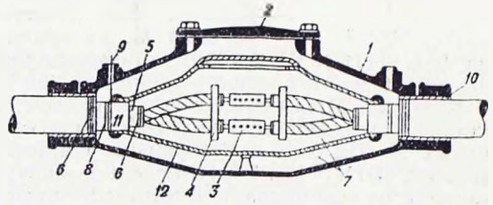
Классификация. По роду применения кабельные М. можно разделить на две основные группы: М. для кабелей сильного тока и М. для кабелей слабого тока. По своей ф-ии муфты разделяются на соединительные, ответвительные и концевые. М. для кабелей сильного тока кроме того распадаются на М. для низкого и среднего напряжения (примерно до 10 kV) и на М. для высокого напряжения. Последние М. можно также разделить на М. с твердой заливочной массой (компаундом) и на М. с жидкой заливочной массой. Для очень высоких напряжений применяются М. с расширительными резервуарами, М. запорные и полузапорные.

1. М. для кабелей сильного тока. В виду большой важности рационального выполнения М. для правильной эксплоатации кабельной сети, VDE (Союз германских электротехников) еще в 1925 году нормализировал М. для низкого и среднего напряжения (до 10 kV включительно).



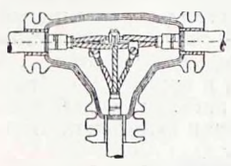
Фиг. 1.

В данный момент для этой группы М. и для случая прокладки кабеля непосредственно в земле нормы VDE являются наиболее разработанными. Они не только нормализируют конструкцию, но и дают подробную инструкцию для монтажа муфт [3]. На фиг. 1 изображена соединительная муфта для многожильных кабелей, с сечением каждой жилы до 400 *мм*² и для напряжений до 10 kV (DIN VDE 7601); обозначения: *1*—разъемный кожух М.; *2*—крышка М.; *3*—соединительный зажим (гильза) для соединения медных жил кабеля; *4*—изолирующие барьеры (мостики), обычно фарфоровые и служащие гл. обр. для предупреждения коротких замыканий при осадке М. в грунте; *5*—общая кольцевая изоляция кабеля; *6*—обвязка для крепления; *7*—твердая заливочная масса; *8*—заземление свинцовой оболочки кабеля; *9*—отверстия, служащие для вывода заземляющей проволоки; *10*—подушка для уплотнения (обычно просмоленная ткань); *11*—свинцовая оболочка кабеля. На фиг. 2 изображено видоизменение этой М. (DIN



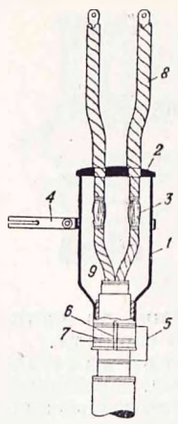
Фиг. 2.

VDE 7604 и 7605); существенное ее отличие от предыдущей заключается в свинцовой М. *12*, помещенной внутри чугунного кожуха *1*; остальные обозначения те же, что на фиг. 1. Такой тип М. применяется в тех случаях, когда имеется необходимость лучше обеспечить водонепроницаемость муфт, например в ответственных установках, в случае сомнений в полной надежности заливочной массы и т. п. Заливочная масса внутри свинцовой М. применяется как черная из *битуминозных изоляционных материалов* (см.), так и желтая, составленная из гарпиуса и минерального масла (примерно 80% гарпиуса и 20% масла). Как та, так и другая масса могут растворяться кабельной пропиточной массой, и, благодаря неизбежному наличию пустот в кабеле и явлению образования в кабеле внутреннего вакуума, заливочная масса может уходить внутрь кабеля, что влечет за собой вдавливание свинцовой муфты вплоть до соприкосновения с соединительными гильзами [1]. Средства борьбы с этим заключаются или в подмотке изоляции по соединительным гильзам или в употреблении М. америк. типа Conducell, отличительная особенность к-рой заключается в изолировочной трубке, надеваемой на все три жилы так, что они получаются изолированными друг от друга и от свинцовой оболочки [4]. Конструкция соединительной гильзы является, в особенности в высоковольтных М., очень ответственной частью. Она часто делается в виде медной или латунной гильзы с винтами для крепления к меди кабеля, причем после сборки соединения пропаиваются. В настоящее время от винтов отказываются вследствие невыполнения ими основной цели—повышения сопротивления на разрыв, и ограничиваются простой припайкой, что позволяет уменьшить вес и размеры гильзы. В англ. практике допускают в таких гильзах до 100 А на дм.^{2} поверхности контакта [5]. Нередко гильзы совершенно устраняются, но при этом медные проволоки жилы кабеля подрезаются по ступеням, заводятся в получающиеся промежутки от обреза проволок на второй жиле и пропаиваются [5, 6]. Пропайка соединений необходима не только для надежности контакта, но и для того чтобы затруднить проникновение заливочной массы внутрь кабеля. Тип ответвительной М. изображен на фиг. 3 (DIN VDE 7630) для сечения жилы до 120 мм^2 и для напряжения до 750 V.



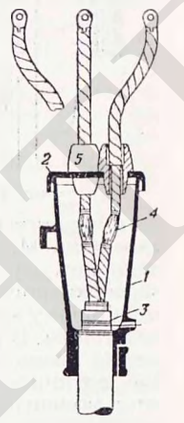
Фиг. 3.

Концевые М. выполняются или в виде т. н. концевых заделок или в виде собственно концевых М. На фиг. 4 изображена концевая заделка (DIN VDE 7694). Здесь: *1*—кожух заделки из освинцованной жести; *2*—крышка из изолирующего материала; *3*—проволоки медной жилы, разведенные для возможности проникновения между ними заливочной массы, чтобы воспрепятствовать вытеканию из кабеля пропиточной массы (надежнее тот же эффект м. б. достигнут припайкой оголенной жилы); *4*—скоба для крепления заделки к стене; *5*—заземление заделки и свинцовой оболочки кабеля; *6*—прорез в горле заделки для уплотнения; *7*—скрепляющий бандаж; *8*—выведенная жила кабеля, покрытая сверху лакированным полотном; *9*—заливочная твердая масса. Подобные заделки допускаются нормами VDE до 750 V, однако в русской практике они с успехом применяются и в 6 600 V сетях в тех случаях, когда они устанавливаются в сухих помещениях и не подвергаются механическим повреждениям. Для более тяжелых условий эксплоатации применяются концевые муфты, изображенные на фиг. 5 (DIN VDE 7692). Здесь кожух *1* и крышка *2* делаются чугунными, заземление *3* свинцовой оболочки кабеля выводится так же, как и в соединительных М., вывод жил и разделка *4* проволок медной жилы делаются так же, как в концевых заделках, описанных выше; однако М. должна быть снабжена проходными, обычно фарфоровыми, изоляторами *5*.

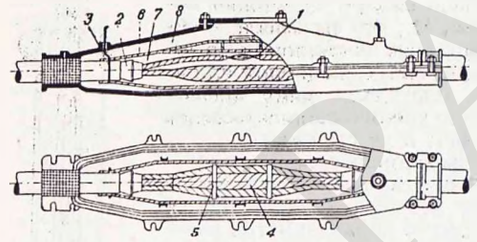


Фиг. 4.

Описанные типы М. применяются только для сравнительно невысоких напряжений, и нормами VDE они нормированы только до 10 kV рабочего напряжения. Для более высоких напряжений требуется уже более сложная конструкция М., и значительно усложняется монтаж. В таких М. стараются избегать применения заливки твердым компаундом, т. к. в нем легко могут образовываться пустоты. Как предел употребления муфт с твердым компаундом можно указать на 60 kV кабельное кольцо вокруг Парижа (тремя одножильными кабелями, 34,6 kV между проводом и свинцовой оболочкой); однако же эксплоатация этих муфт оказалась не вполне удачной. Возможность образования в твердом компаунде пустот (каверн) и неизбежность при этой заливке устройства барьеров, вносящих благодаря различию диэлектрич. постоянных неправильности в распределении электрической напряженности внутри М., заставляют уже с 20 kV, а иногда и значительно ниже, применять М. с подмоткой изоляции. Типов таких М. существует очень много; как пример, на фиг. 6 изображена муфта берлинской 30 kV сети Акц. об-ва BEWAG. Здесь: *1*—зачищенная уступами (как правило при такого рода зачистке последние слои бумаги срываются от руки, но не подрезаются ножом, чтобы не ослабить изоляции) заводская изоляция, к-рая затем вместе с соединительной гильзой обматывается пропитанной кабельной бумагой (в других М. заводская изоляция часто зачищается на конус, что по мнению нек-рых специалистов удобнее для последующей ручной обмотки; обмотки кембриком следует избегать в тех случаях, когда $t°$ заливочной массы выше 100°); обмотка делается всегда до диаметра, значительно превышающего диаметр изолированной жилы; *2*—электростатич. экран, часто заменяемый простым отгибом свинцовой оболочки; *3*—заземление свинцовой оболочки кабеля;



Фиг. 5.

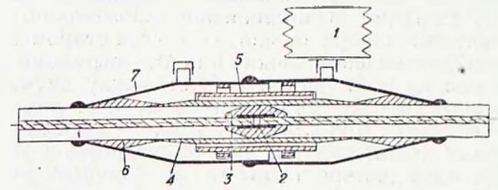


Фиг. 6.

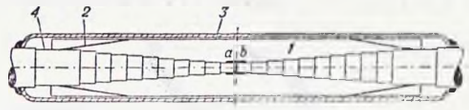
4—собранные и изолированные три жилы кабеля, стянутые бандажами *5*; *6*—свинцовая М.; *7*—желтая мягкая заливочная масса; *8*—твердая заливочная масса. В противоположность М. для низкого напряжения такие М. заливаются обычной кабельной пропиточной массой. В высоковольтных М. чрезвычайно важно полное удаление из М. влажности; обычной сушки М. здесь уже недостаточно, и они должны сушиться и наполняться под вакуумом, что выполняется специальными переносными вакуумными насосами.

Затруднения, возникающие в М. с подмоткой: легкое возникновение тангенциальных напряжений в изоляции М., трудность получения вполне надежной ручной обмотки, вытекание заливочной массы из М. в кабель, получающееся вследствие термич. сокращений и расширений пропиточной массы кабеля, а также от возникновения вакуума внутри *кабеля* (см.). Влияние тангенциальной напряженности выражается тем, что в неправильно сконструированной М. получаются пробои с соединительной гильзы на свинцовую оболочку кабеля. Единственное средство борьбы с этим недостатком заключается в правильной конструкции муфты, которая путем рационального экранирования и целесообразно устроенных деталей муфты исключала бы возможность возникновения тангенциальных напряжений. Теория муфты в настоящий момент только еще начала возникать [2, 7, 8, 9]. Для борьбы с недостатками ручной обмотки, во-первых, всегда увеличивают толщину этой обмотки по сравнению с заводской изоляцией жил, а во-вторых, делаются попытки заменить ручную обмотку машинной [10]. Вытекание заливочной массы в кабель вызвало развитие особого типа М. с расширительными резервуарами (т. н. подпитка), позволяющими автоматически восполнить недостаток массы в М. или воспринять ее в резервуар при расширении массы в кабеле и М. Первый исторически возникший тип такой М.—это М. 66 kV кабельной сети в Кливленде (С. Америка), проложенной тремя одножильными кабелями (38 kV между жилой и свинцовой оболочкой). Она изображена схематически на фиг. 7. Здесь: *1*—расширительный резервуар с массой, имеющей тот же состав, как и пропиточная масса кабеля (в данном случае тестообразная консистенция); резервуар может расширяться и сжиматься в зависимости от сокращения и разжижения массы в кабеле; *2*—латунная гильза; *3*—полая латунная коробка, входящая в предварительно вырезанную особым образом заводскую изоляцию кабеля и заполняемая после сборки припоем; *4*—подмотка пропитанной бумагой толщиной в 19 *мм*; *5*—бумажная прошеллаченная трубка; *6*—обмотка из пропитанной хл.-бум. пряжи; 7—латунное тело муфты, припаянное к свинцовой оболочке кабеля. Этот тип муфты имел значительный успех и нашел применение и при более низких напряжениях, причем благодаря подпитке удавалось переводить существующую кабельную сеть на более высокое напряжение.

Идея применения дополнительных резервуаров к М. сделала возможным развитие 132 kV кабеля Пирелли. Эти кабельные линии помимо обычных соединительных и концевых М. потребовали создания особых «запорных» М., не допускающих перехода жидкой пропиточной массы из одной секции кабеля в другую. Эти запорные М., обладающие довольно сложной конструкцией, необходимо ставить при кабеле системы Пирелли через известные промежутки (секции); длина этих промежутков определяется расчетом так, чтобы падение давления масла в конце каждой секции не превышало известной величины, обусловливающей возможность образования в изоляции вакуума. Нормальная соединительная М. этого кабеля по существу мало отличается от других экранированных высоковольтных М. с подмоткой изоляции для одножильных кабелей. На фиг. 8 изображена соединительная М. для 132 kV кабеля, предложенная Д. Симпсом [11]. Ее особенность заключается в том, что вся подмотка *1* делается из одного листа пропитанной бумаги, имеющего форму, указанную на фиг. 9, и накладываемого специальной машинкой. Обмотка начинается с края *ab*, причем выступы по линиям *ac* и *bd* подрезаются обмоточной машинкой во время обмотки. В точках *c* и *d* листа бумаги накладывается оловянная фольга, показанная на фиг. 9 площадью *cghdfe*. В результате обмотки таким листом бумаги М. получает конусообразный экран *2* (фиг. 8). Вся поверхность *3* обмотки также получается экрани-

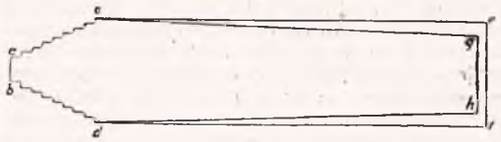


Фиг. 7.



Фиг. 8.

рованной благодаря фольге, находящейся на площади *fhgc*. Поверхность *4* также предварительно металлизируется. Лист бумаги на фиг. 9 показан не в масштабе; в действительности лист имеет около 50 *м* длины и 82,5 *см* ширины; вся муфта имеет 1 *м* длины и ⌀ 12,5 *см*. Этот же принцип обмотки бумагой с наложенной фольгой предложен Симонсом и для концевых заделок при испытаниях кабелей высоким напряжением, при-

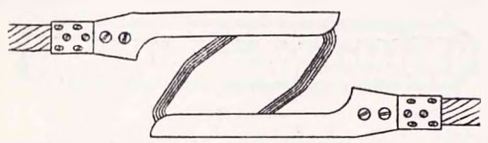


Фиг. 9.

чем фольга после обмотки дает форму кольца с круговым сечением, примыкающего к металлизированной заводской изоляции.

В нормальных соединительных М. кабеля Пирелли масло может проходить из одного соединяемого конца кабеля в другой по каналу внутри медной жилы. С одной стороны, это вызывает возникновение значительного давления внутри кабеля, а с другой стороны, при повреждении кабеля или М.—вытекание масла из всей секции кабеля между двумя запорными М. Чтобы избежать этих недостатков, Б. Шеклин и В. Шилс [12] предложили новый тип так наз. полузапорной М. Их идея состоит в том, что М. получает дополнительные резервуары и пробковые прокладки (полузаворы) в горлах М., причем давление в резервуарах регулируется так, что по обеим сторонам полузаворов получаются почти одинаковые давления. Этим, с одной стороны, избегается чрезмерное увеличение давления, а с другой—устраняется опасность вытекания масла из кабеля при повреждениях М.

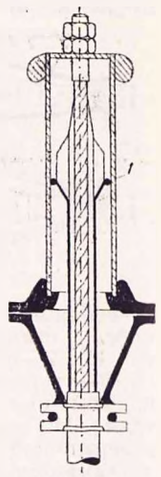
Для кабелей, прокладываемых в неустойчивой почве, подверженной оседаниям или смещениям, применяются расширительные М. В основных деталях они не отличаются от обычных М. за исключением соединителей для медных жил. Конструкция таких соединителей в развернутом виде показана на фиг. 10. Эти соединители в монтирован-



Фиг. 10.

ном виде помещаются для предупреждения коротких замыканий в изолирующую трубку, имеющую внутри деталь из изолирующего материала, разделяющую соединители нескольких жил. Такие М. с успехом употребляют до 25 kV рабочего напряжения.

Концевые М. для высоковольтных кабелей в общем более просты. Т. к. в настоящее время для напряжений от 25 kV и выше употребляются почти исключительно H-кабели или SL-кабели, т. е. электрически экранированные кабели, то обычно металлизированная жила вводится во внутрь изолятора М., фарфорового или из бакелизированной бумаги, причем внутри изолятора металлизация переходит на защитное кольцо. Схема такого устройства [6] показана на фиг. 11 (защитное кольцо *1* для ясности показано значительно выше, чем это делается на самом деле). В прежних конструкциях муфт металлизация кончалась внутри чугунного кожуха М., что вызывало необходимость постановки на каждую жилу защитной воронки, благодаря чему чрезвычайно увеличивались размеры муфты и ее стоимость.

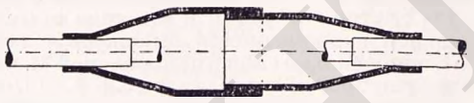


Фиг. 11.

Высоковольтные М. подвергаются типовым испытаниям. Эти испытания заключаются в снятии характеристик зависимости потерь от напряжения (кривые ионизации) и характеристик зависимости времени стояния М. под напряжением до пробоя от величины приложенного напряжения. При хорошо сконструированной и смонтированной М. большинство пробоев при этих испытаниях должно получаться в кабелях, а не в М., предполагая конечно, что М. смонтирована вместе с соответствующим ей кабелем.

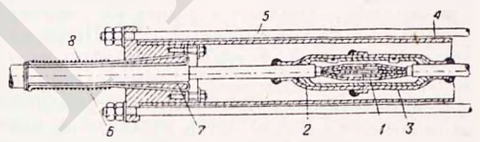
О заливочной массе для муфт низкого и среднего напряжения см. *Битуминозные изоляционные материалы*, а также [1].

2. М. для кабелей слабого тока. Кабели слабого тока имеют чрезвычайно чувствительную к влажности изоляцию (за исключением тех кабелей, изоляция которых не отличается от изоляции силовых кабелей); поэтому при соединениях и выводах



Фиг. 12.

этих кабелей почти всегда употребляется свинцовая М., хотя чугунные М. без свинцовой М. также находят применение. Если кабель бронирован, то поверх свинцовой М. ставится чугунная, конструкция к-рой в существенном не отличается от конструкции чугунной М. для силового кабеля. Типичная форма свинцовой М. для телефонного кабеля дана на фиг. 12. Эта М. состоит из двух частей, спаиваемых вместе после мон-



Фиг. 13.

тажа соединений; кроме того она припаивается к свинцовой оболочке кабеля. На фиг. 13 показана муфта фирмы Фельтен и Гильом (Германия) для подводного телефонного кабеля. Конструкция наружного кожуха этой М. является типичной и для под-

водных силовых кабелей. На этой фиг. обозначено: *1*—соединенные жилы кабеля, причем соединения выполняются гильзочкой или скруткой, поверх которой имеется бумажная трубка; *2*—бронзовая М.; *3*—свинцовая М.; *4*—внешняя железная М.; *5*—стягивающие болты; *6*—проволоки брони кабеля, загнутые через конус *7* и связанные бандажами *8*. В последнее время в подводные пупинизированные кабели соединительные М. вместе с катушками для пупинизации ставятся непосредственно на заводе, причем кабель бронируется вместе с М. так, что на месте прокладки монтаж М. становится необходимым только через очень большие промежутки. В качестве концевых М. употребляют так наз. перчатки, т. е. свинцовые М., имеющие иногда сравнительно большое число ответвлений и напоминающие формой перчатку. Чугунные М. для этой цели также находят применение.

М. телефонных кабелей обычно заливаются специальной массой, состоящей из смеси церезина, парафина и других воскообразных веществ. При свинцовых М. эта заливка считается не всегда обязательной. Ящики с катушками для пупинизации международных кабелей изготовляются вместе с прилитыми к ним чугунными соединительными М.

Лит.: [1]) Флоренский П. А. и Максоров Б. В., «Вестник теоретической и экспериментальной электротехники», М., 1929, *1*, стр. 17; [2]) Пороховской П. С., «Электричество», М., 1929, *5—6*, стр. 123; [3]) DIN, Taschenbuch 8, Normen d. Elektrotechnik f. Installationsmaterial, Kabel, Freileitungen, B., 1927, p. 14; [4]) Watson C. G., The Art a. Craft of Cable Jointing, L., 1927; [5]) Pyne P. a. Allen N., Electrical Transmission a. Distribution, v. 2, Power Cables, L., 1929; [6]) Birnbaum, «ETZ», 1929, H. 52, p. 1869; [7]) Loebner F., «Archiv f. Elektrotechnik», B., 1926, B. 17, H. 2, p. 152; [8]) Petersen T. F., «Journal of the American Institut of Electrical Engineers», N. Y., 1927, v. 46, *6*, p. 559; [9]) Petersen T. F., ibid. *11*, p. 1274; [10]) Simons M., ibid., *3*, p. 252; [11]) Simons M., ibid., *5*, p. 497; [12]) Shanklin G. B. a. Sheals V. A., «Electrical World», New York, 1929, v. 93, p. 97.—Laurenc a. Gripper, «Electrical Review», London, 1930, p. 584; Vogel W., «Felten und Guilleaume Carlswerk Rundschau», Köln-Mülheim, 1930, H. 7; см. также *Кабель*.

В. Лебедев.

МУШМУЛА (Mespilus germanica), обычно кустарник, иногда небольшое деревцо до 3 *м*. Разводится как декоративное и плодовое дерево на юге СССР, употребляется также для живых изгородей. М. дико произрастает на Кавказе и в Крыму, родина ее—повидимому Персия. Хорошо возобновляется корневыми отпрысками. Плоды М. съедобны. Древесина с красноватым ядром, плотная и тяжелая, об. вес 0,8.

Лит.: см. *Можжевельник*.

МЫЛОВАРЕНИЕ. Мыловаренная промышленность создалась лишь в 19 в.; ее возникновению способствовал ряд обстоятельств: развитие химии жиров (работы Шеврёля, 1813 г.), создание производства соды по способу Леблана (1820 г.), появление на европ. рынке колониальных тропич. жиров (кокосовое и пальмовое масло). Следующие данные показывают мировое производство мыла в 1910 г. (в тыс. *т*):

США	1 018	Италия	190
Германия	655	Испания	81
Англия	364	Бельгия	49
Япония	319	Швеция	37
Франция	311	Швейцария	24
Австро-Венгрия	213	Норвегия	12
Россия	197	Румыния	11

В 1915 году Германия производила [1]: 250 000 *т* ядрового мыла, 150 000 *т* жидкого мыла и 100 000 *т* мыльного порошка; в 1926 г.—600 000 *т*, из к-рых 45% приходилось на ядровое мыло, 45% на мыльный порошок и жидкое мыло и 10% на туалетное мыло. Потребление мыла различными странами на 1927 г. показывают следующие цифры (в *кг* на 1 чел. в год) [2]:

Англия	9	Германия	5,5
США	9	Италия	4,0
Франция	6	СССР	1,1

Для характеристики мыловаренной промышленности в СССР с точки зрения потребления жировых материалов ниже приведены данные, относящиеся к довоенному потреблению технич. жиров жировой промышленностью (мыловаренной и стеариновой) и к советскому—за 1927 г. [3].

Табл. 1.—Потребление технических жиров и материалов мыловаренной промышленностью в СССР в довоенное время и в 1926/27 г.

Жиры и материалы	Довоенное		В 1926/27 г.	
	Колич. в *т*	В % к итогу	Колич. в *т*	В % к итогу
Внутрен. сырье				
Растит. масла	37 674	22,2	72 101	86,2
Животн. жиры	30 303	17,9	8 011	9,6
Мылонафт.	—	—	1 401	1,6
Импортн. сырье				
Кокосовое масло	40 950	24,1	1 595	1,9
Животные жиры	49 140	29,0	—	—
Гарпиус	11 461	6,8	521	0,7
Итого	169 528	100,0	83 632	100,0

Из 169 528 *т* довоенного потребления, приходившихся на довоенную Россию, включая Польшу и прибалтийские страны, за вычетом ок. 35 000 *т* для стеариновой промышленности, на мыловарение расходовалось 134 528 *т*; в СССР из 83 632 *т* технических жиров, за вычетом 5 000 *т* для свечной промышленности—78 632 *т*. Производство в СССР хозяйственного мыла в 1927/28 году достигало 180 000 *т*, туалетного мыла 16 200 тысяч дюжин.

Физические и химические свойства мыла. Мылами вообще называются соли высших жирных кислот. Под мылом, употребляемым для мытья загрязненных тканей, волокнистых веществ и человеческого тела, понимают растворимые в воде соли жирных к-т, обладающие в водных растворах способностью смывать загрязнения, а при встряхивании пениться. Этими свойствами обладают натриевые, калиевые и аммонийные соли высших жирных к-т (содержащих не менее 8 атомов углерода). На основании работ Лейдёрфера, М. С. Бэна (M. C. Bain), Жигмонди и М. Фишера установлено, что мыла принадлежат к коллоидным электролитам. Свойства *коллоидов* (см.) проявляются у них в том, что они содержат ультрамикроны, показывают конус Тиндаля, обладают способностью коагулировать от действия электролитов и т. д.; как *электролиты* (см.) они обнаруживают электропроводность в водных

растворах. Безводные мыла гигроскопичны (калийные в большей степени, чем натровые); при этом соли ненасыщенных кислот поглощают больше влаги, чем соли насыщенных к-т. Следующие данные характеризуют гигроскопичность солей жирных кислот во влажном воздухе. 100 частей вещества поглощают частей воды:

Сухой олеиновокислый калий	162	Сухой олеиновокислый натрий	12
Пальмитиновокислый калий	55	Сухой пальмитиновокислый натрий	8
Стеариновокислый калий	30	Сухой стеариновокислый натрий	7,5

При растворении в воде мыла́ отчасти гидролизуются, причем образуют кислые соли жирных к-т и свободную щелочь; поэтому мыльные растворы показывают щелочную реакцию.

Щелочные соли жирных кислот. Щелочные соли твердых жирных кислот (стеариновой, пальмитиновой) не растворяются полностью в холодной воде; вследствие гидролиза их в присутствии избытка воды в раствор переходит щелочь, в то время как кислая соль остается нерастворенной; в горячей воде кислая соль стеариновой кислоты растворяется; соли олеиновой к-ты и других жидких к-т полностью растворяются в воде комнатной темп-ры. Моющее действие мыл из твердых к-т обнаруживается лишь в горячей воде; поэтому в состав мыла, употребляемого в повседневном обиходе, должны входить не только твердые, но и жидкие к-ты. При охлаждении разбавленных прозрачных мыльных растворов выделяются в небольшом количестве (1—2%) кислые соли (соответственные комплексы из мыла и жирной кислоты); обычно выделение их происходит при $t°$, лежащей ниже $t°_{пл.}$ соответствующей жирной к-ты, что видно из следующих данных:

	$t°_{выд.}$ кислой соли	$t°_{пл.}$ жирной кислоты	Разность $t°_{выд.} - t°_{пл.}$
Натриевая соль стеариновой к-ты	60°	69,2°	9,2°
Натриевая соль пальмитиновой к-ты	45°	62,0°	17,0°
Натриевая соль лауриновой к-ты	11°	43,6°	32,6°

Крафт называет это явление кристаллизацией мыл. Конц. растворы мыла (мыльный клей) при охлаждении застывают в студень, причем это затвердевание происходит при $t°$, близкой к $t°_{пл.}$ жирных к-т, входящих в состав мыла. Из практики известно, что стеариновокислый натрий мало изменяется в присутствии 10 ч. воды, в то время как олеиновокислый натрий растворяется в 10 ч. воды и образует студень с 2 ч. воды. В спирте мыла дают настоящие растворы, к-рые слабо проводят электрич. ток. Калиевые мыла из касторового, кокосового и пальмоядерного масел легко растворяются в спирте, в то время как мыло, приготовленное из стеариновой к-ты, в спирте плохо растворимо. В углеводородах и эфире плохо растворяются нейтральные мыла и гораздо лучше — кислые. Гидролиз водных мыльных растворов весьма незначителен: концентрация OH'-ионов, которую можно определить при помощи электрометрических измерений, лежит в пределах $^1/_{3\,000}\,n \div {}^1/_{300}\,n$ (здесь n—общая концентрация молекул мыла); прибавка стеарина препятствует гидролизу, так что высокомолекулярные жирные кислоты, содержащие 40% спирта, м. б. оттитрованы в присутствии фенолфталеина. На свойстве кислых мыл растворяться в бензине основано изготовление мыла для выведения пятен. При прибавлении какой-либо натриевой соли к калийному или аммиачному мылу происходит частичный обмен металлов, в результате чего высоленное мыло содержит соли натрия. Путем повторных высаливаний калийные и аммиачные мыла можно перевести в натровые. Вязкость мыльного раствора от прибавления электролитов сначала понижается, достигая определенного минимума, а затем сильно повышается; после этого наступает желатинирование, и при дальнейшем прибавлении электролита (и при определенной концентрации) наступает разделение мыльного раствора на две фазы: свободный от мыла подмыльный щелок и коагулированные соли жирных к-т, к-рые после дальнейшего нагревания и отстаивания от электролита образуют т. н. ядро.

Моющее действие мыла. Старая теория Берцелиуса, объяснявшая моющее действие мыла его гидролитическим расщеплением, в настоящее время совершенно оставлена, т. к. экспериментально установлено, что, во-первых, при гидролизе мыла в водных растворах образуется лишь ничтожное количество свободной щелочи, и, во-вторых, что одни основания и щелочные соли моющим эффектом не обладают. Моющее действие мыльных растворов обусловлено в значительной степени их коллоидными свойствами. Соли высокомолекулярных жирных кислот подобно другим коллоидам понижают поверхностное натяжение воды, чем облегчается смачивание загрязненной ткани и образование эмульсий с жирами и маслами. Для характеристики моющего действия мыла было предложено определять поверхностное натяжение мыльных растворов например сталагмометром Траубе (см. *Капиллярные явления* и *Поверхностное натяжение*). Кроме жировых загрязнений и белковых веществ мыла удаляются также и нежировые загрязнения—пыль, частицы сажи, окислы металлов, красящие вещества и т. д. Удаление твердых загрязнений объясняется, по Спрингу, тем, что образующиеся (при гидролизе солей жирных к-т) кислые соли обнаруживают по отношению к загрязнениям явление взаимной адсорбции, причем коллоидные частицы кислого мыла несут электрич. заряд, противоположный заряду грязи. По Пикерингу, моющая способность мыльных растворов обусловливается: 1) их способностью эмульгировать жиры и окружать жировые шарики защитным слоем, мешающим каплям жира соединяться; 2) понижением поверхностного натяжения на границе между жиром и водой; 3) соединением грязи с кислым мылом, образующимся при гидролизе. Для объяснения процесса моющего действия мыла предложен ряд физических, физико-химических и коллоидных теорий, однако полной ясности в этом вопросе достигнуть пока не удалось, т. к. этому препятствует сложность структуры мыльных растворов. Так, на основании работ М. Бэна, водный раствор мыла содержит: 1) нейтральные коллоидные частицы, 2) ионы-мицеллы, 3) молекулярнодиспергированное (не диссоциированное) мыло, 4) анионы жирных к-т и 5) щелочные катионы. Помимо солей жирных к-т моющими свойствами (в меньшей степени) обладают соли смоляных (канифоль) и нафтеновых к-т. Высокомолекулярные сульфоновые к-ты (средний мол. вес 350), получаемые сульфированием углеводородов нефти, и их соли проявляют высокие моющие свойства.

Сырье для М. Органическое сырье. Для изготовления моющих препаратов в виде солей жирных кислот практически годны все животные и растительные жиры; однако для изготовления определенных рыночных сортов мыла (ядрового, эшвегерского, зеленого жидкого мыла, мыльных порошков, спец. сортов текстильного мыла) пригодны лишь жиры определенных качеств. Наряду с растительными и животными жирами в современном М. играет большую роль канифоль; меньшее значение имеют щелочные отбросы нефтяной промышленности—нафтеновые мыла и к-ты. Во время войны 1914—18 гг. недостаток природных жиров и масел побудил научную и технич. мысль к изысканию способов искусственного приготовления жирных кислот путем окисления углеводородов нефти—минеральных масел и твердого парафина; эти синтетич. жирные к-ты в ближайшем будущем должны сыграть значительную роль в М., равно как и высокомолекулярные нефтяные сульфокислоты, известные под названием *контакта* (см.). На основании данных заграничной техники считают, что для получения твердых мыл, особенно ядровых, годятся только такие жиры и масла, к-рые содержат значительное количество насыщенных жирных к-т. К маслам, богатым ненасыщенными жирными к-тами, прибегают только тогда, когда они содержат гл. обр. олеиновую к-ту и лишь незначительное количество линолевой кислоты. Масла с большим содержанием линоленовой и клупанодоновой к-ты непригодны для приготовления твердых мыл; помимо их неблагоприятного влияния на консистенцию мыла натриевые соли этих к-т химически нестойки и под действием кислорода воздуха образуют темные, дурно пахнущие продукты, понижающие качество мыла.

Употребляемые при М. жиры делятся на два больших класса в зависимости от «электролитической чувствительности» их мыл: а) ядровые жиры и б) клеевые жиры. Мыла, получаемые из жиров первого класса, легко высаливаются; их предельный щелок (к-рый может служить характеристикой электролитич. чувствительности) имеет наименьшую концентрацию. Клеевые жиры дают мыла, к-рые высаливаются очень трудно и у которых предельный щелок обладает соответственно более высокой концентрацией. Важнейшими представителями клеевых жиров являются пальмоядерное масло и кокосовое масло. В табл. 2 дана концентрация предельных щелоков (натровых) при $t°_{кип.}$ для наиболее важных жиров и масел и соответственно концентрация раствора поваренной соли (концентрации в мыловаренной промышленности большей частью выражаются по удельному весу в °Bé).

Табл. 2.—Концентрации предельных щелоков для мыл из различных жиров (в °Bé).

Род масла (жира)	Натровый щелок	Раствор поваренной соли
Льняное	9	6
Соевое	8,5	6
Кукурузное	7	5
Хлопковое	8	5,5
Рапсовое	5,5	3,5
Арахидное (землян. орехов)	7,5	5,5
Оливковое (свежее)	7	6
Сульфированное оливковое (Sulfurolivenöl)	11	6
Касторовое	—	Насыщен.
Пальмовое	7,5	5
Пальмоядерное	19	16,5
Кокосовое	23	19
Свиной жир	8	6
Сало	7	5

В М. применяют следующее органическое сырье: говяжье, баранье и костяное сало, пальмовое масло, смалец, гидрированные жиры, конский жир, олеин со стеариновых фабрик, оливковое масло (особенно отбросы), масло земляных орехов. Кроме этих жиров для ядровых мыл применяются следующие масла: хлопковое, соевое, кукурузное, кунжутное (сезамовое) и буковое. Как клеевые жиры для варки ядрового мыла используются пальмоядерное и кокосовое масла. Для М. имеет большое значение осадок (соапсток), получающийся при рафинации сырых масел патровой щелочью; этот осадок состоит из мыла, к-рое обычно содержит большое количество нейтрального масла вместе с загрязнениями. Соапсток используется мыловаренной промышленностью без всякой переработки, или же, что гораздо лучше, его предварительно разлагают серной к-той; выделенные жирные к-ты, содержащие нейтральное масло, подвергают расщеплению до содержания 97% свободных к-т и затем дистиллируют; т. о. получают чистые жирные к-ты высокого качества. Для изготовления жидких мыл употребляют масла с более высоким иодным числом. Классич. сырьем для всех жидких мыл является льняное масло; кроме того применяются масла: конопляное, соевое, кукурузное, подсолнечное, маковое и хлопковое. Жиры морских животных также иногда применяются для варки жидких мыл. Касторовое и рапсовое масла представляют по сравнению с другими жирами ряд затруднений для М.: касторовое масло вследствие особых свойств солей рицинолевой к-ты дает чрезвычайно трудно высаливающееся мыло; рапсовое же масло благодаря большой электропроводности солей находящейся в нем эруковой к-ты мало пригодно для М.; оба эти масла могут употребляться только в смеси с другими маслами. Для туалетных мыл употребляются те же жиры, что и для ядровых, но по возможности чистые и без запаха; лучше всего пригодны говяжье и свиное сало, пальмовое и кокосовое масла. В последние годы для М. широко используются гидрированные жиры (см. *Гидрогенизация жиров*). Баранье сало

менее пригодно, т. к. при недостаточно тщательном приготовлении мыла оно сообщает отдушке свой запах.

Для мыловаренной промышленности СССР наибольшее значение имеют гидрированные жиры (с а л о м а с)—с добавкой к ним канифоли или солей нафтеновых к-т, т. н. м ы л ь н о г о с у р р о г а т а. Эта добавка вызывается тем, что одни гидрированные жиры дают плохо пенящееся, твердое, хрупкое и мало пластичное мыло. Для получения гидрированного жира в СССР применяют подсолнечное масло, хлопковое и (сравнительно редко для целей М.) конопляное и льняное масла, а также жиры морских животных. Для качества изготовляемого мыла очень важно иметь полностью гидрированный продукт, а не смесь высокогидрированного продукта с различными растительными маслами; так напр., гидрированное подсолнечное масло с титром ($t°_{заст.}$ жирных к-т) 40° имеет иодное число 65,1, а смесь гидрированного и негидрированного масел того же титра имеет иодное число 102. Для целей М. выработаны определенные (стандартные) нормы жиров. При титре 44—48° иодные числа гидрированных жиров различного происхождения д. б. следующие:

Хлопковое масло .	44—45	Коноплян. масло .	68—75
Подсолнечн. » .	65—76	Льняное » .	70—80

При варке мыла из гидрированных жиров к ним добавляют от 10 до 30% *канифоли* (см.), благодаря чему мыло лучше пенится, но, с другой стороны, увеличивается его способность растворяться в воде. Кроме того при большом содержании канифоли, вследствие сильного гидролиза солей абиетиновых к-т, на руках и ткани ощущается клейкость. На основании практич. соображений для каждого жира устанавливается определенная граница, до которой введение канифоли в жировые мыла экономически и технически целесообразно и за пределами которой понижается качество мыла и увеличивается его расходуемость.

Помимо канифоли в условиях развития М. в СССР имеет значение введение в жировые мыла *нафтеновых кислот* (см.) в виде их солей, получаемых как побочный продукт с нефтеочистных заводов. При действии электролитов на водные растворы солей нафтеновых к-т, со средним молекулярным весом 213—218, они очень трудно высаливаются и при гидролизе отщепляют меньшее количество свободной щелочи, чем жировые мыла; поэтому нафтеновые к-ты (определенных качеств) являются ценным материалом для М.; к их отрицательным свойствам нужно отнести специфич. неприятный запах. В твердые мыла можно вводить до 40% нафтеновых к-т. Обычно для мыловаренной промышленности с нефтеочистных з-дов Баку и др. районов поступают нафтеновые мыла, получаемые при очистке дистиллата, керосина и легкого соляpового масла, а в последнее время —главным образом предварительным выщелачиванием этих дистиллатов, под названием м ы л о н а ф т (мыла) и а с и д о л а (кислот).

М и н е р а л ь н о е с ы р ь е д л я М. Для нейтрализации жирных к-т и изготовления мыльных порошков применяется высокопроцентная к а л ь ц и н и р о в а н н а я с о д а, содержащая обыкновенно 98÷98,5% Na_2CO_3. По советскому стандарту, кальцинированная сода содержит 98% Na_2CO_3, 1% NaCl, 0,1% Na_2SO_4. Для варки мыла из нейтральных жиров применяется к а у с т и ч е с к а я с о д а (едкий натр, NaOH). По советскому стандарту, сода каустическая содержит 92÷93% NaOH, 4% Na_2CO_3, 3÷3,5% NaCl. За границей мыловаренные з-ды, находящиеся вблизи электрохимич. з-дов, иногда применяют электролитич. едкий натр, доставляемый в виде растворов. Для высших сортов туалетного мыла применяется NaOH специальной очистки в чешуйках. Е д к о е к а л и, KOH, в заграничной мыловаренной промышленности применяется в виде 50%-ного раствора, получаемого при помощи электролиза, и служит гл. обр. для приготовления жидких мыл; для повышения пенистости мыла KOH прибавляется иногда к туалетным мылам и к мылам для бритья. П о т а ш (углекислый калий, K_2CO_3) находит применение при изготовлении жидких мыл для омыления жирных к-т и в качестве наполнителя. П о в а р е н н а я с о л ь (хлористый натрий, NaCl) применяется гл. обр. при изготовлении ядровых мыл; сравнительно меньшее применение NaCl находит при изготовлении наливных мыл (преимущественно кокосовых). Употребляемая для целей М. поваренная соль не должна содержать значительного количества солей кальция, магния и железа, иногда используется также поваренная соль, образующаяся после нейтрализации подмыльного щелока при получении глицерина. С у л ь ф а т н а т р и я, Na_2SO_4, находит иногда применение (гл. обр. при недостатке соды) для наполнения мыльных порошков, в количестве 5÷10%. Употребляемый кристаллический продукт почти всегда содержит железо и д. б. освобожден от него обработкой раствором щелочи. От железа, в легко удаляемой форме закисного железа, избавляются продуванием воздуха или прибавлением хлорноватистого кальция. Сульфат натрия как средство для наполнения надо считать непригодным, т. к. уже при невысокой $t°$ он расплавляется в своей кристаллизационной воде; $t°_{пл.}$ понижается еще благодаря присутствию в мыльных порошках друг. солей, так что мыльные порошки, которые содержат Na_2SO_4, летом становятся влажными и негодными к употреблению. Х л о р и с т ы й к а л и й, KCl, как наполнитель для жидких мыл не должен содержать больших количеств солей магния, к-рые вредно отзываются на качестве мыла. Р а с т в о р и м о е с т е к л о, $Na_2Si_4O_9$ («вассерглас»), находит большое применение в качестве наполнителя для мыла и как примесь к мыльным порошкам. Т. к. растворение кускового продукта требует применения пара и специальной аппаратуры, то мыловаренные з-ды предпочитают покупать крепкие растворы (36—38° Bé) с содержанием ок. 26% SiO_2 и 6,5% Na_2O. Растворимое стекло перед внесением в мыло смешивают с 5—7,5% натрового щелока; без такого подщелачивания наполнение мыла не будет достаточно равномерным. Высокая концентрация щелочи и хлоридов отсаливает вассергласс. Растворимое стекло в СССР применяется исключительно при варке эшвегерского (мраморного) мыла — для повышения его твердости, для замедления усушки и для сообщения мылу стойкости по отношению к жесткой воде. При варке эшвегерского мыла без кокосового масла (что имеет место в СССР) количество растворимого стекла, вводимого в мыло, д. б. весьма ограничено—около 3% раствора крепостью 38° Bé. У л ь т р а м а р и н употребляется для подкраски мраморного мыла; он не должен обесцвечиваться от действия крепкой щелочи. К о л л о и д а л ь н ы е г л и н ы, природные глины типа бентонитовых (см. *Кил*) за последнее время применяются в большом количестве для наполнения дешевых мыл. В Германии для этой цели употреблялась глина «о с м о т о н»—каолин, очищенный электроосмотич. способом. В нек-рые специальные мыла вводятся также тальк и водный силикат магния.

Основные процессы мыловаренного производства и приготовление разных сортов мыла. К л е е в о е м ы л о—мыло, которое получается медленным или быстрым остыванием м ы л ь н о г о к л е я без нарушения его однородности. Процесс получения клеевых мыл крайне прост; здесь требуется только образующийся при омылении мыльный клей довести до нужной концентрации, т. е. упарить либо разбавить его водой для того, чтобы получить нужную концентрацию электролитов. Внесенные в раствор электролиты оказывают определенное влияние на вязкость мыльного раствора; смотря по роду употребленных жирных к-т, для достижения т. наз. о т в е р ж д а ю щ е г о д е й с т в и я нужна различная концентрация электролитов. Если эта концентрация недостаточна, то мыло не приобретает нужной твердости; если она превзойдена, мыло становится хрупким, т. е. происходит высаливание. Содержание электролитов в мыльном клее д. б. для данного сорта жира фиксировано в определенной концентрации. При употреблении ядровых жиров высаливание наступает при значительно более низкой концентрации; поэтому из разбавленного электролитами мыльного клея, содержащего только жирные к-ты сала или гидрированного жира, нельзя получить соответствующего качества клеевого мыла. Наоборот, мыла, содержащие т. н. к л е е в ы е ж и р ы (кокосовое и пальмоядерное масла), ведут себя иначе: вследствие высокой концентрации предельного щелока эти мыла могут поглощать большое количество электролитов и давать даже из разбавленных растворов очень твердые гели. Поэтому кокосовое и пальмоядерное масла являются сырьем для т. н. н а л и в н ы х клеевых мыл, к-рые при незначительном содержании жирных к-т могут удерживать большие количества воды. В особых случаях клеевые мыла готовятся так же, как и жидкие (см. ниже).

Я д р о в о е м ы л о, мыло, получаемое медленным или быстрым остыванием ядра, выделившегося из мыльного клея [27]. При получении ядрового мыла пользуются свойством мыльного клея коагулироваться в присутствии электролитов. Образующийся при этом гель («коагель»), как и все коагулированные коллоиды, адсорбирует часть электролита, использованного для высаливания. Чем выше мол. в. жирных к-т, тем высаливание требует меньше электролита. Предельная концентрация щелока в значительной мере зависит от имеющейся концентрации ионов электролита. Высаливающим образом сильнее всего действуют гидроокиси щелочных металлов, после них идут хлориды и наконец карбонаты; натриевые соли высаливают сильнее, чем калиевые. Различают ядровые мыла на подмыльном щелоке и мыла на клеевом осадке; первые содержат меньше воды и бо́льшие количества электролита, чем вторые. Так как мыла, осажденные из клея, или ш л и ф о в а н н ы е, вследствие меньшей адсорбции электролита являются более однородными и менее хрупкими, чем сваренные на щелоке, то они являются наиболее распространенными. По определению Союза германских мыловаров ядровыми мылами называются мыла из твердых и жидких жиров или жирных к-т (также и с прибавкой гарпиуса), получаемые процессом варки и выделяемые из раствора солью или солевым раствором (из щелока или клеевого осадка), технически чистые, с содержанием около 60% ангидридов к-т (включая и смоляные кислоты). В настоящее время бо́льшая часть ядровых мыл варится на клеевом осадке.

Ядровые мыла на клеевом осадке получаются прямым или косвенным путем. При прямом способе однородный мыльный раствор высаливается только частично; при косвенном—все высоленное мыло снова шлифуется водой. Ядровые же мыла за границей б. ч. варят с добавлением пальмоядерного или кокосового масла. Однако для ядрового мыла нежелательно прибавление таких жиров, к-рые состоят гл. обр. из трудно высаливаемых жирных к-т. На этом основании воздерживаются от варки ядрового мыла из чистых клеевых жиров (кокосового и пальмоядерного масел). Мыла из этих жиров для полного высаливания требуют огромного количества соли, так что получающееся ядровое мыло содержит мало воды и сильно насыщено адсорбированной солью, а потому хрупко и склонно к разламыванию. Кроме того возникает опасность, что при неполном высаливании произойдет большая потеря жира вследствие растворения солей низкомолекулярных жирных к-т в растворе соли. Такая же потеря возможна и при применении в значительном количестве нафтеновых к-т. Наконец при варке ядрового мыла возможна потеря жира из-за присутствия окисленных, жирных и смоляных кислот: щелочные соли этих кислот имеют повышенную растворимость в подмыльном щелоке. Употребительной смесью на клеевой осадок является смесь следующего состава: $^1/_3$ сала, костяного жира, отвержденной ворвани или отбеленного пальмового масла, $^1/_3$ пальмоядерного или кокосового масла и $^1/_3$ жидкого растительного масла. Для применения гарпиуса процентное содержание жидкого масла д. б. соответственно уменьшено. Желтые, не содержащие гарпиуса, мыла называют в о с к о в ы м и, б е л ы м и, л о щ е н о-б е л ы м и ядровыми мылами; мыла́, сваренные с 10—25% гарпиуса, называют о р а н ж е в ы м и

с к и м и, а содержащие 25% и более гарпуса—к а и н ф о л ь н ы м и ядровыми мылами.

Для варки мыла следует употреблять по возможности чистые жиры; поэтому б. ч. избирают косвенный путь варки. Щелок для варки жировой смеси не д. б. слишком концентрированным, т. к. он действует не только омыляюще, но и высаливающе; не следует переходить предельную концентрацию щелочи и должно следить, чтобы в начале варки образовалась хорошая эмульсия из жира и щелока. При варке клея не следует его сильно нагревать. Если омыление наступает медленно, то прекращают подачу пара или уменьшают огонь и при энергичном перемешивании дают реакции завершиться или же прибавляют в котел немного готового мыла. При работе на высокоплавких жирах и хлопковом масле образование эмульсии очень часто затруднено. Если применяют слишком концентр. щелок, то в готовом мыле остается частично неомыленный жир в виде сгустков; такие мыла при хранении горкнут и потеют. Чтобы придать мыльному клею бо́льшую текучесть, к нему прибавляют, как только закончится реакция, солевой раствор. С трудноомыляемыми жирами омыление производят, пользуясь щелоком крепостью ок. 10° Bé; сперва готовят молочную эмульсию из жировой смеси и щелока, затем прибавляют остальной щелок, пока из эмульсии не получится более прозрачный мыльный клей. Мыловар определяет, омылен ли весь жир или в котле остался значительный избыток щелочи, органолептическим путем: пробу содержимого котла берут на шпатель и после охлаждения пробуют их кончиком языка; если масса содержит еще много свободной щелочи, то она имеет б. или м. остро колющий вкус; в соответствии с этим мыловар говорит о слабом или сильном «щипе» мыла. Этот метод применяется до настоящего времени на самых больших з-дах наряду с индикаторной пробой. В качестве химич. индикатора служит фенолфталеин: проба мыла растворяется в равном количестве раствора фенолфталеина (0,1% в 98%-ном спирте); раствор должен окрашиваться в слабо розовый цвет. Не следует считать омыление законченным, если фенолфталеиновая проба окажется бесцветной. Если в производстве имеются трубопроводы для жира и щелока, целесообразно жир и щелок впускать в котел равномерно. Если концентрация щелока слишком велика, то мыло в котле находится не в гомогенном состоянии; тогда для получения однородного раствора следует прибавить воды. После наступления реакции можно прибавлять щелок более высокой концентрации. Нужное количество щелока определяется из числа омыления жира; на практике щелока берут несколько больше, чем это следует теоретически по числу омыления (избыток щелочи необходим для уменьшения гидролиза мыла). При отсутствии избытка щелочи после отсолки получается мыло, легко прогорькающее вследствие содержания кислых солей жирных кислот. Достаточным считается содержание 0,2—0,5% свободной щелочи. Омыление при помощи кальцинированной соды обходится дешевле, чем омыление едким натром. В этом случае смесь жиров для ядрового мыла подвергают предварительному расщеплению (гидролизу), так как сода способна образовывать мыло только с свободными жирными кислотами. В варочный котел вводят вычисленное количество соды, б. ч. в сухом виде, и смешивают с небольшим количеством воды, затем пропусканием пара доводят раствор до кипения и медленно вводят предварительно подогретые жирные к-ты. Паровой вентиль во время этой операции д. б. открыт, чтобы быстро удалять образующийся CO_2 и препятствовать сильному вспениванию массы. Предложен целый ряд устройств, которые должны облегчать выделение CO_2 (механическая мешалка, пропускание воздуха); чтобы сделать это выделение более легким (мыльный клей более подвижным) к содовому раствору прибавляют небольшие количества поваренной соли (3—5% от количества жира). На практике применяют несколько уменьшенные количества соды, чтобы в готовом фабрикате не получить слишком большого содержания углекислого натрия. Карбонатное омыление считается законченным, когда не образуется больше газовых пузырьков и проба мыла на шпателе располагается плоско. Тогда прибавляют натронный щелок, как обычно; затем мыло высаливают прибавлением поваренной соли в твердом виде или в растворе. Вязкость мыльного клея от прибавления солей уменьшается, и клей становится более жидким. Как только достигнута пограничная (близкая к предельной) концентрация щелока, мыло выделяется хлопьями; взятая из котла проба на шпателе показывает отделяющийся от мыла прозрачный нижний щелок. Загрязняющие и окрашивающие вещества, содержащиеся в мыльном клее, б. ч. удаляются высолкой. При помощи повторного растворения и высолки можно получать очень чистые мыла. Мыла из нечистых жиров варят с большим количеством воды. Их высаливают многократно до тех пор, пока мыло не получится достаточной чистоты. Высоленное ядро подвергают ш л и ф о в к е водой, при этом электролитная концентрация ядра уменьшается настолько, что образуется клеевой осадок. Электролитная концентрация должна лежать значительно ниже пограничной щелочной концентрации. Ядро прежде всего переводится водой в раствор, где и образует светлый мыльный клей («шлифуется»). До шлифовки находящееся в котле мыло представляет неравномерную зернистую массу, которая после шлифовки становится уже однородной. Концентрация электролита снова настолько повышается, что мыло высаливается только частично. В котле над клеевым осадком выделяется готовое мыло; его откачивают и переводят или в формы или же в холодильные машины для затвердевания. Затвердевшее мыло режут на резальных машинах. Нарезанные куски подвергаются поверхностному высушиванию в сушильных камерах и затем прессуются.

П о л у я д р о в ы е м ы л а. Эшвегерское (мраморное) мыло получается медленным остыванием всего мыльного клея с локализацией начавшегося во всей массе выделения ядра. Для получения эшвегерского мыла применяется смесь жиров, по своему характеру пригодных для изготовления ядрового и клеевого мыла. В нормальных сортах эшвегерского мыла содержание кокосового или пальмоядерного масел обычно колеблется между 25 и 50%. В мыловаренной промышленности СССР практиковалось получение эшвегерского мыла из гидрированных жиров в смеси с растительными маслами (главн. обр. подсолнечным) без добавления кокосового масла, что ограничивало возможность введения наполнителей и отражалось на специальных качествах мыла по отношению к жесткой воде. При изготовлении мраморного мыла характерный м р а м о р, получаемый обычно путем введения в мыло ультрамарина или других минеральных красок, обусловливается кристаллизацией ядровой фазы, в которой окрашивающие вещества не задерживаются и переходят в клеевую фазу; после перемешивания и последующего охлаждения эшвегерское мыло представляет собой две перемешанных пластических массы, из которых одна (клеевая фаза) окрашена минеральным красителем, а другая (ядровая фаза) имеет белый цвет. Введение наполнителей (поваренная соль, сода, растворимое стекло, поташ) ускоряет процесс образования фаз, типичных для этого сорта мыла, но для получения хорошего эшвегерского мыла количество наполнителей должно быть очень ограничено. Некоторые исследователи считают эшвегерское мыло эвтектической смесью ядрового и клеевого мыла. При варке эшвегерского мыла, помимо соответствующего качества жиров, правильного соотношения мыла и наполнителя и правильного выполнения процесса мраморизации в формах, решающую роль играет удержание в мыле определенного количества воды. Для получения мыла с нужным содержанием воды либо вводят воду в отсоленное мыло (т. н. шлифовка ядрового мыла) либо удаляют избыток воды из мыльного клея при помощи обработки его соляными растворами. Анализ доброкачественного довоенного эшвегерского мыла, сваренного из сала и кокосового масла, приведен в табл. 3.

Табл. 3.—А н а л и з м р а м о р н о г о м ы л а (в %).

№ образцов	Содержание чистого мыла	Общее количество щелочи в мыле	Количество свободной щелочи*
1	51,65	11,36	4,53
2	46,02	9,76	2,80
3	48,43	10,45	3,59

* Не связанной с жирными кислотами.

При изготовлении эшвегерского мыла отрицательными сторонами производства являются: 1) медленное застывание мыла в деревянных формах (15—21 день), 2) большое количество обрезков, достигающее 30—35%, 3) некоторые трудности, связанные с карбонатным омылением, и 4) необходимость иметь жиры, дающие белый фон мыла, что имеет особенное значение при варке мыла из жирных кислот, получаемых расщеплением жиров. Дальнейшим усовершенствованием этого производства в смысле ускорения и механизации процесса является, предложенное Пантюховым [4,5], введение т е р м о к а м е р взамен деревянных форм. Принцип работы с термокамерами заключается в следующем: сваренное мыло с введенным в него наполнителем в железных ящиках помещают в нагретую камеру (термокамера), где его выдерживают при $t°$ 85—95° в продолжение 18—24 часов. При выстаивании мыла в термокамере происходит образование мрамора. После этого мыло охлаждается обычным способом. Железные формы (термоформы), в которые заливается мыло, имеют размеры $128 \times 39 \times 200$ *см*. В одну термокамеру помещают 12 форм; суточная производительность такой камеры от 10 до 11 *т* мыла. Мыльный слой, соприкасающийся со стенками формы, до глубины 4 *мм* не содержит ультрамарина и по своему составу представляет высокопроцентное (до 87,2%) мыло. На основании сообщения Н. Пантюхова следует, что 1) мыло, полученное в термокамерах, имеет такой же характер, как и полученное в деревянных формах; 2) расход топлива при работе с термокамерами не увеличивается; 3) расход на рабочую силу снижается; 4) время застывания сокращается до 4—5 дней вместо обычных 15—21 дней; 5) количество обрезков уменьшается до 10—15% вместо обычных 30—35%. Какое мыло представляет лучший моющий материал, ядровое или эшвегерское—это вопрос весьма сложный. Ядровые мыла, содержащие 60—70% чистого мыла, являются более выгодными для потребителя, чем эшвегерские, содержащие 48—50% мыла; но вопрос о влиянии методов изготовления эшвегерского мыла на его качество изучен пока еще очень мало.

Ж и д к и е м ы л а. Жидкие мыла—желатинированный водный раствор клеевого мыла; они являются главным образом калийными мылами мазеобразной консистенции. Главным сырьем для них служат масла: льняное, соевое, хлопковое, земляного ореха, подсолнечное, мансовое, оливковое и ворвань. Жидкие мыла легче растворяются в воде, чем твердые натронные мыла, так как калийные соли жирных к-т легче растворимы, чем натриевые, и т. к. в составе исходных жиров преобладают жидкие жирные к-ты. Характерная консистенция этих мыл определяется помимо регулирования концентрации солей жирных кислот прибавлением точно установленного количества электролитов. В то время как свободный от излишка электролита горячий раствор клеевого мыла по охлаждении обнаруживает достаточную вязкость и тянется нитями, при прибавлении электролита наступает свертывание мыла, т. е. мыло при пробе на шпателе не тянется, а висит на нем короткими нитями. Для свертывания мыла в производстве применяют обычно поташ, к-рый растворяют в горячем щелоке. Различают п р о з р а ч н ы е жидкие мыла, с е р е б р я н ы е мыла, м я г к и е м ы л а, жидкие мыла для домашнего хозяйства, для текстильных и медицинских целей. Кроме калийных мыл нормального состава для текстильных целей вырабатывают так называемые э к о н о м и ч е с к и е м ы л а, которые преимущественно варятся из твердых жиров и потому имеют полутвердую консистенцию. Для по-

лучения серебряных мыл применяют богатые стеарином жиры; кристаллы ядра получаются очень тонкими и плотными, мыло теряет свою прозрачность и приобретает т. н. «серебряный» блеск. Пальмоядерное и кокосовое масла для жидких мыл совместно с высыхающими и полувысыхающими маслами применяются только в малых количествах. Калийные мыла сами по себе менее чувствительны к электролиту, чем натронные. Жидкие мыла приготовляют преимущественно из жирных к-т, получаемых расщеплением нейтрального жира на глицерин и жирные к-ты. В настоящее время, с применением электролитических калийных щелоков, варка жидких мыл очень упростилась. К щелоку до уварки прибавляется нек-рое количество поташа или хлористого калия. Летом и при мылах, в к-рых содержание натрия не мешает, применяют также и соду. Если желательно варить мыло без прибавления раствора электролита, то его доводят в котле до состояния вязкой массы. При прибавке электролита вязкость конц. раствора уменьшается; количество электролита меняют в соответствии с временем года, так же как и соотношение калия и натрия. Для получения правильной консистенции необходимую концентрацию электролита изменяют в зависимости от природы выбранной жировой смеси. Варка ведется б. ч. при механическом перемешивании.

Особые способы омыления жиров и приготовления мыла. Кроме обычных способов омыления нейтрального жира при нагревании с едкими щелочами, а также омыления жирных к-т едкими или углекислыми щелочами, был предложен целый ряд вариантов изготовления мыла. Так напр., предлагалось омылять жиры сернистыми щелочами, содой или аммиаком под давлением. Технич. интерес представляет холодный процесс М.—омыление нейтральных жиров в состоянии эмульсии при низкой $t°$. Указания на возможность омыления при низкой $t°$ были даны Меж-Мурье [6]: по этому способу жир эмульгируется (при $t°$, близкой к его $t°_{пл.}$) с раствором мыла, и для омыления добавляется щелочь, содержащая поваренную соль. Холодный способ раньше широко применялся в фабричных размерах [7], например при изготовлении дешевых сортов туалетного мыла. Обычно омыление жиров велось при $t°$ 40—50° на жировой смеси, в состав к-рой входило не менее 25% кокосового масла. Подбирая соответственную концентрацию щелочи, можно омылять на холоду и твердые жиры. Недостатками этого способа являлись значительное содержание свободного жира в мыле и легкая растворимость мыла в горячей воде. В последнее время к вопросу холодного омыления жиров снова проявляется интерес. Так напр., Д. Рождественским [8] было установлено, что льняное и хлопковое масла легко и быстро омыляются при $t°$ 30°, если процесс омыления вести в присутствии катализаторов (крезолы, тимол, α-нафтол, β-нафтол), вводимых в количестве ок. 0,25%. Д. Забрамный и Н. Ицкович [9] установили, что при омылении с α-нафтолом мыло темнеет; положительные результаты получаются с β-нафтолом, который ускоряет процесс омыления при употреблении 0,1% его, но при этом способе наряду с некоторой экономией в топливе не используется глицерин. Леймдёрфер [10] нашел, что при холодном омылении можно получать твердые мыла и из растительных масел, подвергнутых предварительно сульфированию, окислению продуванием воздуха либо полимеризации. По Г. Петрову [11], мыло получается из полимеризованных высыхающих и полувысыхающих масел и высокомолекулярных сульфокислот. Г. С. Петров и З. М. Таланцев [12] для получения твердых мыл из жидких высыхающих и полувысыхающих масел применили метод обработки жиров хромовой смесью.

Значительный технич. интерес представляет проблема омыления жирных к-т аммиаком вместо кальцинированной соды. Теоретич. обоснование этого способа выражается реакцией:

$$R \cdot COONH_4 + NaCl = R \cdot COONa + NH_4Cl.$$

Жирные к-ты переводятся при низкой $t°$ нек-рым избытком аммиака в мыльный клей, к-рый высаливается поваренной солью. При этом происходит, аналогично высаливанию у клеевых мыл, частичное осаждение; осадок состоит из натрового мыла и хлористого аммония. Высоленное мыло снова растворяется и вторично высаливается поваренной солью. Осаждение теперь происходит быстрее, так что под конец получается натровое мыло с практически ничтожным содержанием аммиака. Операцию должно вести, во избежание потерь аммиака и для уничтожения запаха, в закрытом котле. Технич. применение аммиака для омыления жиров в данное время может иметь особый интерес, т. к. едкий натр является отчасти дефицитным материалом, но при этом надо принять во внимание, что аммиак д. б. снова уловлен, а это требует очень сложной аппаратуры. Из новых методов М. заслуживает внимание омыление жирных к-т, полученных после расщепления сухой содой. По этому способу омыление совершается как при перемешивании в аппарате с механической мешалкой, так и распылением в башне. А. Вельтер [13] получает вышеописанным способом мыло в виде порошка, мелких цилиндриков, стружек, а также в прессованном виде. В последнее время приготовляют твердые мыла с введением различных растворителей, как напр. гидрированные ароматические углеводороды, фенолы и гл. обр. нефтяные растворители. В Америке известно такое мыло под названием Naphta soap, с содержанием до 15% растворителя.

Отбелка мыла. Мыло отбеливается путем химич. обработки мыльного клея после омыления и до высаливания. Для отбелки раньше часто употребляли растворы гипохлорита, что сообщало мылу неприятный запах; в последнее время для отбелки ядрового мыла употребляют безводный *гидросульфит* (см.) натрия, т. н. бланкит. Этот препарат в количестве 0,1—0,5% от жировой смеси прибавляют в виде 10%-ного раствора в мыльный клей. Для отбелки жидких мыл употребляется персульфат аммония в количестве 0,5—1% от жировой смеси; при применении персульфата выделяется свободная серная к-та, поэтому мыльный клей д. б. более щелочным. **Г. Петров и А. Рабинович.**

Мыло в химической технологии волокнистых веществ применяется в подготовительных операциях—мойке, отварке, при белении, крашении, печати и аппретуре и имеет целью: 1) очистку волокон при мойке шерсти, шелка, отварке шелка, мыловке хлопка, льна, искусственного шелка и изделий из них после белення и крашения, или 2) облегчение валки шерстяного волокна, или 3) протравление жирнокислой протравой при крашении и печати хлопка и искусственного шелка, или 4) улучшение смачивания волокон при крашении хлопка, шелка и искусственного шелка, наконец при аппрете мыло применяется для т. наз. «оживки» и придания товару мягкости и блеска. Для этих целей в текстильной промышленности применяют гл. обр. следующие сорта технич. мыл: 1) обыкновенное ядровое мыло (лучшие сорта), 2) марсельское мыло (из оливкового масла), состоящее гл. обр. из натриевой соли олеиновой кислоты, 3) олеиновое мыло, получаемое нейтрализацией олеиновой к-ты едким натром или содой, 4) «жидкие» или «зеленые» мыла—калиевые соли жирных кислот, 5) нафтеновые мыла из нефтяных остатков—«мылонафт», 6) смешанные нафтеновые мыла—из сала и «мылонафта», 7) бастовое мыло, или подмыльe, или кислое шелковое мыло—подкисленный уксусной кислотой мыльный раствор серицина, получающийся при отварке шелка, применяется при крашении шелка, 8) *ализариновое масло* (см.) и производные его, 9) «мыло монополь» и «масло монополь» со слабо кислой реакцией (см. *Монопольмыло*), 10) «пара-мыло», получаемое частичной нейтрализацией сульфированного касторового масла аммиаком, 11) керосиновое мыло—олеиновое мыло, содержащее до 25% керосина, и др.

Особо важное значение при применении мыла в химич. технологии волокнистых веществ имеет качество воды. Кальциевые и магниевые соли жесткой воды превращают мыла в нерастворимые, осаждающиеся на волокне и чрезвычайно трудно удаляемые с последнего. Наиболее чувствительны к жесткой воде калиевые мыла, менее чувствительны—натриевые. По роду жирных кислот наиболее чувствительны к жесткой воде стеариновые мыла, меньше — пальмитиновые и наименьшая чувствительность у олеиновых мыл. Вреднее всего для волокна осаждение на нем магнезиальных мыл, имеющих более низкую $t°_{пл.}$, чем кальциевые мыла, а потому очень липких и трудно удаляемых с волокна. Присутствие в воде солей железа (окиси железа) способствует осаждению кальциевых мыл. При пользовании жесткой водой весьма желательно применять «мыло-монополь» и ему подобные, к-рые дают кальциевые и магниевые соли, растворимые в избытке воды. В мыле, применяемом в химич. технологии волокнистых веществ, не д. б. ни неомыляемых жиров ни (по возможности) свободн. щелочи; во всяком случае содержание последней должно быть минимальным. Такое мыло легче всего получается при варке его из олеиновой к-ты, что и практикуется в промышленности. Мыло контролируют на содержание неомыленных жирных к-т и на нейтральность. **В. Абозин.**

Медицинские мыла. Под медицинскими мылами обычно принято подразумевать такие мыла, к к-рым примешаны различного рода врачебные средства, служащие для излечения кожных заболеваний или обладающие очищающими и дезинфицирующими свойствами. Сюда также относятся некоторые определенные (фармакопейные) сорта чистого мыла, без каких-либо вредных подмесей. По Гос. фармакопее СССР 1925 г. медицинское мыло (Sapo medicatus) представляет собою чистое натронное мыло; оно не должно содержать свободной щелочи, а также солей тяжелых металлов; такое мыло употребляется для наружных целей и как внутреннее (в виде пилюль), но преимущественно для мытья, смягчения кожи и для клизм. К фармакопейным медицинским мылам относится также зеленое мыло, называемое иначе калийным, или жидким, мылом (Sapo viridis, Sapo calinus viridis); оно представляет собою мягкую темнобурую или зеленоватую массу, со слабым мыльным запахом; в нем допускается содержание свободной едкой щелочи не свыше 0,1% и углекислой щелочи—не более 2,5% [1].

Все другие медицинские мыла кроме фармакопейных могут изготовляться в твердом, порошкообразном, мазеобразном или жидком виде. Твердое медицинское мыло, содержащее летучие лекарственные вещества, должно быть хорошо упаковано, обернуто в свинцовую бумагу и должно храниться в сухом месте. Потеря мылом лекарственных свойств, кроме улетучивания терапевтич. составных частей, может обусловливаться также и химич. изменениями этих последних. Так, карболовая кислота в щелочных мылах постепенно образует феноляты калия или натрия, к-рые не обладают дезинфекционными свойствами; в сулемовом мыле хлористая ртуть быстро восстанавливается в металлич. ртуть, почти индиферентную к живым тканям; салициловая к-та еще быстрее превращается со щелочью мыла в салицилат натрия. Среди медицинских мыл наибольшее терапевтич. значение имеют следующие: ихтиоловое, серное мыло во всех его разновидностях, дегтярное и серно-дегтярное мыло; лучшими сортами последнего считаются т.н. мыло Поспелова и сульфидаль. Во избежание порчи медицинских мыл их можно сохранять в виде порошков, мазей или в жидком виде, в склянках или бутылях.

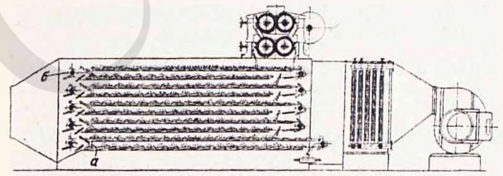
Для всех медицинских мыл наиболее существенным требованием является возможная нейтральность их основной массы (собственно мыла). В виду трудности получения нейтрального калиевого мыла (жидкого) следует указать на два способа его приготовления, предложенные Буцца и Штиппелем [2]. Ниже приведено несколько примеров прописей для изготовления медицинских мыл.

1. Карболовое мыло приготовляется из клеевого или же ядрового мыла с содержанием 4—10% очищенной карболовой кислоты. 2. Таниновое мыло состоит из пересыщенного жиром мыла (2—3% жира) с 5% танина. 3. Буровое мыло (мыло с бурой) приготовляется из клеевого или из

ядрового мыла с прибавлением 5—10% буры. 4. Камфорное мыло: натронное мыло с примесью 5% камфоры, спресованное в куски. 5. Ихтиоловое мыло: клеевое или ядровое мыло с 5% сульфоихтиолового аммония. 6. Креозотовое мыло: клеевое мыло из кокосового масла с прибавлением 5% креозота. 7. Креозотовое мыло Аусница состоит из 75% ядрового мыла, приготовленного из животного жира, 5% креозота и 20% пемзы в порошке. 8. Каломелевое мыло: калийное мыло из оливкового масла (пересыщенное жиром до 5%) с добавкой каломели по указанию врача. 9. Нафтоловое мыло: пережиренное ядровое мыло, содержащее 10% β-нафтола. 10. Серно-нафтоловое мыло: содержит 1% β-нафтола и 4% серной печени. 11. Дегтярное мыло: натронное ядровое мыло с содержанием 5—10% древесного дегтя. 12. Пемзовое мыло: состоит из 90 ч. натронного мыла, изготовленного на животном жиру и тщательно перемешанного с 10 ч. пемзы в мелком порошке; прессуется в куски. 13. Салициловое мыло: состоит из 150 частей мыла из животного жира (натронного—ядрового), 5 частей буры, 5 ч. салициловой к-ты и 30 ч. венского талька (тщательно перемешивается и прессуется). 14. Серное мыло: а) из ядрового мыла с содержанием 5—10% осадочной серы; б) из ядрового мыла с содержанием 10% сернистого кальция; в) из кокосового клеевого мыла с содержанием 10% калиевой серной печени, растворенной в небольшом количестве воды (мало прочно). 15. Сулемовое мыло: а) ядровое мыло, содержащее ок. 3% свободной жирной к-ты (не жира), смешивается с 1% сулемы в порошке и прессуется в куски; б) (по голландской фармакопее) 99 ч. моллина (один из видов калийного мыла) нагревается на водяной бане, смешивается с раствором, состоящим из 1 ч. сулемы и 4 ч. 96°-ного спирта, и при помешивании упаривается до 100 ч. 16. Тимоловое мыло: ядровое мыло с содержанием 2—3% тимола. **А. Вильде.**

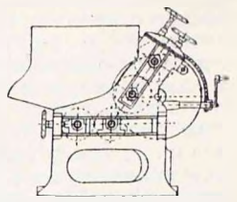
Туалетные мыла—специальные сорта мыла, предназначенные для мытья кожи человека. За границей туалетным мылом называется любое б. или м. нейтральное мыло, имеющее приятный запах от примешанных к нему в процессе изготовления душистых веществ. По способу изготовления различаются следующие группы душистых мыл: 1) изготовленные холодным способом (омылением при низких темп-рах), 2) изготовленные полугорячим способом, 3) изготовленные горячим способом с последующей переплавкой, 4) изготовленные горячим способом с последующей механич. обработкой выделенного и высушенного ядра. Мыла 1-й группы (холодной варки) содержат в своем составе значительное количество кокосового масла, почти всегда имеют нек-рую часть неомыленного жира и свободной едкой щелочи. Специфич. раздражающее действие на кожу кокосовых мыл, наряду со свободной щелочностью, делают эту группу мыл мало пригодной для ежедневного обихода. Аналогичными отрицательными свойствами обладают и мыла полугорячей варки, т. к. процесс их изготовления не допускает получения вполне омыленного нейтрального продукта. Метод получения туалетных душистых мыл горячим способом с последующей переплавкой, возникший в Англии, устарел и повсеместно оставлен. По советскому стандарту [1]. туалетными мылами в СССР могут именоваться только мыла 4-й группы, имеющие наибольшее распространение во всем мире. Метод их производства, впервые возникший во Франции, позволяет получать мыла, содержащие лишь следы свободной едкой щелочи и неомыленного жира, лишенные избытка влаги и допускающие применение самых тонких душистых веществ. Такие туалетные мыла при надлежащем производстве удовлетворяют всем требованиям дерматологии, стойки при длительном хранении и могут быть самых разнообразных запахов и расцветок. Т. к. механич. обработка таких мыл встарину производилась в ступках, то за такими мылами сохранилось название пилированных мыл (от французского pile—ступка).

В связи с требованиями, предъявляемыми к туалетным мылам [1], для их изготовления употребляются технич. жиры лучшего качества. Жировая смесь для туалетного мыла составляется обычно из твердых жиров: сала говяжьего и свиного, саломаса (лучше хлопкового), кокосового и пальмового масел. Жидкие жиры употреблять не рекомендуется во избежание появления на мыле желтых пятен и прогорькания. Небольшие же количества канифоли (до 2%) желательно вводить во все сорта мыл как стабилизатор; количества канифоли выше 5% придают мылу неприятную клейкость. Для окрашивания и подцветки туалетного мыла употребляются как минеральные краски (цинковые белила, охра, мумия, ультрамарин, сиенна и сепия), в количествах, обычно не превосходящих 1%, так и органич. щелочноупорные красители (метаниловый желтый, родамин, бисмарк коричневый, патентованный синий и ксиленовый синий) в количествах, изредка превышающих 0,05%. В качестве отдушек для туалетных мыл употребляются смеси натуральных эфирных масел и искусственных душистых веществ. Ко всем душистым веществам для мыльных отдушек предъявляется требование нек-рой щелочеустойчивости [2]. Производство туалетного мыла протекает в 4 фазы: 1) приготовление туалетной основы—высокосортного ядрового мыла, 2) сушка основы, 3) окрашивание и отдушивание высушенной и измельченной основы, 4) пилирование или механич. обработка высушенной и окрашенной сухой мыльной стружки на вальцах и прессах. Варка туалетной основы производится в большинстве случаев из нейтральных жиров (для получения наиболее светлого продукта) с многократной (не менее 2) отсолкой ядра и последующей шлифовкой (лощением) мыла. Нормальная туалетная основа должна содержать 62—63% жирных к-т, не более 0,4% неомыляемых, 0,1—0,2% свободной едкой щелочи и не более 0,3% поваренной соли. Отсолка ядра ведется в разных странах и на разных з-дах различно. В Германии применяют до 5—6 отсолок поваренной солью, в Америке 2—4 отсолки крепкой щелочью, на заводах СССР обычно применяют две отсолки: первую—поваренной солью и вторую—крепкой щелочью, что дает вполне доброкачественный продукт. В зависимости от размеров мыловаренных котлов, методов отсолки и варки колеблется и время, необходимое для варки основы, от 3 до 7—10 суток (в СССР при 2—3-сменной работе). Хорошо отстоявшееся ядро (время отстаивания не менее 36 ч.) охлаждается в формах (устаревший метод), под холодильным прессом или на холодильных вальцах. Мыло, охлажденное в формах или под прессом, перед сушкой измельчается на строгальных машинах. Сушка мыла осуществляется или на решетах в шкафных, или тоннельных сушилках, или на механич. сушилках (фиг. 1) с подвижными лентами *a*, на к-рые спускают небольшими порциями мыло *б*. В то время как сушка на решетах длится 12—48 час., сушка на механич. (камерных) сушилках длится 25—45 м. В указанных типах сушилок происходит благодаря большому количеству воздуха, прогоняемого через камеры, почти полный переход содержащейся в основе свободной едкой щелочи в углекислую, а благодаря усушке содержание жирных кислот повышается до 74% и более. В 1923 г. в Германии выпущены вальцовые сушилки, высушивающие мыло в течение ок. 7 м. Сушка происходит просасыванием тока комнатного воздуха мимо расплавленного мыла, распределенного тонким слоем на поверхности вальцов, обогреваемых паром, после чего сухая мыльная стружка охлаждается на вальцах с водяным охлаждением. Эти сушилки являются наиболее экономичными с точки зрения потребления пара и энергии и занимают по сравнению с предыдущими значительно меньшую площадь. Однако благодаря быстроте сушки полной карбонизации свободной щелочи в мыле не происходит, а соприкасание воздуха с мылом, нагретым до $t° > 100°$, в некоторых случаях может повести к окислению жирных к-т мыла. Указанные отрицательные факто-

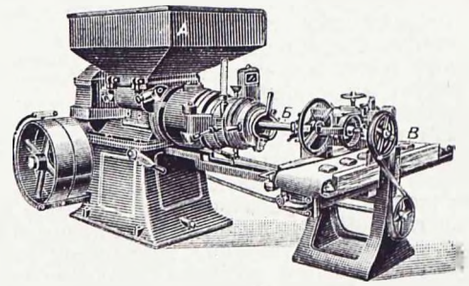


Фиг. 1.

ры заставляют воздержаться от широкого применения этих сушилок в производстве туалетного мыла. В последнее время некоторыми фирмами предложены новые виды сушилок, основанных на сушке мыла в тонко распыленном состоянии. Несмотря на экономич. выгоды (в расходе пара и энергии) и возможность осуществления сушки при низких темп-рах эти сушилки до сего времени не вошли в практику из-за осложнений, к-рые представляют сбор и дальнейшая переработка мыльной пыли. Высушенное тем или иным способом мыло в виде мелкой стружки отвешивается на т. н. предельы—порции определенного веса (50, 60, 65 или 100 *кг*; для взвешивания применимы автоматич. весы типа Хронос)—и замешивается с определенной порцией краски и отдушки. Наиболее примитивно смешивание производят веслами в ящиках, обитых оцинкованным железом; более тщательно перемешивание осуществляется в специальных месильно-мешальных машинах типа Вернер и Пфлейдерер (фиг. см. *Глиномятка*). Грубо замешенное с краской и отдушкой мыло подвергается затем обработке на вальцах до получения равномерно окрашенной и отдушенной пластич. массы. Вальцы бывают 3-, 4- и 5-вальцовые, редко с бо́льшим числом вальцов (фиг. 2). Каждый последующий валец вальцовки имеет бо́льшую окружную скорость, чем предыдущий, чем осуществляется поступательное движение мыльной массы и тщательное ее перетирание. Вальцы применялись первоначально каменные; в последнее время широкое распространение получают чугунные и стальные вальцы с водяным охлаждением. Т. к. для получения вполне переработанной массы достаточно 8—9 перетираний, то через 3-вальцовую вальцовку массу пропускают 4 раза, через 4-вальцовую—3 раза, а через 5-вальцовую достаточно 2 раз. Для увеличения производительности машин, при наличии массового производства небольшого количества сортов туалетного мыла, вместо 2-, 3- или 4-кратного пропускания массы через одну и ту же вальцовку, применяется установка агрегатов из двух 5-вальцовых, трех 4-вальцовых или четырех 3-вальцовых вальцовок, которые соединены транспортной лентой или поставлены непосредственно друг за другом (если последний валец каждой вальцовки расположен выше первого вальца последующей вальцовки). Мыло с последнего вальца каждой вальцовки снимается в виде тонких лент стальным гребенчатым скребком и с последней вальцовки передается в шнековый пресс, аналогичный по конструкции кирпичеделательной машине («колбасная» машина), и оттуда оно выходит в виде бесконечного бруска, имеющего профиль вставленного в головку машины шаблона. Во избежание плавления мыла при прессовании цилиндр, в к-ром вращается шнек, охлаждается водой. Для придания же выходящему бруску блеска и ровной, гладкой поверхности головка машины нагревается (газом, паром или электричеством) до 40—50°. Выходящий из машины бесконечный брус мыла (колбаса) режется на куски определенного веса или, что то же, определенной длины. Резка осуществляется ручным станком (натянутой на раму проволокой) или автоматич. резательными машинами. На фиг. 3 представлена конструкция машины, отрезающей отдельные куски (до 60 кусков в минуту), к-рые затем автоматически продавливаются сквозь натянутые на станине проволоки и режутся



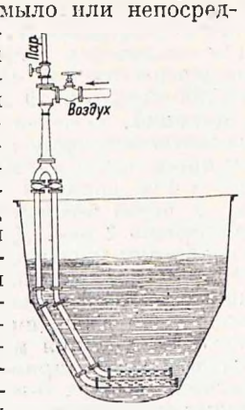
Фиг. 2.



Фиг. 3.

на куски установленного веса (*А*—приемная, *Б*—формовочная труба, *В*—дозированные куски мыла). Нарезанные куски мыла, непосредственно после резки или после предварительного проветривания (для уменьшения липкости мыла), штампуются на ручных,

ножных, приводных или автоматич. прессах, где мылу придается желаемая форма и одновременно отштамповывается нужный рисунок. Отштампованное мыло или непосредственно с прессов упаковывается в коробки или пачки и в таком виде идет в продажу или же предварительно каждый кусок завертывается в 1, 2 или 3 бумажки в целях лучшей сохранности формы мыла, отдушки, а также для придания куску лучшего вида. Для обертки туалетного мыла прямоугольной формы часто применяются автоматич. машины, которые обертывают туалетное мыло в 1, 2 или 3 обертки.



Фиг. 4.

По ориентировочным определениям производство туалетного мыла в России до 1914 г. не превышало 10 млн. дюжин в год; с 1917 по 1921 г. оно было прекращено, а с 1922 г. быстро прогрессирует, значительно превысив довоенные масштабы.

Аппаратура и вспомогательные механические приспособления в М. Склады для хранения сырья и подготовка сырья. Для хранения масел и жиров обычно применяют резервуары из ковкого железа, в которых можно нагревать и растапливать жир паром Жирные кислоты лучше хранить в алюминиевых или освинцованных железных резервуарах, так как в железных они быстро темнеют, растворяя железо. На дне резервуара имеется труба с отверстием для спуска воды, выделяющейся из жира. Немного выше находится спускная труба для масла. Резервуар этот лучше всего ставить над мыловарным котлом так, чтобы масло стекало прямо в котел. Плавающая шкала показывает уровень жидкости и позволяет измерять количество масла. На фабриках поступающие жиры и масла сначала хранятся в резервуарах, расположенных внизу, после чего они поступают в описанный выше приемник. Щелока хранятся в четырехугольных баках из ковкого железа. Щелок приготовляется в этих же чанах; барабаны с едким натром (с открытым дном) подвешивают на цепях под струю воды; растворение ускоряется собственной теплотой процесса. Так как концентрированный натровый щелок на холоду становится твердым вследствие выделения $2\,NaOH \cdot H_2O$, то резервуары в случае, если помещение не отапливается, снабжаются паровыми трубами. Чан для щелока также д. б. поставлен над варочным котлом. Сырье, доставленное в бочках, расставляют на твердом, хорошо вымощенном полу для предохранения от течи и просачивания. При хранении на открытом воздухе требуется предохранение от солнечных лучей.

Предварительная очистка жира. Для очистки применяются освинцованные баки, лучше всего полуцилиндрич. формы с конич. нижней частью, с открытым или закрытым паром; загрязненные жиры б. ч. очищаются серной кислотой. Жиры после химич. обработки переводятся во второй резервуар, где промываются водой, а отсюда уже перекачиваются в верхний резервуар.

Варочные котлы. Для варки мыла применяют котлы из ковкого железа. Омыление нейтральных жиров едкими щелочами под давлением в автоклавах практически невыгодно, так как хотя дает экономию во времени, но требует более сложной аппаратуры. Котлы д. б. на 50% больше объема загружаемого жира (фиг. 4, котел для карбонатного омыления). На небольших производствах, где имеет место обогрев голым огнем, дно котла д. б. из огнестойкого железа, котлы конусообразные с выпуклым дном. При емкости y (в $л$) должно иметь место след. соотношение между D (верхним диам., в $см$), d (нижним диам.) и H (высотой):

$$D = 12{,}2\sqrt[3]{y};\quad d = {}^2/_3 D;\quad H = D.$$

В табл. 4 приведены характеристика и размеры различной формы котлов.

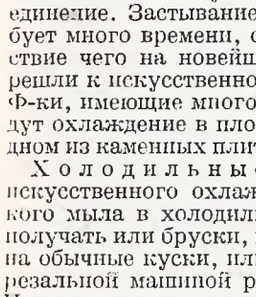
Табл. 4.—Размеры и емкость котлов различной формы.

Емкость в $л$	Загрузка в $кг$	Внутренние размеры в $мм$	Толщина железа в $мм$: верхн. ч.	среди. ч.	дно	Приблиз. вес в $кг$
Коническая форма						
300	200	850	550	800	5	5	8	135
10 000	6 500	2 700	1 500	2 900	8,5	11,5	17	2 060
Полуцилиндрическая форма*								
2 500	1 650	1 500	750	Верх.ч. 1 000 Ниж.ч. 750	6	9	12	850
15 000	10 000	2 750	1 600	Верх.ч. 1 750 Ниж.ч. 1 250	9	11	17,5	2 800
Коническая форма составная								
2 500	1 650	1 600	1 100	1 750	6	10	16	970
15 000	10 000	3 000	2 000	3 060	9	11	17,5	3 000

* Полуцилиндрическая форма может изготовляться из двух соединяющихся частей.

В производствах среднего размера котлы применяют цилиндрические, оканчивающиеся внизу конусом; обычно они обогреваются как паром, так и голым огнем. В крупных производствах за границей, применяющих только пар, строятся цилиндрические или прямоугольные котлы емкостью от 25 000 до 200 000 $л$, к-рые снабжаются змеевиками открытого и закрытого пара; последние нужны только при варке клеевых и эшвегерских мыл для упаривания массы. При карбонатном омылении котлы снабжаются воздуходувкой для удаления угольной к-ты.

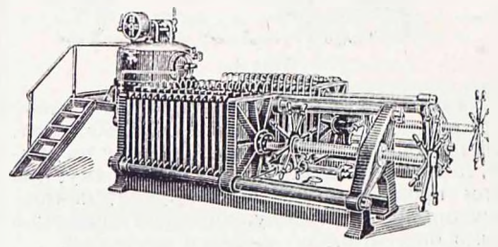
Мешалки. Для варки ядрового мыла при наличии открытого пара мешалки вообще не нужны. При приготовлении жидких и клеевых мыл употребляют мешалки для смешивания мыльной массы с наполнителями жидкими и твердыми и т. п. Применение открытого пара здесь недопустимо, ибо масса тогда вспенивается и разжижается нежелательным образом благодаря конденсационной воде. Мешалка, способствующая размешиванию в вертикальном направлении, особенно пригодна для смешивания мыльного клея с удельно тяжелыми веществами (фиг. 5); мешалка, работающая в горизонтальном направлении, употребляется для размешивания компонентов одинакового удельного веса. Маленькие планетарные мешалки употребляются глав. обр. при холодном приготовлении мыла. Для того чтобы путем разбивания верхнего слоя кипящего мыла препятствовать переливанию массы через край котла, применяется специальное размешивающее приспособление (Wehrvorrichtung), состоящее из простых валов с лопастями, к-рые вращаются механич. приводом или рукой.


Фиг. 5.

Насосы. Для спуска мыла из котла только в особых случаях применяются высасывающие насосы, например для наполнения жидких мыл, к-рые перекачиваются из котла при более низкой $t°$. Здесь можно обслуживать котел поршневым насосом. Вообще мыла из котла должны перекачиваться при довольно высокой темп-ре, вследствие их высокой $t°_{заст.}$; поэтому их спускают под собственным давлением в ротационный насос, который перекачивает мыло давлением в холодильные машины.

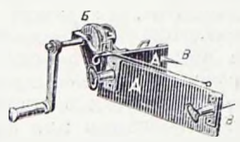
Холодильные приспособления. Простейший, еще употребляющийся метод охлаждения мыла состоит в том, что мыло оставляют застывать в разборных формах, обычно высоких и узких. Дно и стенки их сделаны из листового железа; у дна делают часто спускной кран для выпуска щелока, к-рый выделяется в процессе застывания. Стенки входят в пазы дна и также соединяются между собой; при помощи винтовых зажимов получают вполне прочное соединение. Застывание в таких формах требует много времени, особенно летом, вследствие чего на новейших производствах перешли к искусственному охлаждению мыла. Ф-ки, имеющие много свободного места, ведут охлаждение в плоских деревян. рамах с дном из каменных плит, промазанных мылом.

Холодильные машины. Путем искусственного охлаждения горячего жидкого мыла в холодильных машинах можно получать или бруски, к-рые годны для резки на обычные куски, или плитки, к-рые затем резальной машиной разрезаются на куски. Плиточные холодильные машины (фиг. 6) в основном похожи на фильтр-прессы. Холодильные камеры с проточной водой чередуются с рамами, к-рые наполняются охлаждаемым мылом. Вся система удерживается давлением винта. Жидкое мыло под давлением втекает в рамы из котла, снабженного мешалкой для размешивания наполнителей, отдушки и т. д. По охлаждении пресс развинчивается, и плиты вынимают. Холодильные прессы различаются между собой деталями конструкции, особенностями циркуляции воды в холодильных камерах и т. п. Обкладка холодильных камер обычно сделана из никелированного железа и д. б. довольно прочной, чтобы у мыла не получалось выпуклой поверхности. В прессах старого типа, в к-рых мыло подавалось в рамы без давления, при более сильном напоре охлаждающей воды стенки холодильных камер изгибались, вследствие чего поверхности плит мыла становились вогнутыми. Существенным для всех холодильных машин является наполнение мылом под известным давлением для выравнивания появляющегося при застывании сжатия охлаждаемого мыла. Если не применять такого наполнения, то получаются полые внутри плиты и неполные куски. Введенный Вегелином и Гюбнером пресс Klump'a состоит из прессовых камер, где плиты м. б. различной толщины. Новая многокамерная модель имеет вертикальные прессовые камеры и работает с нажимным винтом; старая, вполне еще применимая в маленьком производстве, работает при помощи гидравлического давления и имеет вид

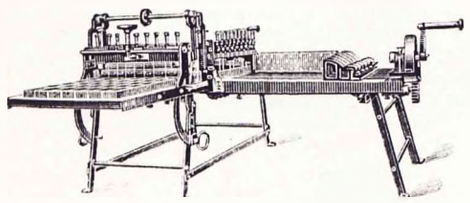

Фиг. 6.

копировального пресса. Горизонтальн. прессовые камеры охлаждаются водой.

Формовка. Застывшее в формах или в холодильных машинах мыло при помощи специальных приспособлений разрезается на куски и брусья, а последние уже обычно прессуются. Прессование придает кускам определенную форму с обозначением фирмы, цены и т. д. Для резки застывших в формах больших глыб мыла служит прибор (фиг. 7), который представляет собою два деревянных бруска A, соединенных под прямым углом с насаженной лебедкой B для закручивания проволоки при резке мыла. Другой конец проволоки после обхвата глыбы мыла закрепляется за штифт на одном из брусков. В деревянных брусках находятся металлические пластины или иглы B для прикрепления прибора к глыбе мыла. При помощи этого прибора глыба разрезается на пласты. Отрезанные куски при помощи удобного транспортера, высота к-рого регулируется винтом, переносятся в резальную машину, которая разрезает их на брусья. В Англии и Америке употребляются маши-


Фиг. 7.

ны для резки всей глыбы на горизонтальные пласты путем движения ножа (фиг. 8). Способ пригоден только для резки глыб узкой формы. Мыльную глыбу помещают в машину на передвижной платформе и закрывают пластиной, служащей для сдавливания, после чего резальная рама приводится в движение, и глыба режется на пластины, которые сбрасываются на другом конце машины. В это время рама возвращается назад, и новая глыба может быть подана в машину. Обрезки режутся в особых машинах на кусочки и пластинки; их или пластинки, полученные из холодильных машин, снова разрезают на бруски, а последние на куски. Принцип всех резальных машин состоит в том, что мыло, предназначенное к резке, продавливается при помощи движущегося благодаря зубчатой передаче упора через раму, на к-рой натянуты стальные проволоки на нужном расстоянии. Проволоки можно натянуть как горизонтально, так и вертикально. Если пропустить глыбу через про-



Фиг. 8.

волоки, то она разделится на высокие и узкие пласты, последние затем перекладываются, причем они кладутся на столе друг на друга, и снова продавливаются через раму; при этом происходит резка на бруски; повторным пропусканием брусков через проволоки мыло окончательно режется на куски.

М ы л ь н ы е п р е с с ы. По мере того как сбыт мыла как рыночного товара стал производиться в большом объеме, в практику вошло прессование кусков мыла, на к-рых выбито клеймо фирмы, название либо изображение, обозначение качества, цены и т. д. Для прессования употребляются главным обр. ударные прессы, к-рые коротким и сильным ударом придают мылу требуемую форму и однородную поверхность. Употребляются также прессы с рукояткой, которые путем продолжительного и сильного надавливания придают кускам желаемую форму. В течение последних 10 лет большое распространение получили прессы, при которых введение куска в штамп и его выбрасывание производятся автоматически; работа на этих прессах более безопасна; они конструируются с рукояткой или работают при помощи двигателя. Из склада, где лежит мыло, выдвигается самый нижний кусок и по слегка наклонной плоскости продвигается под пресс, причем лежавший под прессом кусок выталкивается на конвейер. Главная часть пресса—штамп или форма, образующая из нескольких подвижных частей полое тело, в к-рое вдвигается мыло; здесь ему придается желаемая форма и чеканка. Чаще всего употребляются ящичные формы с неподвижными боковыми стенками и подвижными верхней и нижней.

Анализ мыла. Для характеристики различных сортов мыла их подвергают химическому анализу, устанавливающему их состав и природу исходного жира, и определяют физические свойства, как то: пенное число, моющую способность, растворимость и др. Мыла, свободные от наполнений, должны полностью растворяться в спирте. При проведении анализа мыла имеет большое значение правильное взятие пробы. По Грюну [14] проба отбирается следующим образом: кусок мыла делится по ширине пополам, одна из этих частей делится по длине еще пополам, и четвертая часть первоначального куска делится по высоте пополам. Таким образом отбирают $^1/_8$ часть куска с $^1/_8$ первоначальной его поверхности; его превращают в мелкую стружку, взвешивают, сушат до постоянного веса и с ней производят все определения, к-рые и пересчитывают на первоначальный вес. Ледерер [15, 16] отбирает пробу в виде сектора от шара или цилиндра, полученных из куска мыла.

С о д е р ж а н и е в о д ы определяется медленной сушкой навески мыла, замешенной с определенным количеством хорошо прокаленного песка или пемзы, сначала при темп-ре 60—70°, а затем 100—105°, или же по методу Фарнона—к навеске мыла прибавляют 3—5-кратное количество олеиновой к-ты, осторожно нагревают до полного растворения мыла и опрозрачнения раствора (что происходит по испарении воды), охлаждают и взвешивают; это определение дает точность до 0,5% и применяется, если мыло не содержит наполнений в виде соды, поташа и друг. Если исходным сырьем служили сильно ненасыщенные жиры, то определение воды ведут в струе инертного газа. При содержании в мыле летучих веществ (бензина, терпентина, гексалина и др.) воду определяют по Маркуссону перегонкой с ксилолом; при этом следует иметь в виду, что присутствие спирта в мыле обусловит неточный результат. Чтобы избежать вспенивания, прибавляют сухой соли или же олеиновой кислоты.

О б щ е е с о д е р ж а н и е ж и р а (жирных, смоляных, нафтеновых кислот, оксикислот, нейтрального жира и несомыляемых). Определение ведется след. образом: 5 *г* мыла растворяют в воде и в присутствии метилоранжа разлагают небольшим избытком солянной к-ты определенного титра; по охлаждении обрабатывают два раза эфиром (применять петролейный эфир не рекомендуется, т. к. оксикислоты в нем нерастворимы). Кислую воду также обрабатывают эфиром для извлечения из нее жирных к-т, находящихся в состоянии эмульсии, эфирные вытяжки соединяют вместе, отмывают от к-ты и сушат прокаленным сульфатом. Затем отфильтровывают от сульфата и последний промывают высушенным эфиром; эфир отгоняется, и остаток жироподобных веществ сушится до постоянного веса в сушильном шкафу. В случае применения кокосового или пальмоядерного масел сушку, вследствие присутствия летучих кислот, следует вести очень осторожно (при 60—70°); в случае высыхающих масел ее ведут в струе инертного газа. Существует ряд вариантов этого метода [17]. В случае кокосового и пальмоядерного масел для большей точности следует вносить поправку на растворимые в воде кислоты, которые остаются в кислой воде при разложении мыла; для этого кислая вода нейтрализуется $^1/_1N$ щелочью, выпаривается досуха, остаток сушится при 105° и обрабатывается 4 раза 30 *см*³ кипящего абсолютного спирта. В экстракте получаются мыла летучих кислот: раствор фильтруют, отгоняют спирт, остаток сжигают, золу растворяют в воде и титруют $^1/_{10}N$ H_2SO_4. Количество H_2SO_4 пересчитывается на олеиновую кислоту или на растворимые кислоты—капроновую и лауриновую. Определение нейтрального жира и несомыляемых производится в навеске общей жировой смеси, к-рая растворяется в спирте и уравнивается $^1/_2N$ спиртовым раствором КОН. Из полученного раствора мыла обычным методом экстрагирования эфиром определяется сумма нейтрального жира и несомыляемых, из к-рых омылением по тому же методу определяют количество несомыляемых в мыле. Разность между этой суммой и несомыляемыми дает количество нейтрального жира в мыле.

В ы х о д м ы л а из 100 *кг* сырья устанавливается след. образом: если содержание жирных к-т в сырье равняется A и в готовом мыле B, то выход мыла определится как $\frac{A \cdot 100}{B}$. О к с и к и с л о т ы определяют растворением навески жировых к-т в избыточном количестве петролейного эфира, причем оксикислоты осаждаются [18]. Присутствие к а н и ф о л и устанавливается качественно по реакции Моровского [19]. Количественное определение канифоли может быть произведено по методу Твитчела, основанному на этерификации кислот, в которых смоляные кислоты не участвуют. Метод Вольфа и Шольца основан на том же принципе, но для реакции вместо газообразной HCl

и этилового спирта берут конц. H_2SO_4 и метиловый спирт [20]. Навеску в 2—5 *г* растворяют в 10—20 *см*³ абсолютного метилового спирта, прибавляют 5—10 *см*³ раствора (1 ч. H_2SO_4 + 4 ч. метилового алкоголя) и кипятят с обратным холодильником 2 минуты; разбавляют 5—10-кратным количеством 7—10%-ного раствора поваренной соли и экстрагируют серным эфиром или смесью серного с петролейным эфиром этерифицированные жирные кислоты и неэтерифицированные смоляные. Водный слой два раза промывается эфиром, эфирные вытяжки соединяются, промываются насыщенным раствором поваренной соли, затем к эфирному раствору прибавляют спирт, после чего титруют $^1/_2N$ спиртовым раствором КОН. Принимая в среднем кислотное число смоляных кислот равным 160 *мг* КОН и поправку на неэтерифицированные жирные к-ты в 1,5%, получают содержание смоляных к-т (в %) из ф-лы $\frac{a \cdot 17{,}76}{m} - 1{,}5\%$, где a—количество *см*³ $^1/_2N$ КОН, m—навеска смеси к-т; содержание канифоли приближенно вычисляют, умножая на 1,07. Более точное определение производится весовым путем: смоляные к-ты—посредством двух-, трехкратной этерификации смеси к-т с последовательным каждый раз вымыванием из этерифицированной смеси свободных смоляных к-т нейтрализацией (спиртовым раствором КОН или слабыми щелочами), выделением их в свободном состоянии разложением к-той, промыванием эфирного раствора их, отгонкой растворителя, сушкой до постоянного веса. Полученное процентное содержание смоляных кислот умножается на 1,07, что дает количество канифоли. Присутствие н а ф т е н о в ы х кислот в виде натриевой соли в мыле устанавливается качественно по Давидсону [21] по растворимости их магнезиальных солей—они отделяются от магнезиальных солей жировых к-т. Раствор этой соли разлагается к-той—появление белой мути обусловливается наличием нафтеновых к-т. Определение щелочи в виде общего количества (свободной и связанной) также весьма важно для характеристики мыла. Под общим количеством щелочи понимают сумму свободной щелочи в виде каустической, углекислой, растворимого стекла, буры и щелочи, связанной с жирными кислотами. Последняя выражается в виде окиси (Na_2O, K_2O), и определение ее связано с определением общего количества жирных кислот. Полученная при последнем от разложения мыла кислая вода с промывными водами оттитровывается $^1/_2N$ щелочью, и количество $^1/_2N$ кислоты, пошедшее на разложение мыл и усреднение свободных щелочей, пересчитывается на проценты Na_2O или K_2O. Свободная щелочь в виде NaOH или KOH определяется обработкой раствора мыла определенной навески в растворе 60%-ного спирта избыточным количеством раствора $BaCl_2$; при этом мыла превращаются в нерастворимые соли Ba, а углекислая щелочь—в нерастворимую соль $BaCO_3$; в растворе свободная щелочь (NaOH или же KOH) титруется $^1/_{10}N$ к-той, и количество пошедшей к-ты пересчисляется на NaOH или KOH. Определение больших количеств свободной щелочи (NaOH, KOH) м. б. произведено растворением мыла в абсолютном спирте и титрованием фильтрата $^1/_{10}N$ раствором к-ты.

К а р б о н а т н а я щ е л о ч ь определяется по методу Давидсона и Вебера [22] растворением навески мыла в 60%-ном спирте и титрованием по охлаждении $^1/_{10}N$ раствором солянной кислоты в присутствии фенолфталеина. Из полученного количества *см*³ $^1/_{10}N$ солянной кислоты вычитается количество *см*³ $^1/_{10}N$ солянной кислоты, соответствующее содержанию свободной NaOH (KOH) в данной навеске, и разность в *см*³ пересчитывается на Na_2CO_3 (K_2CO_3). Определение карбонатной щелочи в присутствии буры производится в гейслеровском аппарате по количеству выделенной CO_2 [23]. В присутствии силиката карбонатную щелочь определяют по разности между общим содержанием щелочи и суммой свободной и связанной щелочи и силиката. Количество связанной щелочи определяется титрованием навески общего количества свободных жирных к-т $^1/_2N$ щелочью (KOH).

Содержание в исследуемом мыле чистого мыла устанавливается сложением процентного содержания ангидридов жирных кислот со связанной щелочью, выраженной в Na_2O. Количество ангидридов получается умножением общего количества жирных кислот на 0,9675. В качестве наполнений в мылах встречается поваренная соль, карбонаты, сульфат, растворимое стекло, кремнекислота, тальк, крахмал и др. Определение общего количества их основано на их нерастворимости в абсолютном спирте. Определение отдельных наполнений производят по методам Давидсона [24].

Клеевые и жидкие мыла, приготовленные из нейтральных жиров, всегда содержат значительное количество глицерина, содержание которого определяется следующим образом: навеска мыла высушивается при 105°, растворяется в абсолютном спирте и отфильтровывается от нерастворимых частей, спирт отгоняется, мыло растворяется в воде и разлагается кислотой. В кислой воде, отделенной от жирных кислот и соединенной с водами от промывки жирных кислот, определяется глицерин по одному из существующих методов. Определение пенного числа производится по методу Штайнеля [25]. Аппарат для этой цели представляет собою литровую колбу с длинным узким горлом, верхний конец которого оканчивается расширением емкостью примерно в 50 *см*³. Колба закрывается пришлифованной пробкой; верхняя часть пробки представляет собою широкую плоскость, на которую колба м. б. поставлена в опрокинутом виде. Узкая часть длинного горла от верхнего расширения до расширения самой колбы имеет объем в 50 *см*³ и градуирована по $^1/_2$ *см*³. Определение пенного числа производится следующим образом: отвешивают 0,3 *г* мыла, растворяют в воде в мерной колбе на 100 *см*³ и доводят водой до мерки. Затем весь раствор переводят в аппарат, избегая образования пены, ставят его в опрокинутом положении на 1—2 минуты и производят отсчет уровня жидкости. После этого аппарат сильно встряхивают в течение $^1/_2$ мин. и вновь ставят в опрокинутом положении. После 3-мин. отстаивания производят второй отсчет уровня жидкости. Разность между показаниями второго и первого отсчетов, указывающая на объем жидкости, превращенной в пену, и есть пенное число данного моющего препарата. Определение пенного числа целесообразно производить сравнением с заранее избранным хорошего качества моющим препаратом в совершенно одинаковых условиях. Для моющей способности существует ряд методов, из к-рых наиболее заслуживающими внимания являются метод Жукова и Шестакова и в настоящее время метод F. H. Rhodes'a и S. W. Brainard'a [26].

В табл. 5, 6 и 7 приведены анализы современных и довоенных хозяйственных мыл в СССР и в Германии. О стандартных нормах для М. в СССР см. [27].

Табл. 5.—Анализы лучших довоенных русских хозяйственных мыл.

Характеристики	Ядровое мыло «Нестор» Невского стеарин. т-ва	Ядровое англ. мыло т/д. Т. Ширмер (Москва)
Когда произв. анализ	1910 г.	1910 г.
Вес куска мыла (в золотниках)	87,5	87,5
Содержание всего, что при анализе отнесено к жирным к-там (в %):		
Жирные к-ты	65,62	61,65
Гарпиусные к-ты	9,66	11,20
Неомылен. вещества	—	—
Неомыляем. вещества	1,18	0,84
Итого	76,46	73,69
Титр жирных кислот в °С:		
До выдел. гарпиуса	27,9	32,7
После выделения гарпиуса	31	36,3
Мол. в.:		
Всего, что относят к жирным к-там	262,8	276
Жирных к-т	254,9	265,6
Гарпиуса	—	—
Иодное число:		
Всего, что относят к жирным к-там	61,98	59,69
Жирных к-т	44,93	51,20
Гарпиуса	—	—
Содержание (в %):		
H_2O	15,02	19,04
Na, связанного с жирными к-тами	6,7	6,13
NaOH свободного	0,06	0,06
Na_2CO_3	0,45	0,11
NaCl	0,25	0,25
Глицерина	1,89	0,78
Нераствор. в спирте примесей	—	—

Табл. 6.—Анализы современных хозяйственных мыл в СССР.*

Характеристики	Мыло ядровое треста Севкавжирмасло	Мыло ядровое з-да № 2 Нижжиртреста
Фактич. вес куска в г (вес при анализе)	338	393
Содержание (в пересчете на кусок весом в 400 г):		
Жирных к-т	63,03	61,48
В том числе неомыленных и неомыляемых веществ	1,11	1,10
Свободные щелочи	нет	0,047
H_2O	29,89	30,73
Нерастворимого в алкоголе остатка	0,20	0,63
Свойства выделенных из мыла жирных к-т:		
Иодное число	80,33	83,21
Кислотное число	197,0	192,6
Титр ($t°_{застыв.}$)	40,8°	42,7°

* Анализ произведен в лаборатории Ин-та народного хозяйства им. Г. В Плеханова.

Табл. 7.—Анализ современных германских хозяйственных мыл.

Состав мыл	Ораниенбургское ядровое мыло			Мыло «Sonnenlicht»	Ядровое сальное мыло		
	№ 1	№ 2	№ 3		№ 1	№ 2	№ 3
Ангидриды жирных к-т, включая смолу (канифоль)	66,58	65,44	64,70	65,02	68,84	65,30	68,01
Смола (канифоль)	13,71	9,30	—	6,80	—	—	—
Связанная щелочь в виде Na_2O	—	7,94	7,81	7,68	8,3	7,74	8,83
Углекислая щелочь	0,75	1,30	1,62	0,97	0,34	1,26	0,73
Свободная щелочь в виде NaOH	—	0,04	—	—	—	—	—
Индифферентные соли	—	—	1,04	—	—	—	—
Неомыленный жир и неомыляемые	—	0,64	—	—	—	—	—
Свободные неомыленные жирные к-ты	—	—	—	0,09	—	—	—
Вода и летучие вещества	24,14	—	26,90	—	27,1	—	23,47

Лит.: Общая: 1) Ubbelohde's Handb. d. Chemie u. Technologie d. Öle u. Fette, B. 3, Abt. 2, Chemie u. Technologie d. Seifen u. Waschmittel, 2 Aufl., Lpz., 1929; 2) Братман М., Химизация жировой промышленности, «Маслоб.-жировое дело», Москва, 1929, *10*; 3) там же, 1927, *11*; 4) Пантюхов Н., К рационализации производства эшвегерского мыла, там же, 1926, *9*, стр. 12; 5) его же, Термокамеры, там же, 1927, *1*, стр. 10; 6) Ubbelohde's Handb. d. Chemie u. Technologie d. Öle u. Fette, B. 3, Lpz., 1929, p. 376—377; 7) Г. П. 163500/1881; 8) «Маслоб.-жировое дело», Москва, 1927, *12(29)*, стр. 25; 9) там же, 1928, *10(39)*, стр. 18; 10) Г. П. 250164; 11) Г. П. 484129; 12) Сов. П. 2004; 13) Г. П. 396155, 397222, 375369; 14) Grün A., Analyse d. Fette u. Wachse, B. 1, B., 1925; 15) Lederer, Über die Berechnung d. Austrocknung von Seifen, «Seifensieder-Ztg», Augsburg, 1924, *43*; 16) «Ztschr. f. angew. Chemie», B., 1924, p. 750; 17) «Der Seifenfabrikant», B., 1912, p. 653; 18) Fahrion W., «Ztschr. f. angewandte Chemie», Leipzig, 1898, p. 782; 19) Davidsohn J., Untersuchungsmethoden d. Öle, Fette u. Seifen, p. 26, Berlin, 1926; 20) «Chemiker-Ztg», Jena, 1914, p. 382; 21) Davidsohn J., Zur Kenntnis d. Naphtensäure u. d. naphtensauren Natriums, «Seifensieder-Zeitung», Augsburg, 1909, *51*, *52*; 22) ibidem, 1907, *3*, *4*; 23) Davidsohn J., Bestimmung d. Sodagehaltes in Seifenpulvern, «Ztschr. d. deutschen Öl- u. Fettindustrie», Berlin, 1924, p. 570; 24) Davidsohn J., Untersuchungsmethoden d. Öle, Fette u. Seifen, p. 354—362, Berlin, 1926; 25) «Seifensieder-Ztg», Augsburg, 1914, p. 347; 26) «I. Eng. Chem.», 1929, *1*; 27) ОСТ *5*, *6*, *7*, *334*.—Таланцев З. М., Технология жиров и мыл, ч. 1, Москва, 1925; Мартин Д., Мыловарение, пер. с англ., М., 1927; Браун К., Мыловарение, пер. с нем., Л., 1927; Шестаков П. И., Краткий курс лекций по производству светильных газов и технологии нефти, жиров и масел, Л., 1928; «Маслобойно-жировое дело», М., «Seifensieder-Ztg», Augsburg; «Chemische Umschau», Stg.; Schrauth W., Handbuch d. Seifenfabrikation, 6 Aufl., Berlin, 1927; Liesegang R. E., Kolloidchemische Technologie, Leipzig, 1927; Fischer M. H., Seifen und Eiweisstoffe, Leipzig, 1922; Lamborn L., La Fabrication moderne des savons, bougies, glycérines, P., 1923; Thomsen E. G., Soap-Making Manual, New York, 1922.

Мыла текстильные: ОСТ *344*; «Шерстяное дело», М., 1927, *6—7*, стр. 60, 1928, *7—8*, стр. 69; Erban F., Die Anwendung v. Fettstoffen in d. Textilindustrie, Monographien über chemisch-technische Fabrikationsmethoden, hrsg. v. L. Wohlgemuth, B. 26, Halle a/S., 1911; «Leipziger Monatsschrift für Textil-Industrie», Lpz., 1929, Jg. 44, H. 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10.

Мыла медицинские: 1) ОСТ *345*; 2) Благовещенский В. П., Туалетные мыла, СПБ, 1914.—Schrauth W., Die medikamentösen Seifen, B., 1914; Hager's Handbuch d. pharmazeutischen Praxis, B., 1927, p. 652.

Мыла туалетные: 1) ОСТ *110*; 2) Левенштейн, «Маслоб.-жировое дело», М., 1930, *1*, *2*.—Мартин Д., Туалетные и специальные мыла, пер. с англ., Москва, 1929; Schaal J., Die moderne Toilettenseifenfabrikation, 2 Aufl., Augsburg, 1926; Wiltner F., Handb. d. gesamten Parfümerie u. Kosmetik, W., 1927; Engelhardt A., Ganswindt A., Toilettenseifenfabrikation, W.—Leipzig, 1919; Fritsch J., Nouveau traité de savonnerie, Paris, 1922; «Seifensieder-Zeitung», Augsburg; «Deutsche Parfümerie-Zeitung», Berlin; «La parfumerie moderne», Paris; «The American Perfumer», New York. **Г. Петров и А. Рабинович.**

Экономика мыловаренной промышленности СССР. Душевое потребление мыла резко отставало в дореволюционный период от западноевропейских и американских норм потребления. Несмотря на некоторое увеличение выработки мыла сравнительно с довоенным, и в настоящее время душевое потребление мыла продолжает сильно отставать от иностранных норм, как это видно из табл. 8.

Табл. 8.—Потребление хозяйственного мыла в 1927 г. в различных странах.

Страны	Всего расход в тыс. *т*	Душевое потребление в *кг*
Англия	375	9
США	950	9
Франция	260	6
Германия	360	5,5
Италия	160	4
СССР	150	1

По пятилетнему плану развития жировой промышленности намечается весьма быстрое развертывание производства и увеличение выработки почти в шесть раз, позволяющее в 1933 году довести душевое потребление мыла до 6 *кг* в год, т. е. дойти до современной нормы потребления во Франции и в Германии.

Современный период развития жировой промышленности в СССР характеризуется полным отказом от импорта сырья для мыловаренного и свечного производства и работой на растительных маслах (см. табл. 9).

Табл. 9.—Сырье, применяемое в мыловарении (в СССР).

Сырье	Переработано			
	1927/28 г.		1928/29 г.	
	в *т*	в % к итогу	в *т*	в % к итогу
Растительные масла:				
Подсолнечное	84 578,4	59,2	87 943,1	54,9
Хлопковое	26 173,1	18,3	27 063,7	16,9
Кокосовое	1 412,9	1,0	1 401,5	0,9
Прочие	4 731,3	3,3	3 385,8	2,1
Отходы	7 090,6	4,9	8 484,9	5,2
Всего	123 986,3	86,7	128 279,0	80,0
Животные жиры:				
Говяжье сало	9 287,0	6,5	10 334,6	6,5
Свиное, бараньe сало и костяное сало	4 170,5	2,9	5 473,6	3,4
Всего	13 457,5	9,4	15 808,2	9,9
Суррогаты:				
Гарпиус	1 696,8	1,2	11 296,5	7,0
Мылонафт	3 711,6	2,7	4 054,1	3,1
Всего	5 408,4	3,9	16 350,6	10,1
Итого всех видов сырья	142 852	100	160 437	100

Жидкие растительные масла, предназначенные для мыловаренного и свечного производства, предварительно отверждают (см. *Гидрогенизация жиров*).

Производство гидрированного растительного масла получило заводское осуществление в СССР незадолго до войны 1914—18 гг. и сыграло огромную роль в нашей жировой промышленности; гидрированные масла (саломас) в СССР стали применяться в мыловаренном и свечном производстве взамен импортного животного сала. Вырабатываемые в Союзе растительные масла приходится распределять между пищевым рынком и жировой промышленностью. Так, в 1927/28 г. из полученных 217 тыс. *т* подсолнечного масла, 87 тыс. *т* (40%) было выделено для жировой промышленности. Намечаемое по пятилетнему плану значительное увеличение выработки растительных масел все же не сможет обеспечить потребность жировой промышленности в сырье. В связи с этим вытекает необходимость срочного изыскания новых источников сырья для обеспечения намечаемого увеличения выработки продукции жировой промышленности. К числу видов сырья, не применяемых или почти не применяемых у нас, но хорошо известных иностранной технике, относятся следующие. 1) Пищевые растительные масла: корандровое жирное масло, производство которого намечается путем прессования или экстракции корандрового семени после предварительной отгонки эфирного масла; масло из ростков кукурузы; *касторовое масло* (см.), которое до войны 1914—1918 гг. импортировалось из-за границы, а в настоящее время успешно добывается в Союзе; масла от экстракции различных жмыхов; масла дикорастущих растений; соапсток, получаемый в виде отхода при рафинации растительных масел, и пр. 2) Животные жиры. В иностранной мыловаренной и свечной промышленности широко применяются т. н. отбросные жиры, как то: жиры павших животных, кухонные жиры, пушное сало, кожное сало и пр.; утилизация этих жиров у нас пока почти не производится, между тем при правильной постановке этого дела оно может дать весьма значительное количество жиров. Далее, к числу животных жиров, предназначаемых для М., относятся: технич. сало, костяное сало, рыбьи жиры (см. *Ворвань*) и пр. 3) Гарниус. Весьма широкие перспективы на увеличение выработки мыла открываются в связи с возможностью введения в рецептуру большого процента гарпиуса (см. *Канифоль*). До войны гарниус для М. импортировался в Россию из Америки и Франции. В настоящее же время в связи с быстрым развертыванием лесохимич. промышленности намечается использование для М. гарпиуса. На мыловаренных заводах для производства гарпиусного (канифольного) мыла применяется обработка измельченного пневого осмола содовым раствором; образующееся при этом натронное мыло гарпиусных кислот добавляют к жировой смеси; выщелачивание измельченного пневого осмола содовым раствором и производство гарпиусного мыла не требует сложной дорогостоящей аппаратуры.

Из новых видов сырья для М., почти не применяемых в иностранной технике, следует отметить мылонафт (см. *Нафтеновые кислоты*) и синтетич. высокомолекулярные органич. к-ты, получаемые путем окисления солярового масла и парафина. Мылонафт получается в виде отхода при щелочной очистке керосинового и солярового дистиллатов и состоит из натронных солей нафтеновых кислот. Для целей М. их упаривают в открытых котлах, обогреваемых на голом огне или глухим паром, и затем отсаливают насыщенным раствором поваренной соли. Полученные нафтеновые мыла обладают хорошей моющей способностью, и их поэтому добавляют в варочные котлы при производстве хозяйственного мыла в количестве до 25% от веса жировой смеси. Намечается сильное увеличение выработки мылонафта; синтетические жирные кислоты получают путем окисления продувкой воздухом (в присутствии катализаторов или без них) очищенного серной кислотой солярового дистиллата, а также грозненского парафина или гача (полупродукт). Проводимые в Москве опыты окисления этих нефтепродуктов дали положительный результат. Сваренное из 50% синтетических жирных кислот, полученных окислением парафина, и 50% саломаса мыло оказалось удовлетворительного качества. В настоящее время эти опыты проводятся в полузаводском масштабе; при благоприятном завершении их синтетические высокомолекулярные жирные к-ты, получаемые окислением нефтепродуктов, смогут явиться мощным источником снабжения мыловаренной промышленности и заме-

нить в мыловарении частично натуральные жиры, уже вытесненные нефтепродуктами из ряда областей техники: из производства смазочных материалов, гарного масла, свечей и пр.

Лит.: «L'Industria saponiera», Milano, 1928, *10—11*, p. 67; «Маслобойно-жировое дело». Москва, 1928, 7, стр. 59. **М. Равич.**

Профессиональные вредности. При рассмотрении профессиональных вредностей мыловаренного производства нужно принять во внимание, что в современных рационально организованных мыловаренных з-дах имеется ряд чрезвычайно важных подготовительных и вспомогательных отделений, заслуживающих также особого внимания с точки зрения профессиональной гигиены. Сюда главным образ. относятся газовые станции, вырабатывающие водяной газ и водород, и гидрогенизационные установки. В газогенераторных отделениях работа лиц, обслуживающих газогенераторы, протекает в условиях высокой темп-ры (22—38°), достигающей в отдельные моменты (при горячем дутье) 57°; кроме того здесь имеется воздействие лучистой теплоты. При работе газогенераторов происходит выделение различных газов (окиси углерода, сероводорода, сернистого газа и др.), содержание которых в воздухе нередко достигает концентраций, могущих вызвать острые профессиональные отравления. При загрузке газогенераторов и при горячем дутье в воздух помещений поступает также в значительном количестве угольная пыль. При гидрогенизации профессиональные вредности зависят главным образом от процессов приготовления и обработки катализатора (никеля), а также вызываются работой автоклавов. При подготовке никеля образуется пыль (при размолке), при других же процессах (регенерации) в воздух помещения поступают различные газы: CO, H_2S и H_2. В самом помещении наблюдается высокая температура (у автоклавов 33—40°); в результате разложения жиров в воздухе обнаруживаются водород и летучие вещества (акролеин), могущие вызвать острые тяжелые отравления. При процессе разложения жиров на жирные к-ты и глицерин возможны ожоги от разбрызгивания серной к-ты; в воздухе образуется пыль от засыпки извести; содержание ее достигает 60 *мг* на 1 *м*³ воздуха.

Самый процесс М. протекает обычно в открытых котлах, куда по трубопроводам перекачиваются жирные к-ты и добавляются сода, канифоль и пр. При применении каустич. соды для омыления жира возникает опасность ожогов и травм глаз (замена едких щелочей кальцинированной содой значительно обезвреживает работу по заправке варочных котлов). При варке массы в котлах температура в помещениях значительно повышается, достигая 27—30° при высокой влажности (до 82%). Помимо этого отбросы производства загрязняют помещение (стены и пол) и, разлагаясь, пропитывают воздух дурнопахнущими веществами. При изготовлении дезинфицирующих медицинских мыл (применение нитробензола, фенола, сулемы и др.) образуются газы и пары, способные вызвать отравления.

Из мероприятий, направленных к борьбе с указанными вредностями и опасностями работ в мыловаренных отделениях, заслуживают внимания следующие: хранение материалов, способных загнивать, вне рабочего помещения в особых амбарах с цементированными полами; устройство зонтов над варочными котлами, соединенных с вытяжными мощными вентиляторами; механич. загрузка едких веществ в котлы; содержание в чистоте помещения (пола); устройство решеток вокруг котлов и прочных помостов для обслуживания последних; устройство автоматических механич. мешалок. Все мероприятия по технике безопасности для мыловаренного производства предусмотрены обязательным постановлением НКТ СССР от 21/XI 1924 № 477/486.

Лит.: Пресс А. А., Защита жизни и здоровья рабочих на ф-ках и з-дах, вып. 3, СПБ, 1894; Хомяков М. М., Санитарно-гигиеническое обследование мыловаренного з-да, НОТ в химической промышленности, Казань, 1925. **Д. Коган.**

МЫЛОВКА, операция типа промывки при облагораживании хл.-бумажных товаров, состоящая в обработке ткани или пряжи горячим раствором мыла в воде. М. производится гл. обр. после крашения, печати, а иногда применяется в качестве последней операции и при белении. В последнем случае М. имеет цель повысить качество бели; одновременно товар аппретируется, приобретая при этом нек-рую мягкость. Часто после беления М. соединяют с подсинькой товара, прибавляя в мыльную ванну ультрамарин или какой-нибудь синий анилиновый краситель. М. после крашения и печати имеет целью прежде всего удаление с товара недостаточно закрепленных красителей; кроме того окраски многими красителями (кубовыми, ледяными, основными) после М. становятся ярче и живее; после крашения красителями, непрочными к мылу, М. обыкновенно не производят. Мылуют раствором мыла 1—5 *г* в 1 *л* при $t°$ от 50° до кипя. В производстве для М. обычно пользуются оленевым мылом, к-рое тут же и приготовляют. Расход мыла на М. зависит от характера красителя, рисунка и аппарата, на к-ром ее производят. Обычно М. производят на мыльных барках, представляющих комбинацию трех красильных *гарнитурных барок* (см.), работающих совместно. В них товар мылуется жгутом, мыльный раствор перетекает навстречу товару из одной барки в другую. Часто М. связывают с крашением на проходном аппарате или на нем же при «проводке» после печати; в этих случаях ткань идет в расправку. М. пряжи производят в машинах для подсинивания, в красильных аппаратах, в полоскально-моечных машинах или в аппаратах варочно-отбельных (типа цитауских, см. *Бучильные котлы*) и т. д.

Лит.: Шапошников В. Г., Общая технология волокнистых и красящих веществ, М.—Киев, 1926; Handb. d. Färberei d. Spinnfasern, hrsg. v. R. Loewenthal, B. 1, Aufl. 3, B., 1921; Göhring, Rundschau im Gebiete d. Wäscherei u. chemischen Reinigung, «Leipziger Monatsschrift für Textil-Industrie», Lpz., 1929, H. 11, p. 505, H. 12, p. 537. **В. Абозин.**

МЫЛОНАФТ, см. *Нафтеновые кислоты.*

МЫЛЬНЫЕ СТИРАЛЬНЫЕ ПОРОШКИ, см. *Стиральные порошки.*

МЫЛЬНЫЙ КАМЕНЬ, сапонит, минерал, силикат тальковой группы, является

продуктом разложения ферромагнезиальных минералов; содержит до 50% талька и кроме того глинозем, примеси хлорита, серпентина, пироксена, кварца и немного карбонатов; залегает в виде метаморфич. массивной или слоистой породы; цвет белый, серый, желтоватый, зеленоватый или красновато-бурый; жирен наощупь; $t°_{пл.}$ М. к.—1 350—1 400°. Химич. состав непостоянен; главные составные части М.к.: 40—60% SiO_2; 5—12% Al_2O_3; 8—14% $FeO+Fe_2O_3$; 23—32% MgO. М. к. встречается в Силезии (Франкенштейн), Швеции (Даларне), в Корнваллисе; главные месторождения находятся в США (Виргиния, Калифорния), Канаде (высокого качества). Добыча производится открытыми разработками. М. к. широко применяется для изготовления домашней и лабораторной посуды, кислотоупорных ванн, прачечных баков, умывальников, крышек столов, распределительных досок, при изготовлении огнеупорного кирпича, в фаянсовом деле и как заменитель низкосортного талька. Главным потребителем мыльного камня являются США. Цена мыльного камня ок. 30 долларов за *т*.

Лит.: «НИ», т. 3; Лебедев Г., Учебник минералогии, СПБ, 1907; Jadoo R., Non-Metallic Minerals, N. Y., 1925; Fay A., A Glossary of the Mining a. Mineral Industry, Wsh., 1920. **И. Мушенко.**

МЫШЬЯК, As, химич. элемент V группы периодич. системы, аналог фосфора, сурьмы и висмута. Ат. вес 74,96; ат. номер 33. Валентность=3 и 5. Свободный М. известен в нескольких аллотропич. видоизменениях, частью кристаллических (металлич. и желтый М.), частью аморфных (черный, коричневый и серый М.); из них технич. значение имеет исключительно наиболее устойчивая форма — обыкновенный кристаллический, или металлический, М.

Металлич. М.—хрупкое тело стально-серого цвета, явственно кристаллич. сложения (кристаллы ромбоэдрич. формы); на свежем изломе имеет металлич. блеск, при лежании на воздухе тускнеющий. Твердость по шкале Моса—3,5; сжимаемость $4{,}5\cdot10^{-6}$ *см*²/*кг*. Уд. вес $D_4^0=5{,}727$. Коэф. линейного расширения $4{,}7\cdot10^{-6}$; уд. теплоемкость 0,083 cal/*г* (в пределах 21÷68°); уд. электрич. сопротивление $35\cdot10^{-6}$ Ω-*см* (при 0°), $t°$-ный коэф. сопротивления $3{,}9\cdot10^{-3}$; М. диамагнитен. При нагревании М. возгоняется не плавясь, т. к. $t°$ его кипения (возгонки), равная 616°, лежит ниже чем $t°_{пл.}$ (~ 800°); М. под увеличенным давлением м. б. расплавлен в жидкость. Пары М. бесцветны; при $t°<1\,700°$ они содержат молекулы состава As_4, выше 1 700° — молекулы As_2. При быстрой конденсации паров получается желтый М. уд. веса 1,97, восковидный, образующий неясные кристаллы правильной системы,— растворимый в сероуглероде, легко окисляющийся на воздухе и люминесцирующий (свойства, напоминающие желтый фосфор). В химическом отношении металлич. М. обладает средней активностью; при накаливании на воздухе он распространяет характерный чесночный запах и легко окисляется в трехокись As_2O_3; в измельченном виде или в смеси с окисляющими веществами он быстро сгорает ярким голубовато-белым пламенем, выделяя белый дым As_2O_3. Азотной кислотой и царской водкой М. окисляется в мышьяковую к-ту; соляная кислота действует на М. очень медленно и только в присутствии воздуха; при сплавлении М. с едкими щелочами получаются соли мышьяковистой кислоты. М. непосредственно соединяется с галоидами (при обыкновенной $t°$) и с серой (при нагревании). С металлами М. образует сплавы, обладающие (по сравнению с чистым металлом) пониженной тягучестью и электропроводностью и повышенной твердостью и хрупкостью; присутствие 0,1—0,3% М. в железе делает его ломким и неспособным к сварке. Многие металлы дают с М. определенные стехиометрич. соединения (т. наз. арсениды), образование которых сопровождается значительным экзотермич. эффектом. Вследствие легкой окисляемости As в ядовитую трехокись, пыль М. является промышленной вредностью и может служить причиной хронических отравлений в условиях производства. В природе М. встречается изредка в самородной форме, чаще же в виде сернистых и кислородных соединений (см. *Мышьяковые руды*). В небольших количествах соединения мышьяка присутствуют в морской воде, в воде многих минеральных источников, а также в животных и растительных тканях.

Получение металлического М. производится в довольно ограниченных размерах, так как главная часть мышьяковых руд перерабатывается на белый мышьяк, As_2O_3 (см. *Мышьяка соединения*). Существует несколько методов переработки мышьяксодержащего сырья на металлический М. По способу, практикуемому в Германии, мышьяк получают термической возгонкой арсенопирита (мышьяковистого колчедана) в муфельных печах, по ур-ию

$$FeAs_2\cdot FeS_2=2FeS+2\,As.$$

Муфели круглого сечения, изготовленные из огнеупорной глины, располагаются в печи горизонтально и перпендикулярно к колосникам топки, обычно в два яруса; выступающий из печи конец каждого муфеля соединяется посредством трубки из листового железа с керамиковым приемником. Загрузка на 1 муфель ок. 350 *кг* руды; чтобы избежать образования летучего сернистого мышьяка, к ней добавляют в небольшом количестве поташ или известь. При прокаливании, длящемся 8—12 час., возгоняющийся М. конденсируется в соединительной трубке и приемнике. При надлежащей $t°$ железной трубки (она должна быть лишь немного ниже, чем $t°$ внутри муфеля), главная часть М. (около 60% всего As руды) оседает в ней в виде кристаллич. массы, непосредственно идущей в дело. Кроме того ок. 10% М. собирается в керамиковом приемнике в форме порошка, загрязненного примесью сульфида; этот продукт подвергают вторичной возгонке или же перерабатывают на «красное мышьяковое стекло» (сернистый мышьяк). Остаток в муфелях представляет сернистое и мышьяковистое железо; его обычно подвергают окислительному обжигу с улавливанием остального М. в виде As_2O_3.

Другой способ, применявшийся некоторое время в Америке, мало рентабелен и пригоден лишь для очень богатых руд (с 46—73%

As). Он основан на возгонке М. из расплавленной руды в дуговой электрической печи, в атмосфере инертного газа. Обогащенная руда засыпается в печь через воронку и попадает в пространство между двумя вертикальными угольными электродами, где и расплавляется; во избежание электролиза печь работает на переменном токе. Во время процесса через печь и соединенные с нею приемники-ловушки циркулирует медленный ток азота, увлекающий с собою пары М. (азот получается за счет воздуха, имеющегося в аппаратуре и отдающего свой кислород на окисление первых порций М.). Когда приемник разогреется, ток газа переключают в обратную сторону и собирают М. во второй приемник, расположенный симметрично с первым по другую сторону печи. Расход тока при этом способе достигает приблизительно 1 000 kWh на 1 *т* руды.

Методы, основанные на восстановлении мышьяковистого ангидрида углем в муфельных печах, дают б. ч. продукт, сильно загрязненный возгоняющимся As_2O_3; имеются однако указания, что путем технич. усовершенствований удается и при этом процессе получать М. достаточной чистоты. Для переработки сульфидных руд на М. был разработан также способ, заключающийся в сплавлении руды с сульфатом натрия, пиритом (FeS_2), углем и содой; возгоняется смесь, которая состоит из мышьяковистого ангидрида (As_2O_3) и тиоарсената натрия (Na_3AsS_4); прокаливанием с углем и железными опилками она восстанавливается в металлический М. Предлагавшиеся способы получения М. мокрым путем—выщелачиванием руд едкими или сернистыми щелочами и последующим электролизом щелоков—не получили промышленного применения.

Применение металлич. М. в технике довольно ограничено. Он используется гл. обр. как добавка к свинцу при изготовлении охотничьей дроби (от 0,4 до 0,8% As) и шрапнельных пуль. Иногда М. добавляют к меди и медным сплавам (ок. 0,5%) для повышения твердости и уничтожения пористости в отливках; такие сплавы находят применение в артиллерийской технике. Присадка М. к зеркальной бронзе (до 2% As) придает ей максимальную твердость и способность принимать полировку.

Лит.: Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 1, p. 577; Chemische Technologie der Neuzeit, hrsg. von O. Dammer—Fr. Peters, 2 Aufl., B. 3, Stuttgart, 1927; Г. П. 67973, 245149; Ан. П. 17027; Ам. П. 927021. См. также *Мышьяка соединения*.

В. Яновский.

© ГПНТБ

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ К XIII ТОМУ ТЭ.

Абазин 760.
Абрикотин 345.
Аверс 518.
Авиационные двигатели 694.
Автопиано 793.
Айран 292, 450, 476.
Акоины 759.
Акратотермы 349.
Аксоида неподвижная 181.
Аксоида подвижная 181.
Акты (испускание и поглощение света) 111.
Аллоксан 750.
Альдозы 525.
Альт 806.
Альфа-аппарат 388.
Амберит 275.
Аммофосы 354.
Анализ капельный 325.
Анализ капиллярный 324.
Анализ мыла 935.
Английская красная 846.
Английский рожок 800.
Ангстрем 25.
Антенна Александерсона 361.
Антимониллактат 478.
Апертура объектива 306.
Апоморфин 540, 541.
Аппараты дозировочные 346.
Ар 25.
Арабиноза 525.
Арсениды 946.
Арсенопирит 946.
Арфа 821.
Арча 419.
Асидола 915.
Ассоциация 426.
Аэропланы катапультные 533.

Баббиты 708.
Балалайка 820.
Банданион 822.
Барабан бильный 466.
Барабан дубной 566.
Барабан штифтовый 446.
Барабаны 803.
Бацилла болгарская 450.
Беление луговое 259.
Беление мехов 257.
Бернулли гипотеза 149.
Бисабол-мирра 359.
Биурет 752.
Бланкит 924.
Бликовое серебро 521.
Блоки цилиндров 715.
Бодо аппарат 362.
Болтушка 242.
Болты 678.
Брео-аппарат 388.
«Бриллиант» (фильтровальная масса) 344.
Бродильники термические 868.
Брожение 480.
Брожение ацетоновое 290.
Брожение кислотное 290.
Брожение лимоннокислое 290.
Брожение спиртовое 290.
Бромизовалерилмочевина 760.
Бромурал 760.
Бронза 708.
Букет (вин) 289.
Бунчук 804.
Бураты 830.
Буффирование 566.

Вадозные минер. источники 352.
Валики кулачковые 713.
Валы коленчатые 662.
Валы многоколенчатые 710.
Валы составные 665.
Ванна красильная 247.
Варенец 450.
Вариации перемещений 215.
Вассерглясс 916.
Вата минеральная 335.
Вашгерды 503.
Вектор главный моментный 209.
Величины сопряженные 110.
Верант 302.
Веревочный многоугольник 228.
Вереск кедровый 419.
Верблей 521.
Взаимность деформаций 158.
Вилка 724.
Винт 104.
Винты скрепления 80.
Виолена 799.
Виолончель 806.
Виоль д'амур 806.
Вкладыши подшипников 660.
Возбуждающее состояние 108.
Волновое число 112.
Волны вероятности 114.
Волны материи 114.
Волосы направляющие 270.
Волосы остевые 270.
Волосы промежуточные 270.
Волосы пуховые 270.
Вольфрамит 444.
Ворсование 433.
Восковка 385.
Встряхиватели 95.
Вульфенит 436.
Выборка канавок 74.
Выделка квасцами 245.
Выделка мехов 240.
Вымол 833.

Газированное молоко 448.
Гайка 104.
Галактоза 525.
Гармонирование 465.
Гармоники 821.
Гармониум 798.
Гармониум катодный 799.
Гарпиус 942.
«Гвозди» (глиняные клинышки) 21.
Гексозы 525.
Гекто 25.
Гектографическая масса 384.
Гектографические аппараты 383.
Гематин 251.
Геометрия масс 162.
Гептозы 525.
Герабол-мирра 359.
Германий 757.
Героин 541.
Гидравлические прессы 19.
Гидразин 752.
Гипероль 757.
Гипоксантин 750.
Гитара 814.
Главный момент количества движения 224.
Глины коллоидальные 917.
Глюкоза 525.
Гобой 800.
Головки 678.
Голье 565.
Гомеополярные вещества 425.
Гомогенизатор 448, 453.
Гомогенизированное молоко 448.
Гомомартонит 15.
Гонги 804.
Горелое место шкурки 270.
Градиент геотермический 349.
Градин 453.
Грамм 23.
График ускорения 170.
Графическая динамика 227.
Графостатика 226.
Гриф 805, 806, 807, 815.
Грохот 469.
Гуанидин 759.
Гуанилмочевина 753, 755.
Гука закон 149.
Гуманизированное молоко 449.
Гурчение 515.
Гусиная шея (погрузочная машина) 92.

Д'Аламбера начало 201.
Д'Аламбера принцип 201.
Двигатель 727.
Движение винтовое 183.
Движение вращательное 173.
Движение вынужденное 108.
Движение корпускулярное 161.
Движение мгновенное 183.
Движение механической системы точек 172.
Движение относительное 184.
Движение переносное 184.
Движение перманентное 174.
Движение поступательное 173.
Движение равнозамедленное 169.
Движение равномерно вращательное 167.
Движение равнопеременное 169.
Движение равнопеременно вращательное 167.
Движение равноускоренное 169.
Движение самопроизвольное 108.
Движение сложное 184.
Движение спонтанное 108.
Движение центральное 171.
Двуокись молибдена 438.
Двусернистый молибден 442.
Двухлористый молибден 441.
Дебего-аппарат 388.
Дебего-рекс-машина 388.
Дека 25, 806, 809.
Демодулятор 370.
Демпфер 791.
Дернение 564.
Деташер 832.
Детское молоко 449.
Деци 25.
Диантрахинонилмочевина 757.
Дилактилмолочная кислота 478.
Диметилдифенилмочевина 758.
Димолочная кислота 478.
Динамика 162.
Динамика точки 188.
Динафтилмочевина 757.
Дионин 541.

Дипропилбарбитуровая кислота 760.
Диуреиды 757.
Дифенилкарбазид 759.
Дифенилкарбазон 759.
Дифенилмочевина 757.
Дифенилтиомочевина 758.
Дифференциальное реле 363.
Дифармин 852.
Дициандиамид 753.
Диэтилбарбитуровая кислота 760.
Диэтилдифенилмочевина 758.
Дозаторы 95.
Домра 819.
Допаг-аппарат 388.
Достоверность 109.
Дранье 831.
Дреготин 388.
Дрейфование 530.
Дубление красное 263.
Дубление мехов хромовое 246.
Дубление хромовое 264.
Дубление черное 263.
Дунеты 832.
Дуплекс 363.
Духовые инструменты 799.
Дудка (горло) 270, 808.

Едкое кали 916.

Живая сила 194.
Жирование 245.
Жиры клеевые 913, 917.
Жиры отбросные 942.
Жиры ядровые 913.

Загривок 270.
Закладка выработанного пространства 95.
Закладка мокрая 100.
Закладочная машина 99.
Заличка 565.
Замыкание силой 103.
Звенья 101.
Зернохранилище 836.
Зона 414.
Зуммирование 373.

Икс 25.
Иммерсия 306.
Импелеты 506.
Импульс силы 194.
Импульс силы полный 194.
Импульс силы элементарный 194.
Индиго минеральное 440.
Индиго молибденовое 440.
Интенсивность света 112.
Подивал 760.
Ионная решетка 427.
Искусственные лярдовые масла 83.

Каймак 451.
Камнеотборник 415.
Канонические уравнения 159.
Кантовка 564.
Канцеллы 798.
Капсель 20, 21.
Кантак 353.
Канут-мортуум 846.
Карбамид 751.
Карбаминат 754.
Карбанилид 757.
Карбиды молибдена 442.
Карбонатная щелочь 933.
Кардиоид-конденсор 307.
Кардочки 242.
Картер 665.
Картеры моторов 713, 714.
Касситерит 444.
Кастаньеты 805.
Катык 450.
Качалка 274.
Качество света 112.
Квадруплекс 364.
Квантовые условия 108.
Квантовые числа 108.
Кварц 16.
Квашение 260.
Квашение окупочное 243.
Квашение хлебное 243.
Кедр древовидный можжевельниковидный 419.
Кедр красный 419.
Кетозы 525.
Кефир 450, 476.
Кефир кавказский 292.
Кило 25.
Киловатт 764.
Килограмм 24.
Килодикоуль 769.
Килоньеза 769.
Кинематика 162.
Кинетика 162.
Кипарис красный 419.
Кисель мучной 242.
Кислое молоко 450.
Клавиши 798.
Клавишные музыкальные инструменты 788.
Клано-машина 420.
Кларнет 801.
Классическая система 162.
Клейнпластер 553.
Кованина 510.
Кокили 393.
Колер 345.
Колеса 744.
Колеса некруглые 130.
Количество движения 194.
Количество движения результирующее 224.
Колковый ящик 807.
Колокола 804.
Колонка отжимная 416.
Колотильные машины 257.
Кольца поршневые 674.
Комбинационные тона 314.
Комплексообразование 426.
Компонента векторная 655.
Компонента нормальная 191.
Компонента тангенциальная 191.
Компоненты 167.
Компрессор 684.
Конвейер качающийся 90.
Конвейеры ленточные 90.
Конвейеры скребковые 90.
Конденсированное молоко 449.
Кондиционеры 833.
Консервирование 292.
Консекутивные реакции 523.
Континуумы 161.
Контрабас 806.
Концертино 822.
Координаты свободные 200.
Корешок 274.
Коробка скоростей 740.
Коса на колоде 260.
Кофеин 751.
Коэфициент всестороннего сжатия 396.
Коэфициент кручения 397.
Коэфициент модуляции 400.
Коэфициент мощности номинальный 767.
Коэфициент растяжения (сжатия) 394.
Коэфициент сдвига 396.
Красная дубка 260.
Красный железняк 16.
Крашение мехов 246.
Крейцконф 680.
Кремоны диаграмма 157.
Кристаллизация мыл 911.
Кристаллический фиолетовый 13.
Кристаллореакция 320.
Кровавик 846.
Крокус 846.
Кронпробки 346.
Круг перегибов 136.
Круг перемен 180.
Круповейка 833.
Ксантин 750.
Ксилоза 525.
Ксилофоны 804.
Кузов (муз. инструменты) 806.
Кумыс 450, 476.
Кумыс степной 292.
Купажирование 345.
Купорка 346.

Лабиальные трубы 796.
Лагранжа уравнения движения 2-го рода 222.
Лагранжева функция системы 221.
Лактаз 480.
Лактат висмута 478.
Лактат железа 478.
Лактат калия 477.
Лактат кальция 478.
Лактат магния 478.
Лактат натрия 477.
Лактат цинка 478.
Лактаты 477.
Лактаты титановой кислоты 478.
Лактид 476, 478.
Лактилмолочная кислота 478.
Лактоза 479.
Лампа модуляторная 404.
Лапы 270.
Латунь 708.
Леквас 267.
Литавры 803.
Литр 24.
Лобик 270.
Ложки 804.
Лопаты пневматические 87.
Лошадиная сила 764.
Луна 301.
Луна ткацкая 303.
Люта 818.
Ляб 480.

Магнезит 16.
Мандола 818.
Мандолина 817.
Мандолина-никколо 818.
Манноза 525.
Мандали 797.
Маргарин 452.
Масло монополь 925.
Материализированное молоко 449.
Материальная точка 161.
Мацун 450.
Машина лопаточная (для отмывки) 262.
Машина разводная 262.
Машина стригальная 256.
Машинные передатчики 402.
Машины гидравлические отбойные 89.
Машины закладочные 96, 97.
Машины погрузочные 91.
Мега 25.
Мегомит 275, 279.
Меготальк 275, 279.
Медиатор 818.
Мединал 760.
Медные духовые инструменты 801.
Медный колчедан 444.
Мездра 240.
Мездрение 240, 260, 563.
Мездрильная машина 241.
Мездряк 260.
Мезоторий радиоактивный 503.
Меланин 271.
Мелкоплодник 300.
Меловики 341.
Металлофоны 804.
Метил-α-бромэтилкетон 15.
Метилвиолет 13.
Метиловый фиолетовый 13.
Метилпентозы 525.
Метилформиат 852.
Метод деформаций 159.
Метод перемещений 159.
Метод сил 159.
Метод смешанный 159.
Методы беления мехов восстановительные 257.
Методы беления мехов окислительные 257.
Метр 23.
Метр усадочный 392.
Механизм наматывающий 649.
Механизм натягивающий 649.
Механизм очищающий 649.
Механизмы многозвенные 106.
Миканит белый коллекторный мягкий 279.
Миканит белый коллекторный твердый 279.
Миканит гибкий 279.
Миканит жаростойкий 279.
Миканит коммутаторный (Hard Micanite) 279.
Миканит коричневый жесткий 279.
Миканит коричневый твердый 279.
Миканит коричневый формовочный 279.
Миканит теплостойкий 279.
Миканитовая бумага 279.
Миканитовые гильзы 279.
Микартон 287.
Микафолий 279, 280.
Микро 25, 294.
Микроанализ 319.
Микробия 288.
Микрон 25.
Микроскоп панкратический 309.
Микроскоп поляризационный 309.
Микроскоп простой 301.
Микроскоп сложный 303.
Микрофон-адаптер 311.
Микрофон газовый 318.
Микрофон двойной 314.
Микрофон конденсаторный 315.
Микрофон ленточный 311.
Микрофон пьезоэлектрический 318.
Микрофон световой 317.
Микрофон угольный 312.
Микрофонэлектродинамический 311.
Микрофон электромагнитный 311.
Миллиотин 388.
Милли 25.
Миллитермин 769.
Мина донная 358.
Мина дрейфующая 358.
Мина плавучая якорная 357.
Миндаль 330.
Миндаль горький 330.
Миндаль сладкий 330.
Минералы 331.
Минеральные источники вадозные 352.
Мины контактные 356.
Мины морские автономные 356.
Мины морские станционные 356.
Мины неконтактные 356.
Мины обсервационные 357.
Мины самодвижущиеся 359.
Мирра 25.
Многоугольник силовой 190.
Модели гипсовые 390.
Модели деревянные 389.
Модели металлические 390.
Модели цементные 390.
Модуль упругости 394.
Модуль Юнга 393.
Модуляция абсорбцией 401.
Модуляция балансная 374, 412.
Модуляция магнитная 402.
Модуляция на аноде 403.
Модуляция на сетке 407.
Модуляция поглощением 401.
Модуляция расстройкой 402.
Модуляция смещающим напряжением 408.
Модуляция частотой 412.
Можжевелевое масло 419.
Мойка цилиндрическая 413.
Молекул активизация 522.
Молекул дезактивизация 523.
Молекулы атомные 425.
Молекулы гетерополярные 425.
Молекулы гомеополярные 425.
Молекулы ионные 425.
Молекулярная решетка 427.
Молескин-сукно 433.
Молибдаты 440.
Молибденит 442, 444.
Молибденовая кислота 439.
Молибденовые руды 439.
Молибденовый ангидрид 438.
Молибденовый синий 440.
Молот воздушный 461.
Молот пневматический 461.
Молотки пневматические бурильные 86.
Молотки пневматические отбойные 87.
Молотьба машинная 465.
Молотьба ручная 465.
Молочные продукты 448.
Молочный ангидрид 478.
Молочный сахар 446—447.
Молы ряжевые 423.
Молы свайные 423.
Момент вращающий 212.
Момент дипольный 426.
Момент индуцированный 426.
Момент инерции 225, 482.
Момент количества движения 501.
Момент силы 502.
Момент тока 22.
Моменты центробежные 226.
Монакс-комбинатор 388.
Монетные сора 509, 521.
Монжю 528.
Монозы 524.
Монополь-масло 524.
Мороженое 451.
Морсы 343.
Мост Вина 543.
Мост Кюпфмюллера и Томаса 546.
Мостик Кольрауша 547.
Мотка крестовая 651.
Моторы 653.
Мочильная яма 762.
Мочка водяная 762.
Мочка росовая 762.
Мощность активная 766.
Мощность действительная 766.
Мощность заводская 766.
Мощность индикаторная 765.
Мощность кажущаяся 766.
Мощность литровая 766.
Мощность номинальная 766.
Мощность реактивная 766.
Мощность телеграфная 403.
Мощность телефонная 403.
Мощность тормозная 765.
Мощность эффективная 765.
Моющее действие мыла 911.
Мультиграф 388.
Мумия фиолетовая 846.
Мурексидная реакция 751.
Мускон 853.
Мусорное волокно 867.
Муфта Галля 899.
Муфта глухая 892.
Муфта карданная 895.
Муфта коническая затяжная 892.
Муфта предохранительная 901.
Муфта расширительная 894.
Муфта уравнительная 894.
Муфта электромагнитная 901.
Муфты кабельные 901.
Муфты подвижные 894.
Муфты фрикционные 896, 897.
Муфты эластические 894.
Мыла белые 918.
Мыла восковые 918.
Мыла жидкие 937.
Мыла зеленые 925, 926.
Мыла канифольные 919.
Мыла клеевые 937.
Мыла лощено-белые 918.
Мыла медицинские 926.
Мыла мягкие 922.
Мыла наливные 917.
Мыла нафтеновые 926, 942.
Мыла оренбургские 918—919.
Мыла пилированные 928.
Мыла полуядровые 920.
Мыла прозрачные 922.
Мыла серебряные 922.
Мыла туалетные 927.
Мыла шлифованные 918.
Мыла экономические 922.
Мыло 910.
Мыло бастовое 925.
Мыло буровое 926.
Мыло гарпиусное 942.
Мыло дегтярное 927.
Мыло ихтиоловое 927.
Мыло каломелевое 927.
Мыло камфорное 927.
Мыло карболовое 926.
Мыло керосиновое 925.
Мыло кислое шелковое 925.
Мыло клеевое 917.
Мыло креозотовое 927.
Мыло марсельское 925.
Мыло-монополь 925.
Мыло мраморное 920.
Мыло нафтоловое 927.
Мыло оленновое 925.
Мыло пемзовое 927.
Мыло салициловое 927.
Мыло серное 927.
Мыло серонафтоловое 927.
Мыло сулемовое 927.
Мыло таннидовое 926.
Мыло тимоловое 927.
Мыло эшвегерское 920.
Мыло ядровое 917.
Мылонафт 915, 925, 942.
Мыльный клей 917.
Мышьяк белый 946.
Мышьяковая кислота 945—946.
Мышьяковистый ангидрид 948.
Мышьяковистая кислота 946.
Мышьяковистый колчедан 946.
Мюльные початки 648.

Навал 562.
Навье гипотеза 149.
Навье закон 153.
Нагольные изделия 260.
Надмолибденовая кислота 439.
Нажар 564.
Напряжение растягивающее 394.
Напряжение сжимающее 394.
Нарезание резьбы 70.
Нафтеновые кислоты 937.
Нецищеные растительные масла 941.
Нестационарные процессы 115.
Несущая волна 411.
Несущая частота 411.
Нитрогуанидин 760.
Нитрозогуанидин 760.
Нитромочевина 759.
Нитрофоски 354.
Нитиной многоугольник 228.
Нутриции 449.
Ньютона 3-й закон 204.

Обезжиривание 262, 269.
Обезволивание 564.
Обжор зольный 564.
Обойка 835.
Обобщенные компоненты сил 222.
Обработка красильная 239.
Обработка скорняжная 240.
Обработка сырейная 239.
Обратимые реакции 523.
Объективы иммерсионные 305.
Объективы сухие 305.
Овчина романовская 260.
Овчины меховые циганые 266.
Огузок 270.
Одноатомная молекула 424.
Окись кобальта 16.
Окись цинка 16.
Округа охраны 353.
Оксипропионовая кислота 475.
Окуляр компенсационный 305.
Оловянный камень 444.
Опалограф 386.
Операторы 118.
Опрокиды 95.
Опушка 515.
Орган 795.
Оропон 565.
Орсель 345.
Ортизон 757.
Осмол пневый 942.
Осмотон 917.
Остойчивость 529.
Ось вращения мгновенная 174, 182.
Ось центральная 211.
Отбел 516.
Отбелка мыла 924.
Отбросные жиры 942.
Отволаживание 262.
Отжиг 70.
Откатка 255.
Откатка пикур 241.
Отмивка 255.
Отмока 240, 260.
Относительное удлинение 394.
Отрубки миндальные 331.
Охлаждающие жидкости 83.
Очистка жира 932.

Пара-мыло 925.
Пара с ненолными связями 103.
Парабановая кислота 750.
Параболоид-конденсор 307.
Параллельные реакции 523.
Парамолибдаты 441.
Пастеризация 293, 448.
Пахта 449.
Пахтанье 449.
Пектаза 761.
Педали 797.
Пектин 761.
Пектиновая кислота 761.
Пектиновое брожение 761.
Пектиновое вещество 761.
Пектоза 761.
Пектозиназа 761.
Пелот 791.
Пенное число 935, 938.
Пентозы 525.
Пептонизация белков 282.
Пергидрит 757.
Передача 738.
Передир 832.
Перемочка льна 761.
Перкаглицерин 477.
Перроны 42.
Перфораторы коловратные 87.
Печи камерные газовые 21.
Печи камерные непрерывнодействующие 21.

Печи кольцевые газовые 21.
Печи периодические 21.
Пианино 788.
Пиано-репродукторы 794.
Пикель 243.
Пиролюзит 16.
Пирсона квадрат 451.
Питатели 95.
Плектр 818.
Плечо 168.
Плотность множества 117.
Поваренная соль 916.
Повеллит 441.
Поворотный круг 136, 178.
Подвеска заднего колеса 727.
Подгриф 808.
Подмылье 925.
Подсед 564.
Подчистка (шкур) 241.
Подшерсток 273.
Поковки 706.
Поле сил 195.
Полевой шпат 16.
Полет парящий 96.
Ползун цилиндрический 104.
Полилактилмолочные кислоты 478.
Полимолибденовая кислота 439.
Полоида 129.
Полуторная окись молибдена 439.
Полюс поворота 178.
Поляризация 426.
Полярная молекула 425.
Помол вальцовый 832.
Помол простой 831.
Поршни 715.
Постав 835.
Потазоты 354.
Поташ 916.
Потенциал 195.
Потенциал кинетический 221.
Потерянная сила 201.
Правка 269.
Прель 270.
Пресило-машина 388.
Прессы автоматы 20.
Прессы мыльные 935.
Прибыли (модель) 393.
Прикладная минералогия 333.
Принцип виртуальных работ 215.
Принцип возможных перемещений 215.
Принцип Гамильтона 220.
Принцип инерции 189.
Принцип наименьшего действия 220.
Принцип неопределенности 118.
Припуск на обработку 392.
Припуск на усадку 392.
Пробивка 250.
Прогибомер 620.
Прозол 564.
Пропонал 760.
Простоквана 450.
Простоквана мечниковская 476.
Протравление 249.
Проходка выработок 86.
Пуансон 513.
Пульсометр 529.
Пурин 750.
Пушнина 268.
Пьеза 769.
Пятихлористый молибден 442.

Работа элементарная 192.
Радиопередача многократная 380.
Радиоприем многократный 381.
Радиоторий 503.
Разбивка 240.
Развол кожи 563.
Разрешающая способность микроскопа 308.
Рама мотоцикла 721.
Рамноза 525.
Раскачивание амплитуды тока 366.
Раскрытие мотора 653.
Распылители 343.
Рассев 833.
Растворимое стекло 916.
Растворимые масла 71.
Растворимые сверлильные масла 83.
Расчет на литраж 265.
Реакция связи 200.
Револьвер 304.
Редуктор 131.
Релятивистская система 162.
Ремедиум 508.
Рибоза 525.
Родерталь 388.
Ронеотип 388.
Рота-принт 386.
Рояль 788.
Рулетта 176.

Садка 562.
Саксофон 801.
Саломас 915.
Самоочищение водоемов 331.
Самоочищение почвы 331.
Санти 25.
Санонит 944.
Сатураторы 341.
Сатурация 340.
Сбонны 469.
Сверхпианино 799.
Свечи (фильтр) 340.
Свинцовые белила 17.
Связи геометрические 173.
Связи кинематические 173.
Связь контрольная 376.
Сгущенное молоко 449.
Семикарбазид 759.
Семикарбазоны 759.
Серый колчедан 444.
Сила движущая 200.
Сила инерции 201.
Сила инерции центробежная 201.
Сила потенциальная 195.
Сила связи 200.
Сила тормозящая 192.
Силициды молибдена 442.
Силовое поле 195.
Силы антипараллельные 208.
Силы внешние 217.
Силы внутренние 217.
Силы центральные 192.
Сименс (S) 389.
Синтетическое стекло 755.
Синяя окись молибдена 440.
Сироп вишневый 345.
Сироп клюквенный 345.
Сироп лимонный 345.
Сироп черносмородинный 345.
Сиропы 343.
Системы сил 204.
Сита 830.
Ситовейки 833.
Ситро 345.
Сквозняки (шкуры) 271.
Скорости ортогональные 177.
Скорость секториальная 168.
Скрипка 805.
Сливки 451.
Сливки битые 452.
Сливки искусственные 452.
Слюдяная башня 287.
Слюдяная бумага 279.
Слюдяная лента 279.
Слюдяная японская бумага 279.
Слюдяное полотно 279.
Слюдяной картон 279.
Слюдяной шелк 279.
Слюдяные трубки 279.
Смет 862.
Сметана 451.
Смычковые музыкальные инструменты 805.
Смычок 814.
Снятие затылков зубцов 74.
Соан-сток 914, 942.
Сода кальцинированная 916.
Сода каустическая 916.
Соленость 534.
Соломотряс каскадный 468.
Соломотряс клавишный 468.
Соломотряс пальчатый 468.
Соль Грегори 540.
Сонар 799.
Сорбоза 525.
Сочленение незамкнутое 103.
Сочленения кинематические 102.
Спектрограф массовый 432.
Спектроскопия молекулярная 428.
Спелость шкурки 273.
Спинка 270.
Способ намазной 250.
Способ окуночный 250.
Способ щита 36.
Сталь легированная 68.
Станина 665.
Стартер 744.
Статика 162, 204.
Стационарное состояние 107.
Стекло покровное 304.
Стекло предметное 304.
Стеллит 437.
Стен 769.
Степень замкнутости 427.
Степень свободы 213, 427.
Степень свободы системы 173.
Степень свободы точки 200—201.
Стерилизация 292, 293.
Стерилизованное молоко 448.
Стойка 101, 665.
Стукотип 388.
Субстанция световая 111.
Сульфат натрия 916.
Сульфиды молибдена 442.
Суррогат мыльный 915.
Сухое молоко 449.
Сушила 261.
Сходá 832.
Сцепление 743.
Съемка пластом 269.
Съемка чулком 269.
Сыпня 566.
Сычужный фермент 480.

Там-там 805.
Тамбурин 803.
Тарар 835.
Тарелки 804.
Тахотип 388.
Теплость 273.
Телеметры 625.
Тело отсчета 161.
Тенор 806.
Теорема о взаимности деформаций 158.
Теорема о взаимности работ 158.
Теория квантов 427.
Теории сооружений 146.
Теория упругости 146.
Теплоемкость молярная 428.
Терменвокс 799.
Термия 769.
Термомикрофоны 317.
Термы 349.
Тетрафенилмочевина 757.
Тетраэтилмочевина 758.
Тетрозы 525.
Технология меха 240.
Тиоарсенат натрия 948.
Тиокарбамид 758.
Тиокарбанилид 758.
Тиомочевина 758.
Ток несущий 369.
Толкатели 94.
Тонна 25.
Торий 503.
Тормоза 744.
Трактура 796, 797.
Трейбование 522.
Треугольник 804.
Трехокись молибдена 438.
Трехповодковая группа 106.
Трехсернистый молибден 442.
Треххлористый молибден 441.
Трещотки 805.
Трнер 831.
Триозы 525.
Трубы органа 796.
Тубафоны 804.
Тубус 304.
Туннельные печи 21.
Турбина Фурнерона 831.
Турбомика 283.
Тюбы (туннели) 36.
Тягомер дифференциальный 298.

Угар (металлов) 508.
Угол диэлектрических потерь 545.
Угол сдвига 396.
Угол трения 124.
Ультраконденсор 307.
Ультрамарин 917.
Ультрамикроскоп 307.
Ультрацентрифугирование 432.
Упругая линия 155.
Упругость тела объемная 396.
Ураты 750.
Уреабромин 757.
Уреаза 752.
Уреиды 756, 760.
Уретаны 752.
Усадка металла 392.
Усиление мостов 627.
Ускорение векторное 169.
Ускорение линейное 168.
Ускорение нормальное 171.
Ускорение поворотное 180.
Ускорение полное 169.
Ускорение полюсное 180.
Ускорение поперечное 172.
Ускорение радиальное 172.
Ускорение секториальное 172.
Ускорение скалярное 168.
Ускорение среднее линейное 168.
Ускорение среднее полное 169.
Ускорение среднее угловое 167.
Ускорение тангенциальное 171.
Утиный нос (погрузочная машина) 91.

Фагот 800.
Фенгер 791.
Фермент сычужный 446.
Ферментация 289.
Фиксотип 388.
Фильтрование 340.
Фильтры 835.
Фильтры свечные 340.
Финишер (машина) 557.
Флейтовые трубы 796.
Флейты 800.
Флексатон 805.
Флогопит 279.
Флюатирование 768.
Флюктуация 524.
Формиат кальция 850.
Формиаты 847, 849.
Фортепиано 788.
Фосфазот 755.
Фосфорномолибденовая кислота 440.
Фрео-аппарат 388.
Фрикционные прессы 19.
Фруктово-ягодные воды 339.
Фруктоза 525.
Фукоза 525.
Фундаментная рама 657.

Хвост 270.
Хлористый калий 916.
Хребетик 270.
Хромистый железняк 16.

Цапфа 674.
Целлюлоид 758.
Центнер 25.
Центр масс 207.
Центр тяжести 161, 207.
Центр ускорений 181.
Централит 758.
Центроида 129, 176.
Цепь сигнальная 376.
Цепь четырехзвенная 103.
Церий 503.
Цианамид кальция 752.
Циануровая кислота 752.
Цилиндр рабочий 668.
Цилиндровые крышки 682.
Цилиндры 712.

Чеканка 517.
Челеста 805.
Черево 270.
Черная дубка 260.
Черные кружки 511.
Чертова кожа 433.
Чески 241.
Четыреххлористый молибден 441.
Чистка лица 564.

Шабер 274.
Шаблоны 390, 393.
Шайбы кулачные 684.
Шакша 565.
Шарнир шаровой 104, 895.
Шатун 678, 712.
Шахтная машина 287.
Шварц-пресс 386.
Шелушильная машина 832.
Шерсть шлаковая 335.
Шестерни 715.
Шкала Форели 538.
Шкуры полноволосые 273.
Шкуры полуволосые 273.
Шкуры тонкие 273.
Шлифовка мыла 920.
Шлодеры 100.
Шнек 344.
Шнилер 791.
Шток 680.
Штопферы 100.

Щелок подмыльный 942.
Щипковые инструменты 814.

Эксальтон 853.
Экстензометр 624.
Электрический момент 426.
Элементы матричные 116.
Эллипс инерции 497.
Эллипсоид инерции 500.
Эло-машина 388.
Эмеральдин 254.
Энергия кинетическая 194.
Энос-машина 388.
Эссенции 344.
Этилецмолочная кислота 475.
Этилиденмолочная кислота 475.
Этилформиат 852.
Эфиры муравьиной кислоты 852.
Эффузия 430.
Эфы 806.

Ювенильная вода 351.
Юфть 561.

Ядро (мыло) 942.
Язычковые трубы 796.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ
НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
Н.Т.У.-В.С.Н.Х.

© ГПНТБ СО РАН