

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Сибирского отделения Российской академии наук  
Государственная публичная научно-техническая библиотека

**Серия «Экология»**

Издается с 1989 г.

**Выпуск 98**

**В. М. Малахов, А. Г. Гриценко, С. В. Дружинин**

**ГОРОДСКИЕ ОТХОДЫ В РОССИИ:  
СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПУТИ РЕШЕНИЯ**

Аналитический обзор

Новосибирск, 2012

ББК 30.69+38.93

**Малахов, В. М.** Городские отходы в России: состояние, проблемы, пути решения = Municipal wastes in Russia: status, problems and solutions : аналит. обзор / В. М. Малахов, А. Г. Гриценко, С. В. Дружинин, Федер. гос. бюджет. учреждение науки Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отд-ния Рос. акад. наук. – Новосибирск : ГПНТБ СО РАН, 2012. – 126 с. – (Сер. Экология. Вып. 98).

ISBN 978-5-94560-186-4

Обзор посвящен наиболее острым проблемам современности – обезвреживанию и переработке городских бытовых и промышленных отходов.

Представлены подходы к управлению и утилизации различных видов городских отходов: твердых бытовых, промышленных, медицинских, отработанных автошин, аккумуляторов, электронного скрапа. Дан анализ современных методов утилизации и обезвреживания городских отходов: захоронение на полигонах, сортировка и переработка, компостирование, прессование, сжигание с утилизацией тепла, пиролиз, газификация, использование плазменных технологий. Приведены данные о морфологическом составе и физико-химических свойствах широкого круга городских отходов. Представлены статистические сведения о распространении в мире различных методов утилизации и обезвреживания отходов.

Особое место уделено термическим методам обезвреживания и утилизации твердых бытовых отходов. Даны характеристики ряда технологий, оборудования, нашедших практическое применение в России и за рубежом. Приведены технико-экономические характеристики комплексного мусоросжигательного завода, разработанного для малых городов.

Обзор рассчитан на инженерно-технических специалистов, занимающихся вопросами экологии, студентов вузов, обучающихся по экологическим специальностям. Он будет полезен административным работникам, принимающим управленческие решения по проблеме городских отходов.

The review deals with the most acute problem today – the disposal and recycling of municipal and industrial wastes.

Approaches to the management and utilization of various types of municipal waste – solid urban, industrial and medical ones, motor vehicle exhaust, batteries, electronic scrap – are shown. The analysis of modern methods of recycling and disposal of municipal waste – disposal at landfills, sorting and recycling, composting, compaction, incineration with heat recovery, pyrolysis, gasification, plasma technology usage – is given. The data on the morphological structure and physico-chemical properties of a wide range of municipal waste are presented. Statistical data on the distribution of various methods of recycling and waste disposal in the world are given.

Particular attention is paid to thermal methods of treatment and recycling of solid municipal waste. Given are the characteristics of some technologies, equipment implemented in Russia and abroad. Technical and economic characteristics of the integrated waste incinerator, designed for small towns are presented.

The review is for engineering professionals involved in environmental issues, university students enrolled in environmental fields. It will be useful to administrative staff, making management decisions on the issue of municipal wastes.

Ответственный редактор канд. экон. наук М. А. Креймер

Обзор подготовлен к печати д-ром пед. наук О. Л. Лаврик  
канд. пед. наук Т. А. Каложной  
канд. пед. наук Л. Б. Шевченко  
О. Н. Альшевской

ISBN 978-5-94560-186-4 © Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Государственная публичная научно-техническая библиотека  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(ГПНТБ СО РАН), 2012

## ВВЕДЕНИЕ

Вторая половина XX века охарактеризовалась для мирового сообщества обострением проблемы экологии. По своей остроте, значимости, масштабам экологическая проблема опередила проблему возникновения ядерного конфликта. Антропогенное загрязнение окружающей среды с ростом промышленного и сельскохозяйственного производства, ростом городов, численности населения, объемов их потребления совершенно ясно свидетельствует о том, что мировое сообщество стоит на краю пропасти. Уничтожение лесов, загрязнение водоемов, деградация почвы, животного и растительного мира, появление новых болезней ясно показывает, что если не будут приняты срочные и кардинальные меры по спасению окружающей среды – жизнь будущих поколений проблематична. Для России, несмотря на богатство нашей природы, эта ситуация обострится с каждым годом.

В конце XIX в. на крупнейших выставках мира в Париже и Лондоне центром внимания посетителей был куб русской земли с ребром 1 м. Это была черноземная почва, вывезенная с границы Курской и Орловской областей. Жирность, цвет, плотность и фактура земли, представленной под биологическим микроскопом, в который мог заглянуть любой посетитель, поражали людей. Им казалось, что народы, обладающие такой почвой, одарены Всевышним и всегда будут счастливы. Но, увы! Не прошло и 100 лет, как плодородие наших почв снизилось многократно.

Во всем мире при общей добыче минерального сырья в объеме около 70 млрд т в год перемещается более 150 млрд т породы. В нашей стране это соотношение значительно хуже. Вскрышные работы ориентированы исключительно на интересующий разработчика минерал или вещество, отсутствует комплексная переработка сырья, отношение к перемещенной породе безответственно. Все это приводит к выветриванию почв и захламлению окружающей природы, к неоправданному расходованию содержащейся в отходах полезной части минерального сырья.

К концу 90-х гг. прошлого века в России скопилось более 50 млрд т городских отходов, занимающих около 250 тыс. га земли. Ежегодно в городах России образуется примерно 80 млн т твердых отходов, и каждый год приносит их увеличение на 10–15%. Российская практика очень медленными темпами перенимает европейский опыт управления и обращения с отходами жизнедеятельности человека, хотя в Западной Европе гораздо

раньше нас осознали угрозу экологической катастрофы и начали принимать кардинальные меры по обезвреживанию и переработке городских отходов. Достаточно сказать, что до сих пор около 98% городских отходов в России вывозилось на свалки без всякой переработки. Не лучше обстоит дело и с сельскохозяйственными отходами.

До настоящего времени в России очень слабо изучены последствия теплового, шумового и электромагнитного загрязнений окружающей среды. А их воздействие на человека и природу с каждым годом увеличивается!

В силу закрытости материалов российское общество до сих пор очень смутно представляет масштабы радиационного загрязнения территорий страны. По выражению академика АМН России А. Ф. Цыба «...население России является одним из самых радиационно пораженных в мире...» [43, с. 201].

Экологические проблемы в сознании широких масс российского и западноевропейского общества находятся на принципиально разных уровнях. Наилучшим подтверждением этого являются успехи на политическом поприще партии «зеленых» в Германии и ряде других стран и полный провал Российской экологической партии. Как ни парадоксально, но одной из основных причин стала медленная ломка устойчивых социальных взглядов, сложившихся в период построения социализма, на окружающую природную среду как на общественное богатство («...И все вокруг колхозное, и все вокруг мое...»).

При анализе сегодняшней экологической ситуации в России нельзя не учитывать особенности взаимодействия политической, финансово-промышленной и интеллектуальной элит страны. От этого взаимодействия напрямую зависят проводимая природоохранными ведомствами экологическая деятельность и финансирование экологических программ. В качестве примера можно сослаться на неэффективную систему платы за загрязнение окружающей среды, которая существует почти двадцать лет. На всех уровнях власти говорят о необходимости ее переработки, но вот и ныне там...

Единственным бесспорным успехом в последние годы явилось развитие экологического права в части основных и рамочных законов и соглашений. На их основе может реально развиваться природоохранное дело. Россия все больше вживается в мировое и западноевропейское экологическое законодательство.

Надеемся, что представленный в обзоре материал будет полезен как специалистам – практикам, так и студентам вузов по экологическим специальностям, а также специалистам управленческих структур, принимающим решения в области управления городскими отходами.

## 1. ТВЕРДЫЕ БЫТОВЫЕ ОТХОДЫ

Одной из острейших проблем человечества во все времена являлась проблема уничтожения (утилизации) бытового (а позже и промышленного) мусора. На современном этапе развития, когда потребление растет во всех странах мира и, соответственно, растет количество отходов городского и промышленного мусора, все большие и малые города оказываются в плену громадного количества полигонов, свалок, гор мусора. Особенно это касается России. Да и Западная Европа, несмотря на значительные успехи в решении этой проблемы, временами входит в острейшие ситуации, когда мегаполисы начинают задыхаться от гор неубранного мусора. Иллюстрацией может служить г. Неаполь (Италия), заваленный слоем гниющего, зловонного бытового мусора из-за социальных конфликтов муниципальных служащих в 2008 г.

Во всех городах-миллионниках России проблема обезвреживания городских отходов – это проблема номер один, затрагивающая социальные, экономические и политические аспекты жизни. Иллюстрацией масштабов этой проблемы может служить доклад Государственного комитета по охране окружающей среды Новосибирской области «Состояние окружающей природной среды Новосибирской области в 1999 году» в разделе 11 которого сказано «... В Новосибирской области ежегодно образуется в среднем около 6,5 млн т различных отходов, основную часть которых составляют твердые бытовые отходы (ТБО), отходы животноводства, золошлаковые. По данным инвентаризации мест хранения и захоронения отходов выявлено 1850 объектов размещения, хранения и захоронения отходов общей площадью около 2800 га. Из этих объектов только 15% являются санкционированными. Практически все объекты эксплуатируются с нарушением природоохранного законодательства... Даже официальные полигоны складирования отходов не имеют проектов и, соответственно, технических решений, предусматривающих меры обеспечения санитарно-гигиенической и экологической безопасности... Таким образом, проблема размещения, утилизации и переработки отходов производства и потребления является приоритетной в охране окружающей среды Новосибирской области. Проблема формировалась и усложнялась в течение многих лет в результате несовершенства нормативно-правовой базы в области обращения с отходами, дефицита финансовых средств, и, что очень немаловажно, от-

сутствия экономических методов стимулирования и системности в проводимых мероприятиях».

Ясней и убедительней обрисовать проблемы трудно. Но прежде чем приступить к анализу технических решений «мусорной» проблемы, которые возможны на территории России, посмотрим на историю ее возникновения [56].

## **1.1. История возникновения и развития «мусорного» кризиса**

Управление отходами в странах Европейского союза (ЕС) – неотъемлемая часть общей государственной и экологической политики, которая отличается целенаправленностью и последовательностью. Сегодня управление отходами в ЕС представляет собой гигантскую индустрию, успешно развивающуюся, доходную, самостоятельную отрасль, которая по своей мощи и значимости не только не уступает, но и превосходит отдельные виды отраслей промышленности.

«Зеленый бизнес» в ЕС стал главным механизмом ресурсосбережения, внедрения новых экологических технологий, оздоровления окружающей среды и населения. Во всем мире именно по уровню развития этой отрасли – переработки отходов производства и потребления (recycling) – судят об уровне бытовой культуры той или иной страны. Российская Федерация может перенять положительный опыт ЕС в области управления отходами, ориентируясь на следующую иерархическую последовательность приоритетов:

- минимизацию, уменьшение объемов образования отходов;
- разделение отходов в местах их образования;
- рециркуляцию, повторное использование отходов;
- переработку-обезвреживание и утилизацию отходов;
- удаление и захоронение конечных отходов экологически приемлемыми методами.

### **1.1.1. Зарождение городской гигиены в античной Европе**

Приблизительно 500 лет до н. э. в Афинах был издан первый известный вердикт, запрещающий выбрасывать мусор на улицы, предусматривающий организацию специальных свалок и предписывающий мусорщикам сбрасывать отходы не ближе чем за милю от города. Греческий врач и педагог Гиппократ еще 400 лет до н. э. высказал гипотезу о наличии связи между гигиеной и болезнями, но в то время у него не было явных доказательств этого предположения. Подобно многим греческим изобретениям, существующая практика утилизации отходов была забыта в Средние века.

В Риме, который в эпоху царей (VIII–VI вв. до н. э.) превратился в многолюдный город с миллионным населением, образовывалось боль-

шое количество отходов – кости, очистки овощей, битая посуда, рваная одежда и обувь, металлический лом. Все это выбрасывалось прямо на улицу до тех пор, пока в 200 г. н. э. власти не организовали уборочную службу. Утром по городу разъезжали повозки, куда горожане были обязаны сваливать отходы, уплачивая за это особый «мусорный» налог.

Именно в этот период при пятом царе Древнего Рима Луции Тарквинии Приске в городе появилась подземная обширная система канализации, где самым главным элементом был канал «Великая клоака», или «Клоака Максима»<sup>1</sup>, куда по подземным трубам стекались все нечистоты Вечного города. Кстати, он служит Риму и поныне. «Клоака Максима» (до 3 м в ширину и более 4 м в высоту) считается прототипом современной канализации.

В это же время в Риме было построено 144 общественных туалета с канализацией. Кроме этого, в городе работали отряды рабов, которые подметали улицы, чистили «Великую клоаку» Рима, а также тралили Тибр, куда эти нечистоты в итоге и попадали.

Античный мир возвел гигиенические процедуры в одно из главных удовольствий, о чем свидетельствуют знаменитые римские термы. До победы христианства только в одном Риме действовало более тысячи бань. С падением Римской империи ситуация с гигиеной в Европе значительно ухудшилась.

### 1.1.2. Антисанитария в эпоху средневековья (Европа X–XVI вв.)

Первые предписания об очистке городов появились в X в. в Страсбурге. С XIII в. в некоторых городах Германии (Нюрнберг, Бонн, Мюнхен, Геттинген) были заложены основы простейшей утилизации отходов. Существующие законы предписывали горожанам заботиться о своем мусоре, поэтому хозяева, у которых за домом был двор, оборудовали там выгребные ямы. Те же, у кого заднего двора не было, выбрасывали мусор в ров с городской стены.

Во французской хронике тех лет было записано, что горы мусора вблизи стен Парижа по высоте были примерно равны высоте ворот.

В наиболее развитых городах существовали службы, следившие за чистотой. Так, в начале XIV в. в культурной и процветающей Флоренции 2 из 73 ремесленных гильдий – гильдия мусорщиков и гильдия чистильщиков водостоков – непосредственно занимались уборкой города.

Несмотря на существующие предписания, жители городов продолжали выбрасывать на улицы отходы и мусор. Крестьяне из окружающих деревень переселялись в города вместе с домашним скотом и птицей; гуси, утки, свиньи, собаки бродили по улицам и площадям в поисках пищи, за-

---

<sup>1</sup> cloaca maxima – от лат. *cluo* – «чистить», «очистительный канал» и *maxima* – «великая, большая».

грязня их экскрементами. По деревенской привычке мусор и экскременты из домов выбрасывали на улицу, поэтому средневековые европейские города тонули в грязи и нечистотах. «Жители домов выплескивали все содержимое ведер и лоханок прямо на улицу, на горе зазевавшемуся прохожему» [55, с. 53]. Увернуться от льющихся из окон нечистот было непросто.

Помоями из окна был облит и французский король Людовик IX (XIII в.), после чего жителям Парижа было разрешено (!) удалять бытовые отходы через окно, лишь трижды предварительно крикнув: «Берегись!».

В Нюрнберге (самом крупном и «благоустроенном» городе Германии того времени) в XIV в. магистрат в целях «очищения воздуха» решил запретить горожанам держать свиней на улицах. Предписания по уборке мусора, принятые во второй половине XV в. в Нюрнберге, показывают какую отчаянную борьбу даже в это, уже сравнительно просвещенное время приходилось вести с существовавшими тогда обычаями. Не только в Нюрнберге, но и в других средневековых городах стража напоминала жителям: «Горожане, не выбрасывайте мусор из своих домов на улицу, не подкладывайте свой навоз к дверям соседей. От вашего дома мусор надо увозить».

«Наиболее типична улица шириной в 7–8 м (такова, например, ширина главной магистрали, которая вела к собору Парижской Богоматери). Маленькие улицы и переулки были значительно уже – не более 2 м, а во многих старинных городах встречались улочки шириной и в метр. Уличное движение составляли три элемента: пешеходы, животные, повозки» [55, с. 54].

Улицы мыл и чистил единственный существовавший в те времена «дворник» – дождь, который, несмотря на свою санитарную функцию, считался наказанием господним. Дожди вымывали из укромных мест всю грязь, и по улицам неслись бурные потоки нечистот, которые иногда образовывали настоящие реки. Так, например, во Франции возникла речушка Мердерон (от фр. *merde* – дерьмо). Улицы утопали в грязи и нечистотах настолько, что в распутицу не было никакой возможности по ним пройти. Именно тогда, согласно дошедшим до нас летописям, во многих немецких городах появились ходули, «весенняя обувь» горожанина, без которых передвигаться по улицам было просто невозможно.

Антисанитария, болезни и голод – вот лицо средневековой Европы. Моющих средств, как и самого понятия личной гигиены, в Европе до середины XIX в. вообще не существовало. «Водные ванны утепляют тело, но ослабляют организм и расширяют поры. Поэтому они могут вызвать болезни и даже смерть», – утверждал медицинский трактат XV в. [55, с. 54]. В Средние века считалось, что в очищенные поры может проникнуть зараженный инфекцией воздух. Вот почему высочайшим декретом были упразднены общественные бани. И если в XV–XVI вв. богатые горожане мылись хотя бы раз в полгода, в XVII–XVIII вв. они вообще перестали принимать ванну. Французский король Людовик XIV мылся всего два раза

в жизни – и то по совету врачей. Мытье привело монарха в такой ужас, что он зарекся когда-либо принимать водные процедуры. Туалетная бумага в Европе была изобретена только в 1860-е гг. (британский изобретатель Джеймс Олкок чуть было не разорился: товар поначалу шел плохо, спроса не было. Современная мягкая туалетная бумага появилась в продаже в Америке только в 1907 г.). В Средние же века – грязь священна и сакральна.

Рост и развитие средневековых городов, лишенных элементарных гигиенических условий, были вызваны социально-политическими причинами. Это привело к тяжелым последствиям, связанным с накоплением отходов потребления, грязи и нечистот, увеличением числа мух, насекомых, крыс и других переносчиков инфекции. Увеличение количества крыс приводило к распространению чумы.

В XIV в. Европу охватила первая эпидемия чумы. Так как тогда не знали ни гигиенических, ни лечебных мер против этой болезни, эпидемия бушевала как лесной пожар. Считается, что за 1346–1352 гг. пандемия «черной смерти», пожалуй, самое страшное событие в документированной истории человечества. Бубонная чума уничтожила одну четвертую часть населения континента (около 300 млн человек), но вот парадокс – христиане сочли чуму наказанием за грехи, в том числе и за посещение бань!

Мысль о том, что именно антисанитарные условия, процветающие в средневековых городах, являются причиной страшных эпидемий, стала приходить в сознание людей постепенно. Так, в 1348 г. был издан указ, согласно которому каждый горожанин Парижа под страхом штрафа и тюремного заключения был обязан чистить улицу возле своего дома, а также вывозить свой мусор в общественные выгребные ямы. Был организован первый в истории французской столицы корпус городских уборщиков. В 1370 г. при Филиппе VI на Монмартре была построена первая канализационная труба. Она выходила к Сене прямо возле Лувра, и все запахи поднимались к королевским покоям.

В 1539 г. Франциск I приказал конфисковать недвижимость у домовладельцев, которые будут уклоняться от строительства под домами резервуаров для экскрементов. Был организован целый штат золотарей: они переливали содержимое резервуаров в бочки, которые потом отвозили к выгребным ямам, расположенным за городской чертой. Несмотря на это, помои по-прежнему нередко выливались из окон на головы зазевавшихся прохожих, о чем писал французский поэт XVII в. Клод Ле Петит: «Ботинки, плащ, и перевязь, и шляпа, и перчатки облиты той материей, что называют гадкой». При этом Париж был достаточно передовым городом: к примеру, в Лондоне первая муниципальная выгребная яма появилась только в 1670 г.

В 1560 г. в Гамбурге было издано первое постановление об организованном вывозе мусора из города. В 1588 г. английская королева Елизавета I даровала специальные налоговые привилегии сборщикам тряпья, которое шло на производство бумаги. Это был первый в истории пример предоставления налоговых льгот за утилизацию мусора.

В 1597 г. вышел первый указ «Правила поведения во время эпидемий чумы», в котором отмечалось, что густозаселенные территории городов должны особенно держаться в чистоте и порядке. Эти правила стали наглядным примером организации очистки городов от мусора для многих городов Европы. Во Франции и Англии были установлены штрафы за сваливание мусора на городских улицах. В Англии и многих землях Германии было запрещено сваливать мусор вблизи водных источников.

В 1611 г. в Гамбурге было впервые официально объявлено, что утилизация мусора и отходов из городов является коммунальной услугой. Людей, занимающихся очисткой города от мусора, называли «носильщиками нечистот». Данная система вывоза мусора оставалась в силе до XIX в.

Во время кровопролитной 30-летней англо-французской войны 1618–1648 гг. весь имеющийся прогресс в области гигиены и очистки городов от мусора сошел на нет. Узкие средневековые улочки не очищались и были снова переполнены мусором. «Свиньи гуляли по улицам, дохлые собаки, кошки лежали повсюду; нечистоты выбрасывались в реки или же на улицы и лежали перед домами и на площадях» [55, с. 55].

В этот отрезок времени жертвами войны и эпидемий стали более 10 млн человек. Целые регионы в Европе были опустошены. Масштабная эпидемия чумы еще раз охватила Европу во второй половине XVII в. В России она пришлась на царствование Алексея Михайловича, распространившись от Чернигова до Казани и от Новгорода до Астрахани. Ее последствия были не менее ужасны, но на этот раз от чумы пострадало гораздо меньше стран; сильно пострадали Германия и Англия (особенно Ирландия), где, по свидетельству летописца, «из-за чумы обезлюдели целые деревни и города, замки и рынки, так что трудно было найти в них живого человека. Зараза была такой сильной, что тот, кто коснулся больного или мертвого, скоро и сам захватывался болезнью и умирал».

Столь же ужасные последствия вызвало распространение таких опасных болезней, как холера и оспа. Их эпидемии в Средние века были связаны с антисанитарией в старых городах, где дома «прижимались» один к другому. Многие столетия чума, оспа, холера, проказа и тиф оставались серьезнейшей угрозой для человечества, и опасность их наступления была снята лишь сравнительно недавно.

С современной точки зрения эпидемии чумы – это экологические кризисы, приведшие к значительным потерям народонаселения, но которые человечеству, к счастью, удалось пережить. Они, несомненно, оказали значительное влияние на историю Средневековья и появление реформаторских течений в церкви, сыграли огромную роль в развитии общественных отношений, отразились на морали тех, кто выжил, изменили облик городов, способствовали ускорению процесса формирования европейских наций, развитию санитарии, гигиены и цивилизованности как личной, так и общественной.

### 1.1.3. Раннее индустриальное общество (Европа XVII–XVIII вв.)

Отношение к мусору начало постепенно меняться лишь в эпоху Просвещения, когда большую популярность приобрела теория миазмов, гласившая, что эпидемии возникают от дурного запаха. Французский историк Эмиль Мань в книге «Повседневная жизнь в эпоху Людовика XIII» писал: «Тот, кто освободил бы город от страшной грязи, стал бы самым почитаемым благодетелем для всех его обитателей, и они воздвигли бы в его честь храм, и они молились бы на него» [55, с. 56].

В конце своего правления Людовик XV приказал еженедельно убирать фекалии из Версаля, чего раньше не делали. При этом же короле была предпринята попытка устроить в Париже централизованную систему канализации: был построен резервуар для снабжения водой всех многочисленных подземных каналов французской столицы.

В эту пору бурно растущие европейские города вновь столкнулись с проблемой мусора. Первоначально она решалась старым римским способом: по улицам развозили телеги мусорщиков, вывозившие все ненужное на свалки. Вдобавок по домам ходили старьевщики, скупавшие за гроши бумагу, стекло, деревянные ящики, тряпье. Все это перерабатывалось и снова шло в ход (например, из тряпок делали бумагу). По мере роста населения мусорщики перестали справляться с отходами; не вмещали отходы и свалки, которые приходилось постоянно расширять. В Англии мусор закапывали в землю или нагружали им баржи и топили в море. В 1775 г. в Лондоне появились первые мусорные баки – вначале деревянные, затем железные. Туда горожане могли складывать мусор в ожидании его вывоза. Однако многие, особенно бедняки, по-прежнему оставляли отходы на улицах и во дворах. Состав мусора в тот период мало изменился – те же объёдки, битая посуда, рваная одежда и обувь. Новым компонентом стала сажа от многочисленных печей и котлов, топившихся углем.

Вскоре мода на чистоту стала распространяться по всей Европе. Правда, добровольно за грязную работу никто не брался, но выход нашёлся. В том же XVIII в. в швейцарском городе Берне была изобретена следующая система: в телегу запрягали мужчин-заключённых, которые должны были возить ее по улицам. Сзади к повозке тонкими цепями приковывали женщин-заключённых, которые по пути подбирали мусор и забрасывали его в телегу. Бернское изобретение было принято во многих европейских городах, и на улицах стало чище. Однако общество продолжало упорно сопротивляться нововведениям.

### 1.1.4. Индустриальное общество (Европа XIX в.)

Но по-настоящему серьезно за чистоту городов взялись в начале XIX в. В 1805 г. французский инженер Брюнзо на свой страх и риск лично обследовал все хитросплетения парижской клоаки, а затем в течение более чем

10 лет проводил реконструкцию канализации: были расчищены стоки, укреплены тоннели и т. п.

Эпоха индустриализации положила начало зарождению городской урбанизации. Массовые побеги крестьян из сельской местности в города привели к образованию так называемых *industrielles Ballungsgebiet* – районов сосредоточения промышленных предприятий и городского населения. И все-таки проблемы санитарной очистки городов в эпоху индустриализации были также достаточно острыми. По-прежнему все еще отсутствовала инфраструктура по утилизации как твердых, так и жидких бытовых отходов.

В Англии стремительное развитие промышленности также способствовало тому, что к середине XIX в. уже половина населения страны жила в городах. Рабочие кварталы разрастались, а о санитарных нормах никто не думал. Британские города стали быстро превращаться в рассадники заразы: средняя продолжительность жизни в них упала до 26 лет, и это при том, что в сельской местности она составляла 50 лет. Власти в Англии пытались бороться с грязью, но поскольку наука продолжала считать, что все болезни происходят от плохого запаха, меры были соответствующими. Считалось, что лучшее средство от неприятных запахов – вентиляция, а потому через трущобы прокладывали дороги, которые должны были способствовать движению воздуха. При строительстве таких дорог часть домов разрушалась, а их обитатели перебирались в соседние дома, от чего скученность населения только возрастала. Что же касается мер собственно гигиенического характера, как чистка улиц, строительство канализации, то их осуществление часто наталкивалось на банальную скупость городских властей. Чарльз Диккенс, издеваясь над бережливостью своих сограждан, изобразил предвыборную кампанию в вымышленном городке Сесс-кам-Пультоне, название которого переводится примерно как «город скопидомов», где один из кандидатов призывал сограждан: «Налогоплательщики Сесс-кам-Пультона! Следуйте своим законным интересам. Здоровье – слишком дорогое удовольствие. Давайте останемся грязными и богатыми! Да здравствуют выгребные ямы и конституционное правительство! За славу и свалки! Долой чистую воду!»

В 1847 г. эпидемия холеры вновь пришла в Европу. В Англии она свирепствовала еще сильнее, чем на континенте. Осознав опасность, правительство Англии разработало Акт об общественном здоровье, который был принят в 1848 г. Так возникла первая в мире национальная система здравоохранения, предполагавшая, в частности, меры по борьбе с мусором. Органы городского самоуправления теперь были обязаны обеспечивать уборку мусора, финансируя ее из местных бюджетов. А в случае превышения допустимого годового уровня смертности (согласно акту) на местах должны были начать действовать чрезвычайные органы санитарного контроля. В Гамбурге из-за отсутствия системы очистки питьевой воды в 1892 г. жертвами холеры стали 9 тыс. человек. В это же время Луи Пас-

тером, Робертом Кохом, Игнацом Филиппом Земмельвейсом и др. (1850–1890 гг.) была доказана взаимосвязь гигиены и опасности эпидемий. Ученые указали путь передачи инфекционных заболеваний, таких как холера, тиф, туберкулез. В 1857 г. Луи Пастер представил неопровержимые доказательства своей теории о том, что возбудителями болезней являются микроорганизмы. Теперь горожане, когда-то предпочитавшие быть «грязными и богатыми», требовали «воды без микробов» и готовы были платить деньги тем, кто оградит их от инфекции. В Англии, а затем и других странах улицы городов стали буквально мыть.

В 1851 г. на Всемирной выставке в Лондоне посетителей поразил гигантский Хрустальный дворец, представлявший собой нечто вроде гигантской оранжереи, набитой всевозможными техническими новинками. Среди чудес техники были и ватерклозеты. Первый ватерклозет был изобретен еще в 1596 г. английским поэтом и крестником Елизаветы I сэром Джоном Харрингтоном. Новинка пользовалась успехом, и за время работы выставки более 800 тыс. человек воспользовались чудесным изобретением. Ватерклозеты быстро стали стандартным атрибутом престижных лондонских домов, что вызвало дополнительную нагрузку на лондонскую канализацию. Отходы промышленных предприятий и бытовые отходы рабочих кварталов сливались в те же трубы, и возникновение проблем с городской канализацией стало неизбежным. Лето 1858 г. вошло в историю британской столицы как «великая лондонская вонь», поскольку находиться в то время возле Темзы, куда сливалось содержимое канализации, было просто невозможно. В 1865 г. была создана до сих пор сохранившаяся благотворительная организация «Армия спасения», которая на первом этапе своего существования занималась сбором и переработкой мусора – для этого она нанимала бедняков, которые таким образом получали средства на жизнь.

Поворот к систематической борьбе с мусором происходил и на континенте, хотя сопротивление гигиеническим мерам, предпринимаемым правительствами, было все еще немалым. В 1850 г. во Франции барон Жорж Эжен Осман (Хауссманн), префект столичного Департамента Сена, взялся выполнять приказ императора Наполеона III о переустройстве города. Барон начал строить на месте старинных кривых улочек широкие бульвары, ставшие впоследствии визитной карточкой Парижа, а также принял меры к тому, чтобы имперская столица стала чище. В 1852 г. префект издал распоряжение, обязывавшее домовладельцев следить за чистотой фасадов своих домов. Кроме того, префект ввел новое правило, согласно которому между восемью и девятью часами вечера парижане обязаны были выставлять свой мусор на тротуар. Утром по городу шли специальные команды, которые собирали его и свозили к выгребным ямам. Затем барон Осман считал, что корзины, мешки и бочки с хламом и нечистотами портят парижанам удовольствие от вечерних прогулок, и распорядился, чтобы мусор выставляли на улицу утром. Нововведения барона оказались даже более значительными, чем представлялось современникам. Дело в том, что барон

Осман своими реформами фактически создал новый рынок услуг. Если раньше чисткой улиц и канализаций занимались в основном муниципальные служащие, то теперь собирать мусор стали компании-подрядчики, которые, конкурируя между собой, стремились работать как можно лучше. В 1884 г. Эжен Рене Пубель, префект Департамента Сена в Париже, приказал расставить по всему городу муниципальные металлические урны для мусора (названные по его фамилии *roubelles*). Чтобы было неповадно захламлять мостовую, префект пригрозил самыми суровыми штрафами всем, кто будет выбрасывать мусор на улицу.

В XIX столетии изменился и состав городского мусора. Росла не только численность населения, но и его покупательная способность. На помойках появлялось все больше консервных банок, бутылок, упаковок от товаров. Горожане стали выбрасывать вещи, не просто отслужившие свой срок, а вышедшие из моды. При этом большую часть мусора по-прежнему составляли пищевые отходы и зола. Быстрая урбанизация привела не только к увеличению количества мусора, но и одновременно стала развиваться наука гигиены. Городские власти были вынуждены признать, что избавление от отходов является жизненно важной задачей, поэтому во многих городах начался процесс создания муниципальных мусорных служб.

В городах появлялось больше мусорных баков, но во дворах и на пустырях по-прежнему образовывались стихийные свалки. С возникновением моды на туризм и пикники на природе мусор начал заполнять окрестности городов. В конце века муниципалитеты Лондона, Берлина ввели крупные штрафы за устройство незаконных свалок.

В 1874 г. в английском городе Ноттингеме был построен первый в мире мусоросжигательный завод (МСЗ), а в 1895 г. в целях улучшения санитарного состояния появилась первая установка для сжигания мусора в немецком городе Гамбурге.

Итак, во второй половине XIX в. вопросы гигиены вышли на передний план во всем цивилизованном мире. Постепенно городские власти вменили себе в обязанность защиту населения от эпидемий, инвестируя в инфраструктуру и строительство канализаций. Городские власти наделили полномочиями частных предпринимателей и обязали их выполнять услуги по очистке городов от бытовых отходов и мусора. С 1893 г. (с принятием прусского коммунального закона) были заложены основы для финансирования государственных мероприятий по очистке городов; с этого времени коммуны могли уже взимать с населения налоги на санитарную уборку территорий.

#### 1.1.5. Индустриальное общество (Европа первой половины XX в.)

В Германии на пороге XX в. серьезной проблемой санитарной очистки от мусора было отсутствие его систематического вывоза из городов. На обочину дороги выставлялись коробки, корзины, ведра, чтобы проезжающие

мусорные повозки могли забрать содержимое. Ветер и уличные животные нередко переворачивали эти ящики, разнося мусор по окрестным улицам и задворкам, что приводило к созданию антисанитарной обстановки и переносу вирусных заболеваний. Кроме того, уличные бродяги нередко в поисках съедобного или пригодных для жизни вещей также переворачивали ведра, ящики, что вело к дальнейшему захламлению улиц, и в конечном итоге – к удорожанию коммунальных услуг по очистке городов.

Чуть позже в Германии появилось предписание о том, что на улицы могут быть выставлены только емкости с крышками. Потребовалось еще одно десятилетие, чтобы на смену бессистемному сбору мусора пришел организованный сбор отходов.

С 1901 г. в различных местах Берлина была введена система смены мусорных бочек. В мусорные бочки вставлялись мешки, дно бочки с помощью специального приспособления открывалось, и содержимое бочки вытряхивалось в мешок. Эта система практиковалась также в Дортмунде, Бохуме, Виттенберге. С 1910 г. в Германии специальным мусоровозным транспортом являлись управляемые кучером повозки для вывоза мусора из больших городов. В знаменитом берлинском квартале Шарлоттенбурге (богемный квартал) с 1912 г. впервые был введен раздельный сбор отходов и их вывоз. Введение этой системы приносило большие сложности и происходило согласно прусскому полицейскому предписанию. Каждое подворье должно было иметь три емкости для раздельного сбора мусора: первую – для золы и смета, вторую – кухонных пищевых отходов, третью – для крупногабаритных отходов. К 1916 г. угольная и древесная зола из печей составляла 80% отходов в крупных городах Европы.

В конце XIX и начале XX в. многие города Германии взяли в свои руки или создали специальные общества для сортировки отходов и дальнейшей переработки. Один из первых мусоросортировочных комплексов был построен в Пуххайме под Мюнхеном. Сортировка осуществлялась вручную, каждый рабочий выбирал на движущемся конвейере определенный вид отходов и кидал его в корзину. В Берлине в Шенеберге работал мусороперерабатывающий цех, где бумагу и другие целлюлозосодержащие материалы выбирали на столах из мусора вручную и с помощью грейфера подавали в машину для выделки волокна. Готовое волокно из бумажных отходов направлялось по транспортеру на склад для хранения, а затем из него прессовали волокнистые листы.

В период с 1914 по 1923 г. в г. Оснабрюке (Нижняя Саксония) началась сортировка бытовых отходов для их вторичного использования, что привело к фактическому сокращению объемов мусора.

На пороге XX столетия складирование отходов на свалках было самым дешевым и простым из всех существующих способов утилизации отходов, так как размещение мусора на свалках было бесплатным. Плата осуществлялась только за сбор и вывоз мусора за пределы города. Мусор и отходы пытались вывезти как можно дальше от «городских ворот». Под свалки

часто использовались пустыри, выработанные песчаные карьеры или каменоломни. Иногда отходы применяли для оформления ландшафтов или мероприятий по увеличению прибрежной полосы.

В Германии были предприняты первые попытки сократить площади, отводимые под складирование мусора, путем сжигания отходов в термических установках. Мусор сжигали, например, в коксовых печах, а образовавшиеся шлаки смешивали с вяжущим веществом, прессовали; «шлаковые кирпичи» использовали в строительстве дорог. Тепло, полученное при сжигании отходов, частично шло на выработку электроэнергии для зарядки аккумуляторов, использовавшихся в электрических буксирах на мусоросжигательных заводах.

Таким образом, в начале XX столетия гигиена, эстетика и хозяйственность стали основанием для санитарной очистки городов. Так появился взаимосвязанный треугольник (рис. 1.1).



Рис. 1.1 Три принципа санитарной очистки городов

Организация санитарной очистки городов того времени осуществлялась с учетом:

- требований гигиены как абсолютной защиты населения от возбудителей болезней;
- элементов эстетики как доказательства и признака современности;
- условий хозяйственности и экономичности, т. е. с использованием экономически оправданной существующей техники.

Санитарная очистка города выстраивалась на законодательной и финансовой основе. Таким образом, в начале XX столетия постепенно закладывались основы, ставшие прототипом современной коммунальной политики.

Статистические данные 1907 г. в Германии свидетельствовали о наличии 546 ведомств и предприятий в сфере санитарной очистки, на которых работали 20 тыс. служащих. В ту пору преследовались те же задачи при устранении отходов, что и в настоящее время: быстрый сбор образовавшегося мусора, опасного для здоровья, и вывоз его за пределы города для соблюдения гигиенических требований и обеспечения безопасного проживания населения в городах. Параллельно были созданы службы и ведомства:

- для уборки улиц в летнее и зимнее время в целях поддержания соответствующей чистоты на улицах и в общественных помещениях и для создания эстетической картины города;
- вывоза фекалий – сбора жидких ишламообразных отходов из центральной городской канализации, а также из городских районов и маленьких городов;
- ремонта и технического обслуживания канализационных сетей центральной городской канализации.

С 1910 г. проблемы вывоза мусора, сбора фекалий, уборки улиц и взимания налогов за осуществление этих мероприятий стали предметом горячих дискуссий не только в прессе, но и обсуждались на страницах профессиональных журналов, конгрессах, выставках как важнейшие задачи коммунальных служб. В это время начали процветать небольшие бывшие ремесленными мастерские по выпуску изделий для очистки города, позднее превратившиеся в индустриальные коммунальные предприятия. На рынке появились всевозможные по ассортименту емкости для сбора отходов и транспорт для вывоза мусора, сбора жидких фекалий; поливочные, подметальные и снегоуборочные машины.

В 1911 г. в Европе на смену маломощным мусорным повозкам, управляемым кучером, требующим больших затрат, пришла первая электрическая мусороуборочная машина фирмы OCHSNER с боковой погрузкой и задней разгрузкой.

Первая мировая война 1914–1918 гг. резко затормозила дальнейшую модернизацию мусороуборочной техники. Однако те модели и технические образцы, которые уже были выпущены и эксплуатировались, наглядно показывали большой прогресс в коммунальной сфере. В 1921 г. появилась первая мусороуборочная машина с двигателем и механическим винтовым конвейером, а в 1924 г. – первые дизельные грузовые машины. Окончательный прорыв в мусороуборочной системе в 1925 г. сделала фирма Schmidt & Melmer, Weidenau/Sieg, создав циклическую систему ES-EM. С этой поры все емкости под мусор имели свой стандарт, нормированную засыпку в мусоровоз. Стандартные емкости под мусор делились на 35-, 50- и 110-литровые цилиндрические накопители. В ноябре 1927 г. эта система была запатентована и пользовалась успехом более 50 лет.

В начале 1930-х гг. до 70% морфологического состава мусора представляли зола, шлаки, остатки угля, так как практически все дома имели зимой печное отопление. Остальные 30% составляли кости, кухонные пищевые отходы, тряпье, кожа, бумага, металл и стекло. Так как на печную золу приходилось до 70% от общего количества мусора, с середины 1920-х гг. широко применялись мусороуборочные шнековые беспыльные машины с пневматическим приспособлением для цилиндрических ведер и накопителей. Эти машины эксплуатировались до 1970-х гг. Для системного сбора отходов выпускались 35- и 50-литровые мусорные ведра.

Техника начала 1930-х гг. прошла модификацию: была разработана новая мощная ходовая часть, увеличены объемы мусоросборника. Поскольку была поставлена четкая задача по обеспечению беспыльного вывоза золы, то не было необходимости в корне менять технику и организацию работы, а нужна была только ее оптимизация. Так, в 1935 г. появился газогенераторный Mercedes L 8500 с 15-кубовым кузовом KUKA. Разработанная фирмой Keller & Knappich система KUKA произвела своего рода революцию в Германии. В цилиндрическом кузове стоял огромный шнек – примерно такой же, как в мясорубке. При загрузке он вращался в одну

сторону, прессовал мусор, а при выгрузке, наоборот, выталкивал его наружу. В считанное время эта система стала крайне популярной, причем перед войной существовали даже «кукомобили» устрашающих размеров на трехосном шасси Mercedes.

Богатая палитра мусороборочных машин 1920–1940-х гг. состояла из самосвалов с кузовами в целях уплотнения мусора, машин с вращающимся барабаном (KUKA), машин с гидравлическим уплотнителем и шнековыми беспыльными (OCHSNER) загрузками для печной золы.

После Второй мировой войны ситуация в коммунальной сфере представляла следующую картину:

- большинство немецких городов пострадали от бомбардировок, города на Рейне и Руре были разрушены на 95%;
- среди руин, обломков домов антисанитария «подстерегала» оставшихся в живых людей.

Поэтому, несмотря на страшные военные разрушения и отсутствие рабочей силы, сразу после 1945 г. были начаты работы по очистке городов от мусора в целях предотвращения возникновения новых эпидемий и обеспечения санитарно-гигиенических условий проживания населения.

В 1948–1953 гг. в рамках программы экономической помощи, известной как «план Маршалла», США направили на восстановление европейской экономики более 13,1 млрд долл. Отрасли промышленности, которые, как казалось ранее, безнадежно устарели и утратили эффективность, были реструктурированы в короткие сроки. «Экономическое чудо» стало основой для подъема благосостояния послевоенного общества. Наместились тенденции к интеграции стран Старого Света; созданное в 1953 г. «Европейское объединение угля и стали» явилось, как известно, прообразом Европейского экономического сообщества.

В 1950–1955 гг. фирма Keller & Knappich выпустила более 800 мусорных машин с вращающимся барабаном системы KUKA. С 1949 по 1957 г. фирмой Haller было выпущено 500 мусорных машин с винтовыми червячными приспособлениями для кузова. В Федеративной Республике Германии с приходом «к мусорному делу» частных компаний появилась новая отрасль – «мусорная отрасль или индустрия», и соответственно стал формироваться круг клиентов. В середине 1960-х гг. санитарная очистка и уборка городов и поселков уже была полностью моторизована и механизирована.

Вторая половина XX в. ознаменовалась появлением и бурным развитием самых разных видов техники, в том числе и коммунальных машин. Примерно к 1960-м гг. облик и конструкция европейских мусоровозов окончательно сформировались: на шасси большого грузовика монтировался кузов с задней загрузкой и плитой-прессом внутри. Эта плита выполняла двойную роль: при загрузке прессовала мусор, отодвигала его к переднему борту, а при разгрузке, когда задний борт поднят, выталкивала содержимое наружу. У некоторых машин опрокидывался кузов, как у самосвала.

### 1.1.6. Постиндустриальное общество (Европа второй половины XX в.)

Научно-технический прогресс общества во второй половине XX столетия привел Европу к росту потребления материальных благ. В таких развитых странах Европы, как Германия, Англия, Австрия, Италия, Франция и др. после Второй мировой войны огромную роль в расширении и культивировании потребительства, помимо социально-политических и экономических причин, стала играть настойчивая пропаганда и реклама товаров. За последнюю четверть века именно она стала мощной и самой динамически развивающейся отраслью экономики.

Еще в I в. до н. э. древнеримский философ Тит Лукреций Кар писал: «Нам перестали нравиться желуди. Мы уже не хотим спать на ложах, устланных травой и листьями. Носить шкуры диких животных тоже вышло из моды. Вчера – шкуры, сегодня – золото и пурпур». Если в 1916 г. в крупных городах Европы угольная и древесная зола и шлаки из печей составляли 70% от отходов, то к 1950-м гг. количество золы и шлаков снизилось до 50%, а к концу 1960-х гг. – до 5%. В состав отходов в 1960-х гг. входили также несгораемые в печах консервные банки, посуда. Практически все продукты питания, которые продавались в ту пору в продуктовых лавках, были без упаковки, исключение составляли только консервные банки.

В переходный период (от вывоза золы до вывоза легкой упаковки) использовались прессовые машины с гидравлическим уплотнением отходов MAN, машины швейцарской фирмы OCHSNER и машины с вращающимся барабаном системы KUKA.

Повышенный уровень благосостояния и изменившийся образ потребления повлияли и на состав домашнего мусора, или бытовых отходов. Жизненные и потребительские привычки позволили экстремально возрасти объемам мусора. Печи, отопляемые древесным углем, покинули кухни и гостиные, на их место пришло центральное газовое или паровое отопление. В быту для приготовления пищи стали широко использоваться электрические печи. Кроме того, в повседневный обиход вошли газеты, бумага, упаковка. Кухонные отходы уже не могли применяться в качестве компоста на приусадебных участках, так как эти участки для выращивания овощей уступили место роскошным цветникам и клумбам.

С середины 1960-х гг. в Европе стремительно развивалось общество «бездумного потребительства». Прилавки продовольственных магазинов начали наполняться полуфабрикатами и готовыми к употреблению товарами, которые постепенно вытеснили обычные продукты. В упаковке начала возрастать доля пластика. Напитки, растительные масла, чистящие средства и парфюмерия стали выпускаться в пластмассовых упаковках. Таким образом, росло не только количество упаковки, но и менялись сами упаковочные материалы. Индустрия прохладительных напитков, демонстрируя изменение компонентов упаковки и повышение доступности своих товаров, все больше «раздувала» мусорные ящики в домах. До 1975 г. на

мировом рынке доминировали стеклянные бутылки для напитков. Оставшуюся часть составляли алюминиевые и стальные банки и одноразовые бутылки. К 1981 г. это соотношение изменилось в пользу одноразовых емкостей.

Старая техника по вывозу мусора, оборудованная маленькими жестяными контейнерами, и механические мусоровозы, которые, начиная с 1930-х гг., были приспособлены к беспылевому вывозу золы, больше не подходили для уборки легкого мусора, состоящего преимущественно из использованной упаковки.

Рост количества использованного упаковочного материала, коробок в городах Германии привел к образованию громоздких гор негабаритного мусора на обочинах дорог и тротуаров, зачастую рядом с жилыми домами, за пределами земельных наделов и участков. Мусор также вывозился за пределы населенных пунктов, но затем опять же «диким образом» размещался на природных ландшафтах. По обочинам дорог стремительно росло количество мусора, оставленного проезжающими в машинах людьми.

Лихорадка потребления, захлестнувшая развитые страны в середине XX в., напрямую отразилась на содержимом мусорных баков. Выбрасывались не только негодные, но и почти новые вещи, вышедшие из моды и замененные более новыми. Среди них было все больше бытовых приборов и технических средств – радиоприемников, телевизоров, холодильников и даже автомобилей. В ходе масштабной реконструкции городов на свалку попадали стройматериалы, сантехника, спиленные деревья. Все большую долю отходов составляла использованная упаковка. С появлением полуфабрикатов в мусоре неуклонно уменьшался процент пищевых отходов, зато росла доля стекла, пластмасс и других материалов, которые практически не разлагаются в естественных природных условиях. В середине XX в. основным способом размещения мусора было поверхностное захоронение. В 1950-е гг. в странах Западной Европы перерабатывалось около 5% мусора.

В послевоенное время в странах западной Европы ситуация с утилизацией отходов стремительно приближалась к катастрофической. «Экономическое чудо» – бурное послевоенное развитие промышленности в ФРГ, Франции и т. д. – привело к лавинообразному росту мусора и отходов.

Вплоть до 1960-х гг. система управления отходами в Германии опиралась на административное право и нормы, регулирующие наложение дисциплинарных взысканий. Развитие экологического законодательства началось с принятия Закона о водном хозяйстве (WHG) от 27 июля 1957 г., который вступил в силу во всех землях ФРГ 1 марта 1960 г.

Дальнейшее развитие коммунального хозяйства в ФРГ привело к тому, что в 1967 г. фирма Keller & Knappich разработала первый большой контейнер на 220 л. Начиная с середины 1960-х гг. в городах Германии был введен регулярный сбор легкой упаковки в контейнеры на 220 и 1100 л, так как мусор уже не вмещался в круглые мусорные ведра, эксплуатировавшиеся с начала XX в.

В конце 1960-х гг. фирма Haller разработала новый мусоровоз, оснащенный прессом высокой компрессорной мощности. Этот мусоровоз предназначался для вывоза мусора, имеющего новый морфологический состав, и отличающегося (по сравнению с золой) большими объемами и малой объемной массой, хорошо поддающейся сжатию. Груз подвергался медленному сжатию посредством подвижной стены бака и постоянно находился под этим гнетом. От устаревших машин по вывозу золы новые машины отличались прежде всего тем, что были оборудованы мощными гидравлическими механизмами для транспортирования, измельчения и разгрузки отходов. Из-за того что выросли объемы перевозимых грузов, стал возможным эффективный вывоз крупногабаритного мусора, повысилась рентабельность вывоза отходов, а мусоровозы новой серии очень быстро вытеснили машины по вывозу золы. Введение мусороперегрузочных машин, оснащенных прессом, стало новой вехой в развитии коммунального хозяйства и техники для вывоза легких фракций отходов.

С 1972 г., наряду с мусоровозами, оборудованными прессом для уплотнения мусора, появляются мусорные контейнеры большой вместимости (MGB). Старые жестяные ведра и бочки заменили новые четырехугольные пластмассовые контейнеры (опасность возникновения пожара из-за выброса горячей золы была сведена к минимуму). В 1975 г. появляются MGB 2,5 и 5,0, благодаря которым вывоз бытовых отходов новыми мусоровозами из жилых районов и магазинов стал еще более экономичным.

Интересен тот факт, что идея устройства новых контейнеров для легкого мусора появилась не у работников традиционной коммунальной индустрии или городского автопарка, а у частного предпринимателя (Edelhoff).

Оборудованные прессом мусоровозы, загрузка мусора в которые производится в задней части кузова, и крупногабаритные контейнеры для мусора MGB вот уже 30 лет являются в Германии стандартным транспортным средством для перевозки мусора. Единственным «пережитком» прежнего поколения машин по вывозу мусора можно считать мусоровоз системы KUKA, оборудованный вращающимся барабаном Rotopress. По некоторым данным, с 1928 по 2002 г. было продано свыше 10 тыс. различных модификаций данного мусоровоза.

Через 15 лет после появления мусоровозов, оборудованных прессом, произошел новый виток в развитии техники. В 1986 г. фирма Edelhoff представила новую мультисервисную транспортную систему MSTS для проведения погрузочно-разгрузочных работ. Необходимость в этой системе появилась в связи с увеличением площади, с которой собирались отходы, расстояния, которое мусоровоз должен проехать до полигона, количества мусороперегрузочных станций, а также в связи с попытками сократить расходы на транспортирование мусора за счет автоматизации процесса. При внедрении данной системы сбор и транспортирование мусора разделились на два самостоятельных этапа, а на смену контейнерам MGB при-

шли самоцентрирующиеся контейнеры DU. MSTS-системы производились компанией FAUN и пользовались спросом на территории всей Европы.

Тем не менее до сегодняшнего дня техника, оборудованная съемными контейнерами, не получила всеобщего признания, так как, с одной стороны, необходимо на всех единицах техники поставить контейнеры DU, а с другой стороны, производители и потребители не могут прийти к единому мнению об унификации контейнеров.

В начале 1990-х гг. в малонаселенных районах с погрузчиками заднего расположения начали конкурировать фронтальные (для вывоза промышленных отходов) и боковые (для вывоза ТБО) погрузчики. Если погрузчики с задней загрузкой после почти 80 лет эксплуатации и постоянного технического совершенствования практически уже не могут быть улучшены, то фронтальные и боковые погрузчики обладают огромным потенциалом для их рационализации.

Так, машину нового поколения может обслуживать только один человек, также увеличена скорость погрузки за счет применения системы автоматического подъема контейнеров. Боковые погрузчики работают в полув автоматическом или автоматическом режиме: подъем контейнеров осуществляется из кабины с дистанционным управлением или водителем, вышедшим из машины. При вывозе бытовых отходов из густонаселенных районов даже на самом новом мусоровозе с боковой загрузкой иногда необходимо прибегать к услугам двух дополнительных грузчиков.

Однако в густонаселенных больших городах по-прежнему используются классические мусоровозы с задней загрузкой. Мусоровозы с фронтальной и боковой загрузкой в основном применяются частными предприятиями. Появление последних не является заслугой немецкого машиностроения. Идея была заимствована в США, оттуда они и были импортированы. Все современные мусоровозы в той или иной степени оборудованы электрическими системами. В зависимости от различных предписаний или производственной политики предприятия мусоровозы могут быть оборудованы пультом управления (например, управление погрузкой может осуществляться джойстиком), системой взвешивания контейнеров, системой навигации или онлайн-связи между компьютерами, установленными на машинах, водителями и диспетчером. Широкое распространение получили электрические системы, позволяющие снизить расходы по техническому обслуживанию, автоматические коробки передач и различные устройства безопасности: антиблокировочная тормозная система, дублирующий тормоз, система регулирования тяги.

Несмотря на предпринятые меры по развитию техники для вывоза мусора и отходов из городов Германии, вопрос, куда деть мусор, становился все более актуальным. Порой положение было близко к катастрофическому. Обычный в прошлом метод – размещать все отходы на свалках, расположенных, как правило, вблизи населенных пунктов, – стал уже невозможным. Свалки были недопустимы и с точки зрения эстетики ландшафта,

и по санитарно-эпидемиологическим условиям. Особенно много их было на окраинах крупных городов. К началу 1970-х гг. насчитывалось около 50 тыс. «диких» свалок. В 1960-е гг. Союз охраны вод ФРГ свидетельствовал, что лишь немногие свалки страны изучены в отношении их безопасности для грунтовых вод. Ежегодно в ФРГ со свалок вымывалось осадками и просачивалось в грунтовые воды около 250 тыс. т разного рода солей.

Вот как описывалось положение со сбором и удалением мусора из городов ФРГ в брошюре В. Лютценкирхена «Преступление без судьи» (1972 г.): «В Гессене мусор из домов четырех миллионов жителей свозится на полигоны или на мусоросжигательные установки. Мусор от 2,9 млн жителей в 2400 мелких населенных пунктах накапливается на свалках устаревшего типа, крайне сомнительных в гигиеническом отношении. В Рурской области, в большом индустриальном районе ФРГ, положение с мусором можно назвать катастрофой. В плотнонаселенном промышленном районе от Дуйсбурга до Дортмунда только 4% отходов устранялось “по правилам”, то есть без ущерба для окружающей среды» [55, с. 58]. Но ФРГ задыхалась не только в своем, но и в чужом мусоре. Соседние страны ввозили в ФРГ немалое количество отходов. Так, в 1970-х гг. из-за границы поступило не менее 38 тыс. т мусора. Из Швейцарии было привезено 13,7 тыс. т, основном отходы фармацевтических фирм (прежде всего «Сибя-Гейги», «Сандоз», «Ла-Рош»), из Франции – 6,6 тыс. т. Во всяком случае, почти 31 тыс. т иностранного мусора была сожжена или захоронена с соблюдением всех предосторожностей, но более 7 тыс. т просто свалено на природе.

Целый ряд промышленно развитых европейских стран стал испытывать серьезные проблемы, вызванные загрязнением окружающей среды. Высокая плотность населения и ограниченность территории, пригодной для захоронения отходов, в условиях их интенсивного процесса образования, связанного с высокими темпами экономического развития, вызвали необходимость пересмотра политики в области обращения с отходами.

В начале 1970-х гг. в связи с нефтяным кризисом 1973 г. в сознании правительства ФРГ произошли значительные изменения, касающиеся прежде всего отношения к использованию природных ресурсов. В 1972 г. в ФРГ был принят первый Закон об устраниении отходов – *Abfallbeseitigungsgesetz der Bundesrepublik Deutschland*, в 1974 г. – Закон о защите окружающей среды от воздействия экологически вредных выбросов (сбросов) – *Bundesimmissions-schutzgesetz*. Принятие этих законов привело к улучшению инструментов управления отходами и учреждению специально уполномоченных структур в области управления отходами, появлению централизованных и контролируемых полигонов. Таким примером может служить первый централизованный полигон захоронения ТБО *Emscherbruch* в Гельзенкирхен, эксплуатировавшийся с начала 1970-х гг. На централизованных полигонах Германии с 1970-х гг. начинают применять новую полигонную технику – уплотнители отходов (легкой фракции) и бульдозеры.

### 1.1.7. Современный этап постиндустриального общества (Европа, конец XX – начало XXI в.)

В 1980-е гг. после серии «мусорных кризисов» многие страны мира пришли к выводу, что единственным перспективным способом решения проблемы отходов является их переработка. Так сформировалось новое мышление в сфере обращения с отходами в Европе, что означало переход от простого размещения (устранения) отходов к их переработке (вторичному использованию материалов). С принятием в 1986 г. Закона «Об отходах» (Abfallgesetz) на первый план впервые выдвигаются такие понятия, как предотвращение образования отходов и их переработка. Эти новые формы утилизации отходов имели в первую очередь народно-хозяйственное значение. В законе регламентировались и предотвращение накопления вредных веществ, и защита от выбросов (сбросов), что стало переломным моментом в современной постиндустриальной эпохе «мусорной» отрасли.

В конце 1980-х гг. в ФРГ ежегодно образовывалось около 17 млн т отходов, из которых 12 млн т (70%), благодаря щедро упакованной по требованию маркетологов продукции, приходилось именно на упаковку. Утилизации тогда подлежало не более 30% таких отходов. Для решения проблемы в 1990 г. представители промышленности и торговли создали акционерную компанию «Дуальная система Германии» (Duales System Deutschland GmbH). Перед компанией стояла задача внедрить в общегосударственном масштабе программу Der Grüne Punkt («Зеленая точка»), которую реализовывали 600 компаний и фирм по производству и переработке упаковки, исследовательские и финансовые организации.

Суть программы состояла в продаже «Дуальной системой» предпринимателям лицензии на использование финансового знака Der Grüne Punkt, освобождавшего их от необходимости обязательного приема и утилизации своей упаковки и перекладывающего это бремя на «Дуальную систему Германии». В эффективной деятельности «Дуальной системы» ведущую роль сыграло общественное сознание населения, на которое возложена задача добровольно сортировать мусор. Для этого на улицах немецких городов стоят контейнеры для различных видов отходов. Как правило, это целый ряд емкостей разного цвета: отдельно для бумаги, полимерных отходов и органики. Для стекла предназначены разноцветные контейнеры (белые, зеленые и коричневые для соответствующей стеклотары).

Следует отметить, что система залоговой тары, как и система сбора макулатуры и другого сырья за плату, в Германии развиты слабо. Поэтому бумагу, стеклянные и полимерные отходы сбрасывают в контейнеры без оплаты. Но в стране существует жесткая система, не позволяющая выбросить мусор в не предназначенное для данных целей место. Особенно это касается таких опасных отходов, как аккумуляторы, элементы питания, автопокрышки и т. п. Система штрафов и работа с населением заставляют «владельцев» этих отходов сдавать их в специальные пункты приема. Бо-

лее того, за сдачу старой электроники, холодильников, бытовой техники владельцы сами платят деньги, которыми покрываются затраты на неприбыльную утилизацию.

За годы своей деятельности «Дуальная система Германии» создала 17 тыс. дополнительных рабочих мест и 320 сортировочных пунктов. Количество собранной и переработанной упаковки достигает 5 млн т ежегодно. Общее количество бытового мусора за годы функционирования «Дуальной системы» сократилось в Германии на 15%.

Для того чтобы с самого начала исключить все политические барьеры, которые могут возникнуть вследствие политических разногласий по поводу требований, предъявляемых к упаковке товара, в 1995 г. «Дуальная система Германии» создала Европейскую организацию по утилизации упаковочного материала (Packaging Recovery Organisation Europe – PRO EUROPE).

Первичной задачей PRO EUROPE является создание условий, при которых знак «Зеленая точка» (Grüner Punkt) присваивается согласно одинаковым правилам на территории всех стран, входящих в ЕС, и стран-кандидатов в члены ЕС. В связи с этим в 1996 г. права на использование знака «Зеленая точка» были переданы организации PRO EUROPE, в которую входит 30 членов в Европе и Канаде; 25 из них используют знак «Зеленая точка» в качестве символа, подтверждающего выдачу лицензии на сбор и переработку упаковки. Кроме того, PRO EUROPE заключила соглашения о сотрудничестве со следующими организациями: VALPAK (Великобритания), CSR (Канада), PYR (Финляндия), Icelandic Recycling Fund (Исландия), UkrPEС (Украина), которые гарантируют то, что все лицензиаты могут без проблем использовать упаковку, носящую данный символ, на территории их страны.

В настоящее время в Германии процессы предотвращения образования, утилизации и устранения отходов регулируются Законом «О содействии хозяйственному обороту и обеспечении безопасного для окружающей среды удаления отходов» от 27 сентября 1994 г. (последние изменения в закон внесены 21 августа 2002 г. Kreislaufwirtschafts – und Abfallgesetzes, KrW-/AbfG, 1996). Цель этого закона – содействовать ресурсосберегающему кругообороту материалов в экономике, а также обеспечить методы устранения отходов, оптимально учитывающие интересы окружающей среды. Среди прочего закон содержит положения относительно ответственности производителя за продукт «от колыбели до могилы», относительно порядка и планирования устранения отходов, допуска на внутренний рынок установок по ликвидации отходов, относительно обязанности получения разрешения для сбора и транспортирования отходов, а также относительно контроля.

В XX в. ситуация с утилизацией отходов претерпела существенные изменения. Если во все предыдущие века люди делали все возможное, лишь бы уклониться от неприятных обязанностей по борьбе с отходами,

то в XX столетии утилизация стала бизнесом, участие в котором сулило немалый доход.

Начиная с 1990-х гг. мусорная индустрия, включающая сбор, транспортирование, хранение, переработку и размещение отходов самого разного происхождения, вышла на международный уровень, и развитые страны охотно обмениваются эшелонами с отходами, подлежащими переработке и захоронению. Возникла даже острая конкуренция между предпринимателями, вовлеченными в «мусорный» бизнес.

Но на этом развитие «мусорной» отрасли не заканчивается (рис. 1.2). В настоящее время во всех европейских странах разработаны национальные стратегии и концепции управления ТБО. На международном уровне страны обмениваются положительным опытом. Так, в 2002 г. Робинотом Мюрреетом, профессором Лондонской школы экономики и одним из ведущих мировых специалистов в области экономики обращения с отходами, для руководства Великобритании и парламента Соединенного Королевства была разработана альтернативная концепция обращения с отходами Zero Waste, которая сфокусирована на всем жизненном цикле продукции.

В Германии в 2005 г. по заданию Агентства по охране окружающей среды, UBA, Dessau было проведено исследование и разработана стратегия «Цель 2020 – ресурсосбережение за счет экологически приемлемой переработки бытовых отходов». Начиная с 1999 г. главной целью Федерального министерства по охране окружающей среды Германии является создание к 2020 г. высокоэффективной системы переработки бытовых отходов, которая позволила бы полностью исключить складирование отходов на полигонах, – стратегия «Цель 2020». С июня 2005 г. Предписанием о захоронении отходов запрещено складирование отходов, которые могут быть переработаны. Основное внимание уделяется повышению уровня эффективного использования отходов за счет оптимизации использования материальных и энергетических ресурсов.

Упомянутая стратегия предлагает семь путей (комбинаций различных способов), которые позволяют эффективно перерабатывать и использовать бытовые отходы. Для оценки данных способов были разработаны следующие критерии:

1. Полнота использования первичных отходов.
2. Соответствие всем требованиям по охране окружающей среды.
3. Техническая возможность реализовать указанный проект при наличии современной техники.
4. Экономическая рентабельность.

Таким образом, пройдя многовековой путь становления и развития санитарной очистки городов и коммунальной сферы обслуживания, в настоящее время Евросоюз является одним из мировых лидеров в сфере управления отходами и обладает широкой компетенцией в области ресурсосбережения и экологической безопасности.

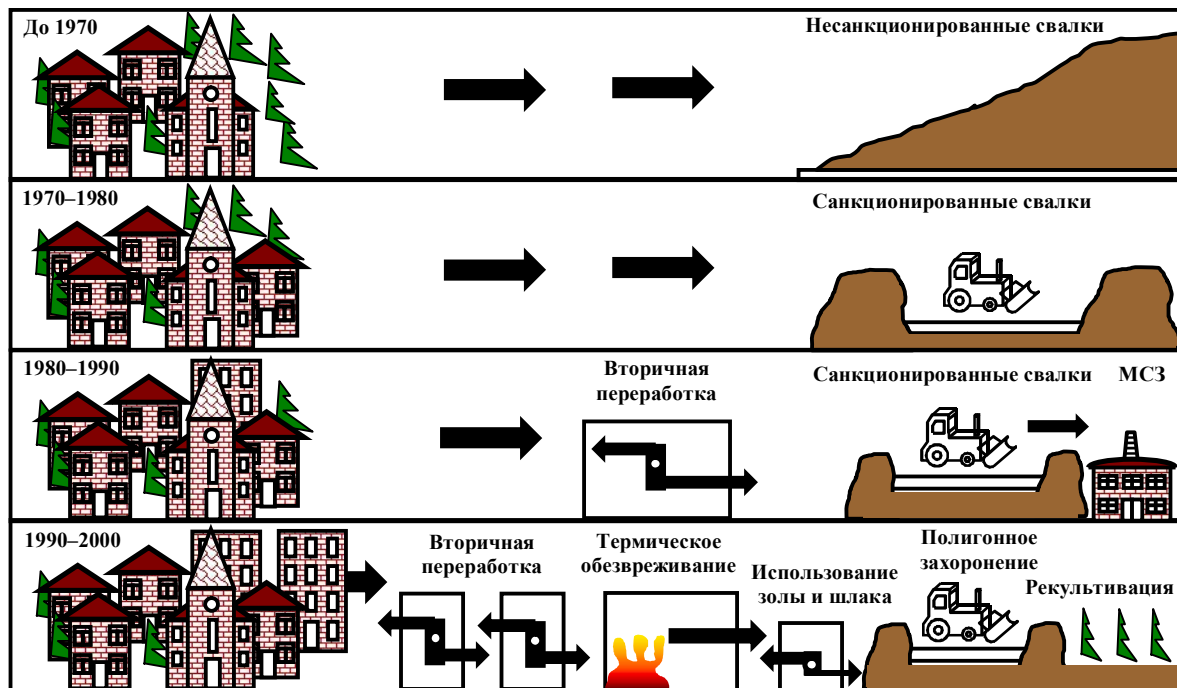


Рис. 1.2. История развития «мусорной» отрасли

## 1.2. Современные системы управления ТБО

Рассмотрим современную систему управления городскими отходами, сложившуюся в мире и России. Схематично она представлена на рис. 1.3.



Рис. 1.3. Блок-схема системы управления городскими отходами

Процесс начинается с того, что муниципальные службы организуют сбор и вывоз городских бытовых и промышленных отходов, проводя одновременно следующую политику:

1. Все предприятия и жилые комплексы стимулируются и нацеливаются на уменьшение отходов производства и жизнедеятельности человека. Для этого используются как экономические, так и директивные методы.

2. Организуется система максимальной утилизации образовавшихся отходов и возврат их в полезный цикл (рециклинг). Это может достигаться организацией пунктов приема вторичного сырья (стеклянные и пластиковые бутылки, алюминиевые банки, чистая бумага и картон, текстиль и др.) по месту жительства. На предприятиях также необходимо вводить технологии максимального рециклинга отработанного сырья [16, 20, 29, 47, 49].

Оставшиеся отходы централизованно собираются и вывозятся на крупные городские комплексы, где подвергаются дополнительной переработке одним или несколькими способами, указанными на блок-схеме рис. 1.3. У каждого способа есть свои плюсы и минусы. Статистика их использования по развитым странам будет приведена ниже. Но наиболее объемным в мировом масштабе сегодня является способ захоронения на специальных полигонах. Полигон – это естественный или искусственный земляной карьер, достигающий площади в несколько гектар с глубиной 10–20 м, находящийся над плотными водонепроницаемыми слоями земли и имеющий многослойный защитный экран из искусственных и естественных материалов (рис. 1.4, 1.5) [41, 58].

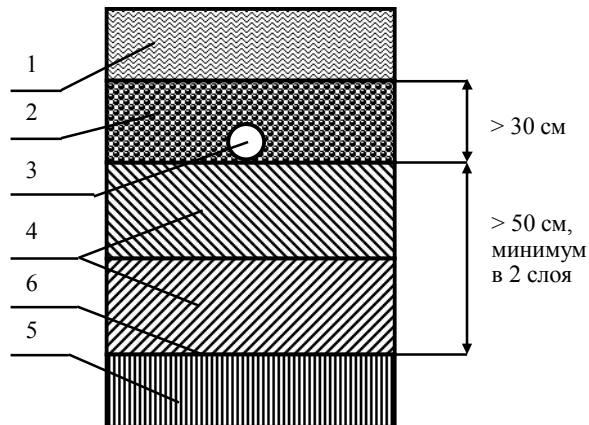


Рис. 1.4. Конструкция защитного экрана основания полигона первого типа:

1 – свалочный грунт; 2 – дренажный слой; 3 – дренажная труба; 4 – минеральный изоляционный слой; 5 – геологический барьер; 6 – планировочная отметка основания карты.

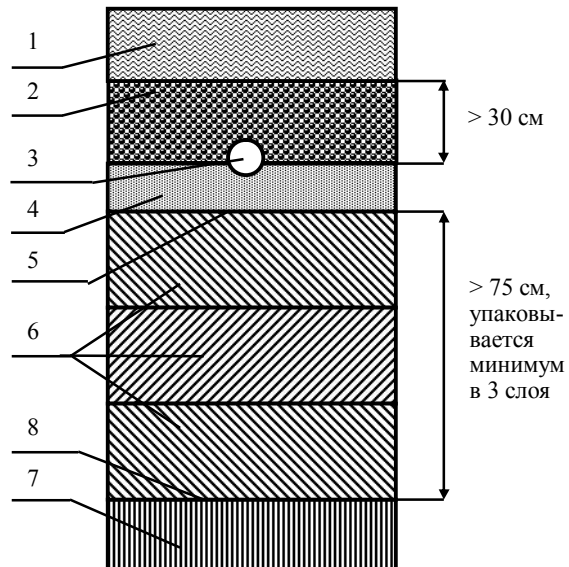


Рис. 1.5. Конструкция защитного экрана основания полигона второго типа:

1 – свалочный грунт; 2 – дренажный слой; 3 – дренажная труба; 4 – защитный слой; 5 – синтетическая гидроизоляция; 6 – минеральный изоляционный слой; 7 – геологический барьер; 8 – планировочная отметка основания карты полигона.

По всему периметру полигона прокладываются дренажные трубы для вывода на поверхность образующихся сточных вод и свалочного газа (биогаза). Полигон оборудован специальной системой пожаротушения. Дренажные воды должны подвергаться специальной очистке, а образующийся биогаз каким-либо образом обезвреживаться или утилизироваться [48]. Все полигоны по мере их заполнения подвергаются уплотнению тяжелой механической техникой с одновременной засыпкой слоями грунта. Это делается с целью перевода всех реакций в массе полигонного мусора в анаэробное состояние, однако брожение в массиве мусорного полигона все же происходит. При этом образуется свалочный газ (биогаз), состоящий в основном на 40–70% из метана и 60–30% двуокиси углерода. Имеются также примеси других газов и паров воды.

Время газогенерации в зависимости от состояния полигона, его географического расположения колеблется от 2 до 15 лет. На мусорные полигоны мира сегодня вывозится около 500 млн т отходов в год.

Удельный выход биогаза составляет от 120 до 200 м<sup>3</sup>/т отходов, его калорийность может достигать 5000–5500 ккал/м<sup>3</sup>. Объем свалочного метана достигает сегодня 40 млн т в год. Свалочный газ очень горюч, взрывоопасен, токсичен. Наконец, это один из главных поставщиков «парникового газа», на борьбу с которым объединилось мировое сообщество, согласно Киотскому протоколу.

Проблема утилизации свалочного газа в России стоит очень остро по одной простой причине: у нас практически нет оборудованных полигонов, описанных выше, но у нас есть необорудованные свалки, зачастую неизолированные от водоносных пластов, без дренажных стоков и биогаза, достаточного уплотнения и системы пожаротушения [19]. Поэтому наиболее характерный пейзаж нашего «полигона-свалки» – это горящие массивы, извергающие громадные клубы дыма со всем набором токсикантов (в том числе и супертоксикантов типа диоксина) на ближайшие поля, леса, поселки и города. Это очень дешевый, но чрезвычайно опасный для человека и природы способ захоронения. Следует добавить, что на свалки России вывозится ~95% всех городских отходов. В мировой практике основные рекомендации по борьбе со свалочным газом сводятся к схеме, изображенной на рис. 1.6. Причем на теплоэлектростанциях (ТЭС) биогаз используется как для выработки тепла, так и электроэнергии.

В России были опробованы две таких демонстративные установки. В ходе испытаний возник ряд проблем с очисткой газа и его обезвоживанием, и на этом эксперименты прекратились.

Как правило, мировая практика рекомендует применять два сортировочных пункта: по месту жительства и на сборных мусороперерабатывающих заводах. По месту жительства устанавливается несколько типов разноцветных мусорных контейнеров (для бумаги, стеклотары, пластика, пищевых отходов, металлических банок, текстиля, батареек и др.), куда жители несут отсортированные в квартирах отходы [16, 20, 26, 29, 33, 47, 52].

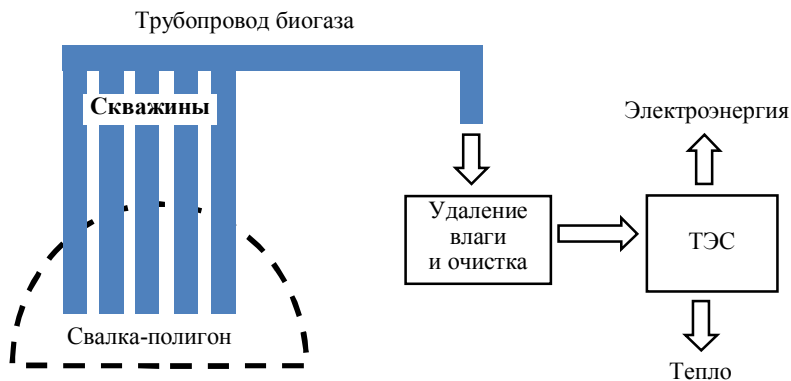


Рис. 1.6. Схема получения электроэнергии из биогаза

Специальные мусорные машины забирают из каждого контейнера накопленные отходы и увозят их на мусороперерабатывающие заводы, где отходы подвергаются вторичной сортировке, очистке и переработке в определенные продукты и изделия. Так, для пищевых отходов используется метод компостирования, который позволяет получать после естественного биоразложения продукт, применяемый как удобрение в парках, на сельскохозяйственных полях, для рекультивации земель.

Используются технологии четырех уровней:

1. Машинная технология. Изготавливаются компостные кучи размером  $4 \times 6$  м, которые механическим путем переворачиваются 1 раз в год. Готовность компоста наступает через 1–3 года.

2. Технология низкого уровня. Изготавливаются компостные кучи размером  $2 \times 4$  м, которые механическим путем переворачиваются 2 раза в год (через 1 месяц и затем – 10 месяцев). Готовность компоста наступает через 1,5 года.

3. Технология среднего уровня. Небольшие компостные кучи переворачиваются ежедневно в течение 4–6 месяцев до момента созревания компоста.

4. Технология высокого уровня. Изготавливаются и заполняются отходами специальные аэрационные емкости, где за счет принудительной аэрации воздуха в течение 2–10 недель получают готовый компост.

В последнее время за рубежом для интенсификации вышеописанных процессов стали применять вермикомпостирование (*vermes* – червь).

Если посмотреть на Россию с этих позиций, то ситуация выглядит удручающей. В России практически не идет сортировка мусора. Попытки организовать ее в различных регионах и мегаполисах (в том числе г. Москве, Санкт-Петербурге) потерпели экономический крах. Для этого есть объективные причины. И основная из них (если отбросить российский менталитет) – социальная: на кухне стандартной российской квартиры

физически невозможно сосредоточить несколько контейнеров для различного вида мусора. Поэтому в мусорные контейнеры по месту жительства и на мусороперерабатывающие заводы соответственно попадает смешанный, несортированный мусор. В г. Санкт-Петербурге в 1990-х гг. был построен большой компостный завод с полями компостирования, которые заполнились практически несортированными пищевыми отходами. После вызревания продукт не нашел применения. В нем был обнаружен целый букет вреднейших веществ, в том числе тяжелых металлов. Санитарно-эпидемиологическая служба запретила использовать его для сельскохозяйственных целей.

Тяжелая ситуация сложилась и на большинстве мусоросортировочных заводов России, отбирающих бумагу, картон, пластиковые бутылки, стекло. Отобранная вторичная продукция не находила спроса или покупалась по очень низким ценам. Причина в том, что все отбиралось из несортированного, грязного, «осемененного» потока отходов и, соответственно, требовало специальной химической и тепловой обработки. А этого на подавляющем большинстве заводов нет! Дорого! Поэтому и последовала череда банкротств таких заводов. Выжили только те заводы, которые организовали полный технологический цикл: сортировка → очистка → выпуск готовой продукции на основе отсортированных фракций (кровельная и тротуарная плитка, пластмассовые и стеклянные изделия, рубероид и т. д.). Но и у этих заводов была масса проблем. Оставшийся от переработки и сортировки мусор необходимо было вновь загрузить и отвезти на свалку-полигон. При удаленности заводов от свалки-полигона это были значительные экономические издержки.

Для уменьшения издержек на перевозку городского мусора и экономии земли в странах Западной Европы используют метод прессования свежего мусора. В специальных прессах развивается давление в несколько десятков тонн и тем самым формируются плотные кубы отходов различных размеров (распространен куб  $\sim 1,0 \text{ м} \times 1,0 \text{ м} \times 1,0 \text{ м}$ ).

Эти кубы вывозятся на специальный полигон, где укладываются в штабеля, укрываются и подвергаются длительному хранению. За счет уплотнения и, соответственно, резкого уменьшения поступления кислорода все химические реакции замедляются, и такое хранилище спрессованного мусора дает свой эффект: экономия транспортных издержек, экономия земли, большая экологическая безопасность. К сожалению, в России эти эффекты сведены к минимуму. У нас не построить экономику мусоропереработки на экономии земли – слишком большие пространства отдаются практически бесплатно под свалки-полигоны. И второе. Поскольку Россия – страна минусовых изотерм, то в зимний период оставшаяся в кубах мусора влага превращается в лед, разрывая уплотненную структуру куба (эффект разрывающейся бутылки от замерзания воды) и тем самым нарушая анаэробное течение химических реакций, увеличивая доступ кислорода и делая куб более химически опасным. Издержки на

прессование есть, а общий эффект зачастую становится отрицательным. Такова, к сожалению, специфика России.

Но в Западной Европе с ее недостатком земельных ресурсов и теплым климатом прессование городского мусора находит применение.

На конечной стадии неутилизованный мусор после сортировки и переработки направляется на мусоросжигательный завод, где окончательно обезвреживается, а оставшаяся зола идет на захоронение или же используется для производства строительных и дорожных материалов и конструкций. Необходимо отметить, что сегодня в мировой практике четко сформулирован принцип, что городской мусор – это малокалорийное возобновляемое топливо. И все мусоросжигательные заводы, оборудованные котлами-утилизаторами и турбинами, рассматриваются как источники дешевой тепловой и электрической энергии [8, 9, 14, 18, 22, 25, 30, 34, 39, 44, 46, 53, 57]. Описанная схема управления городскими отходами представлена на рис. 1.7.

Для понимания ситуации, где находится сегодня Россия и по какому пути в решении «мусорного» кризиса ей необходимо идти в настоящее время, приведем некоторые статистические материалы, касающиеся опыта Западной Европы и России [12, 16, 26, 33, 34, 52].

Важной характеристикой ТБО является их морфологический состав.

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01 состав ТБО в России должен соответствовать следующим значениям (% по массе):

|                     |    |
|---------------------|----|
| Бумажная смесь      | 45 |
| Древесина           | 4  |
| Текстиль            | 1  |
| Пластмасса и резина | 5  |
| Пищевые отходы      | 25 |
| Зола, пыль          | 7  |
| Металлы             | 6  |
| Стекло              | 7  |

В реальности он уже давно отличается от этих норм. Это показано в табл. 1.1–1.3. Сравнительные данные образования ТБО на душу населения в некоторых странах представлены в табл. 1.4. Для России эти цифры следующие: г. Москва ~500–550 кг на человека в год, г. Новосибирск ~350–400, малые города ~250 кг на человека в год.

### 1.3. Состав и свойства ТБО крупных городов России

**Морфологический состав.** ТБО по морфологическому признаку подразделяются на различные компоненты (табл. 1.1). В соответствии с единой методикой, принятой европейскими странами, при необходимости к ним добавляется компонент «садовые отходы». Для решения вопроса о целесообразности использования утильных компонентов ТБО проводят более

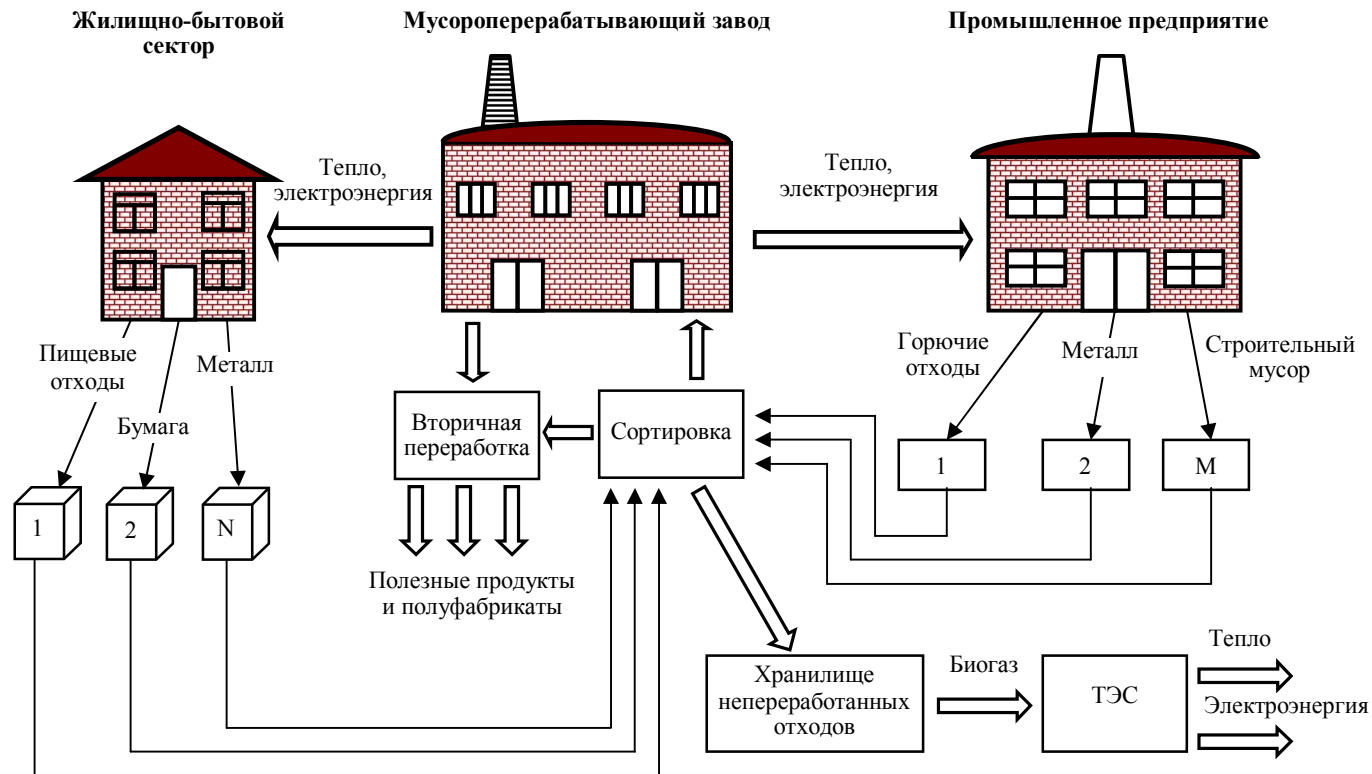


Рис. 1.7. Схема управления городским твердым бытовым мусором и промышленными отходами

Т а б л и ц а 1.1

Морфологический состав ТБО для разных климатических зон,  
% по массе

| Компоненты          | Климатическая зона |         |          |
|---------------------|--------------------|---------|----------|
|                     | средняя            | южная   | северная |
| Пищевые отходы      | 30–40              | 40–49   | 32–39    |
| Бумага, картон      | 36–39              | 22–30   | 26–35    |
| Дерево              | 1–2                | 1–2     | 2–5      |
| Черный металлолом   | 3–4                | 2–3     | 3–4      |
| Цветной металлолом  | 0,5–1,5            | 0,5–1,5 | 0,5–1,5  |
| Текстиль            | 3–5                | 3–5     | 4–6      |
| Кости               | 1–2                | 1–2     | 1–2      |
| Стекло              | 2–3                | 2–3     | 4–6      |
| Кожа, резина        | 0,5–1              | 1       | 2–3      |
| Камни, штукатурка   | 0,5–1              | 1       | 1–3      |
| Пластмасса          | 4–5                | 3–6     | 3–4      |
| Прочее              | 1–2                | 3–4     | 1–2      |
| Отсев (менее 15 мм) | 5–7                | 6–8     | 4–6      |

подробный анализ состава отходов, дифференцируя бумагу на условно чистую (утильную) и загрязненную, металл – на изделия из железа и консервные банки, пластмассу – на упаковочную и изделия из пластмасс [1].

Сезонные изменения состава бытового мусора характеризуются увеличением содержания пищевых отходов с 20–25% весной до 40–55% осенью, что связано с большим присутствием в рационе питания людей овощей и фруктов (особенно в южных городах). Зимой и осенью сокращается содержание мелкого отсева (уличного смета) с 20 до 7% в городах южной зоны и с 11 до 5% в городах средней зоны.

Состав ТБО крупнейших городов России, особенно Москвы, отличается большим содержанием упаковочных материалов (бумаги, пластмасс, цветных металлов) и соответственно меньшим содержанием пищевых отходов.

Морфологический состав отходов, собираемых с жилищного фонда и предприятий торговли (в том числе рынков), резко различается (табл. 1.2), что важно с точки зрения возможности и целесообразности раздельного сбора утильных фракций ТБО. На состав ТБО существенно влияет организация сбора в городе утильной бумаги, пищевых отходов, стеклотары. Известно, что со временем состав бытовых отходов несколько меняется:

Т а б л и ц а 1.2

Морфологический состав ТБО в городах регионов России, % по массе

| Компоненты          | ТБО жилого фонда | ТБО общественных торговых предприятий |
|---------------------|------------------|---------------------------------------|
| Пищевые отходы      | 30–40            | 13–16                                 |
| Бумага, картон      | 36–39            | 45–52                                 |
| Дерево              | 1–2              | 3–5                                   |
| Черные металлы      | 3–4              | 3–4                                   |
| Цветные металлы     | 0,5–1,5          | 1–4                                   |
| Текстиль            | 3–5              | 3–5                                   |
| Кости               | 1–2              | 1–2                                   |
| Стекло              | 2–3              | 1–2                                   |
| Камни, штукатурка   | 0,5–1            | 2–3                                   |
| Кожа, резина        | 0,5–1            | 1–2                                   |
| Пластмасса          | 4–5              | 8–12                                  |
| Прочее              | 1–2              | 2–3                                   |
| Отсев (менее 15 мм) | 5–7              | 5–7                                   |

увеличивается содержание бумаги, полимерных материалов. С переходом на централизованное теплоснабжение в крупных городах резко сократилось (практически до нуля) содержание в бытовом мусоре угля и шлака (табл. 1.3).

Значительно выросло содержание в ТБО цветных металлов за счет появления алюминиевых банок из-под пива и воды. После 1992 г. резко возросло содержание пластмассовых упаковочных материалов, в том числе 1,5–2-литровых ПЭТФ бутылок из-под воды. При этом содержание легко-разлагаемой органики (пищевых отходов) в общей массе ТБО немного уменьшилось.

Важным показателем свойств ТБО является плотность. Для благоустроенного жилищного фонда в весенне-летний сезон (в контейнерах) она составляет 0,18–0,22 т/м<sup>3</sup>, в осенне-зимний – 0,2–0,25 т/м<sup>3</sup>, для различных городов среднегодовое значение – 0,19–0,23 т/м<sup>3</sup>.

Низшая теплота сгорания ТБО колеблется от 6000 до 8000 кДж/кг, влажность находится в пределах 35–50%, зольность колеблется от 15 до 5%. Сравнительные данные образования отходов на душу населения в развитых странах представлены в табл. 1.4.

Годовой уровень накопления и использования основных видов отходов в РФ представлен в табл. 1.5. Исходя из морфологического состава ТБО

Т а б л и ц а 1.3

Современный состав ТБО жилищного фонда и прогнозируемые  
его изменения

| Фракции             | Российская Федерация |               | Москва  |               |
|---------------------|----------------------|---------------|---------|---------------|
|                     | 2001 г.              | 2007–2012 гг. | 2001 г. | 2007–2012 гг. |
| Пищевые отходы      | 30–40                | 26–36         | 26–30   | 24–28         |
| Бумага, картон      | 36–39                | 40–42         | 40–45   | 42–47         |
| Дерево              | 1–2                  | 1–2           | 1–2     | 1–2           |
| Черный металлолом   | 3–4                  | 3–4           | 2,5–3,5 | 2,5–3,5       |
| Цветной металлолом  | 0,5–1,5              | 0,5–1,5       | 1–2     | 1–2           |
| Текстиль            | 3–5                  | 3–5           | 4–5     | 6–5           |
| Кости               | 1–2                  | 1–2           | 1–2     | 1–2           |
| Стекло              | 2–3                  | 2–3           | 2–3     | 2–3           |
| Камни, штукатурка   | 0,5–1                | 0,5–1         | 0,5–1   | 0,5–1         |
| Кожа, резина        | 0,5–1                | 0,5–1         | 0,5–1   | 0,5–1         |
| Пластмасса          | 4–5                  | 4–6           | 5–6     | 5–6           |
| Прочее              | 1–2                  | 1–2           | 1–3     | 1–3           |
| Отсев (менее 15 мм) | 5–1                  | 5–7           | 5–7     | 5–7           |

Т а б л и ц а 1.4

Сравнительные данные образования отходов на душу населения  
в некоторых странах

| Страна   | Количество ТБО,<br>кг на человека в год | Страна                     | Количество ТБО,<br>кг на человека в год |
|----------|-----------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
| Австрия  | 556                                     | Люксембург                 | 643                                     |
| Бельгия  | 534                                     | Нидерланды                 | 613                                     |
| Германия | 537                                     | Норвегия                   | 613                                     |
| Греция   | 372                                     | Португалия                 | 453                                     |
| Дания    | 665                                     | Соединенное<br>Королевство | 493                                     |
| Ирландия | 601                                     | США                        | 812                                     |
| Исландия | 705                                     | Финляндия                  | 364                                     |
| Испания  | 397                                     | Франция                    | 530                                     |
| Италия   | 502                                     | Швеция                     | 428                                     |

Т а б л и ц а 1.5

Годовой уровень накопления и использования основных видов  
отходов в РФ [13, 31]

| Отход                                          | Объем образования, млн т | Уровень утилизации, % | Основной целевой продукт             | Доля вторичного сырья в целевом продукте по факту, % |
|------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Отходы добычи и обогащения полезных ископаемых | 2 730                    | 35,0                  | Строительные материалы               | 3,6                                                  |
| Шлаки и золы                                   | 33,6                     | 15,7                  | Цемент и другие вяжущие              | 20,6                                                 |
| Лом черных металлов                            | 30,0                     | 88,0                  | Сталь                                | 27,0                                                 |
| Древесные отходы                               | 12,6                     | 52,5                  | Топливо, строительные материалы      | < 1,0<br>10,0                                        |
| Макулатура                                     | 3,14                     | 33,4                  | Картон, бумага                       | 18,0                                                 |
| Покрышки автомобильные                         | 1,0                      | 4,7                   | Резиновые изделия, регенерат, металл | 3,6                                                  |
| Полимеры                                       | 0,71                     | 12,0                  | Термопласты                          | 4,2                                                  |
| Стеклобой                                      | 0,6                      | 34,0                  | Стекло                               | 10,0                                                 |
| ТБО                                            | 54,0                     | 3,5                   | Комплекс продуктов и энергия         | < 5,0                                                |

в повторное использование потенциально могут быть вовлечены 30–40% от всех образующихся отходов (по ТБО до 40%). В странах Евросоюза использование этого потенциала достигает 25–30%, а в индустриальных развитых странах постсоветского пространства (Россия, Украина, Казахстан) – менее 4% (данные 2007 г.).

В табл. 1.6 представлены сведения о способах утилизации городских отходов в некоторых странах [3, 49, 52].

На рис. 1.8, 1.9 приведены для сравнения стоимостные диаграммы некоторых способов утилизации отходов, сложившихся в Западной Европе в 2002–2003 гг.

Как видно из приведенных статистических данных, основным способом утилизации городских отходов по-прежнему остается захоронение на полигонах (свалках). Из стран, где используют раздельный сбор отходов для вторичного использования, максимальных результатов в утилизации отходов достигли Германия, Австрия, Швеция, Ирландия.

Т а б л и ц а 1.6

## Способы утилизации городских отходов в различных странах мира

| Страна         | Способы утилизации отходов (в % от общего количества отходов)* |                 |          |                                             |        |
|----------------|----------------------------------------------------------------|-----------------|----------|---------------------------------------------|--------|
|                | Захоронение на полигонах (свалках)                             | Компостирование | Сжигание | Использование в качестве вторичных ресурсов | Прочие |
| Австрия        | 31                                                             | 23              | 10       | 30                                          | 6      |
| Бельгия        | 13                                                             | 36              | 35       | 16                                          | —      |
| Великобритания | 84                                                             | 3               | 8        | 5                                           | —      |
| Германия       | 20                                                             | 18              | 22       | 37                                          | 3      |
| Греция         | 92                                                             | 4               | —        | 4                                           | —      |
| Дания          | 5                                                              | 30              | 54       | 10                                          | 1      |
| Ирландия       | 68                                                             | 1               | 1        | 30                                          | —      |
| Испания        | 59                                                             | 13              | 6        | 17                                          | 5      |
| Италия         | 78                                                             | 3               | 9        | 10                                          | —      |
| Люксембург     | 23                                                             | 3               | 41       | 30                                          | 3      |
| Нидерланды     | 13                                                             | 31              | 32       | 19                                          | 5      |
| Норвегия       | 58                                                             | 5               | 17       | 20                                          | —      |
| Португалия     | 75                                                             | 2               | 22       | 1                                           | —      |
| Россия         | 95                                                             | —               | 2        | 3                                           | —      |
| США            | 81                                                             | —               | 17       | 2                                           | —      |
| Финляндия      | 63                                                             | 4               | 9        | 24                                          | —      |
| Франция        | 38                                                             | 9               | 34       | 19                                          | —      |
| Швеция         | 14                                                             | 10              | 49       | 27                                          | —      |
| Южная Корея    | 70                                                             | 2               | 18       | 9                                           | 1      |
| Япония         | 13                                                             | 2               | 78       | 7                                           | —      |

\* Приведены данные 2007–2008 гг.

Следует отметить, что популярные лозунги «зеленых» «Ноль отходов – ноль потерь» абсолютно нереальны и необоснованны. С философской точки зрения, такой лозунг – это кризис, но не кризис отходов, а перепроизводство и чрезмерное потребление, которые сочетаются с незнанием последствий этой деятельности для окружающей среды. Даже теоретически, если

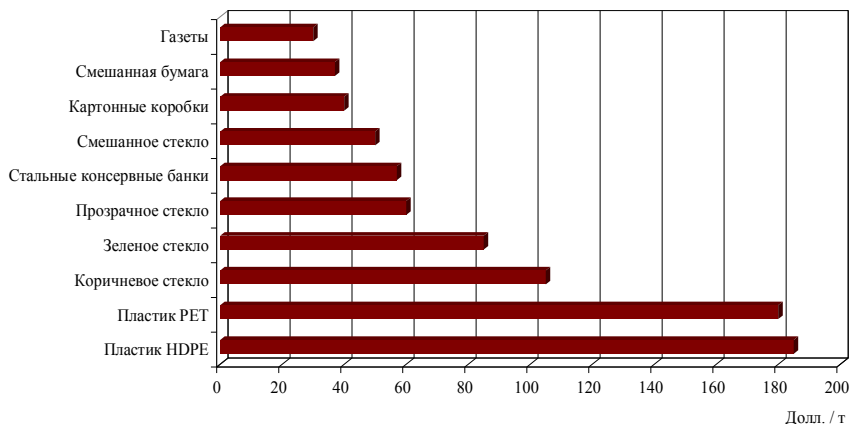


Рис. 1.8. Стоимость переработки вторсырья из муниципальных отходов на Западе

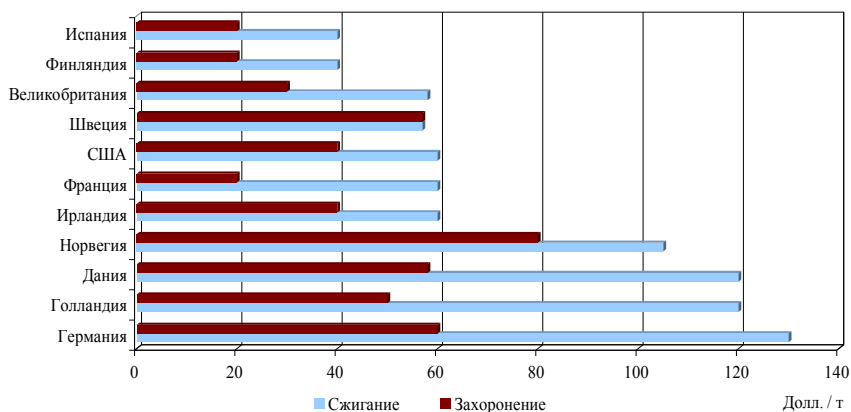


Рис. 1.9. Стоимость сжигания отходов и захоронения на полигонах

взглянуть на морфологический состав городских отходов и увидеть, что только часть компонентов ТБО находит сегодня экономически обоснованное вторичное применение (часть бумаги, металл, пластик, пищевые отходы), приходится делать выводы о необоснованности лозунга «Ноль отходов – ноль потерь». Процесс компостирования достиг максимума в Бельгии, Дании, Нидерландах, Австрии, и это связано с потребностью внутреннего рынка этих стран в удобрениях.

## **1.4. Термический метод обезвреживания ТБО. Мусоросжигательные заводы**

Вторым по объему применения после полигонов (свалок) стал способ термического обезвреживания [8, 12, 18, 28, 34–37, 39, 46].

Причем все большие слои общественности и специалисты начинают понимать, что городской мусор – это выгодное возобновляемое топливо, заменяющее уголь, газ, нефть и тем самым сохраняющее первозданную природу и ее ресурсы для будущих поколений [20, 27, 30, 38, 44, 52].

Калорийность ТБО составляет примерно треть калорийности угля, и при надлежащей технологии сжигания и соответствующем утилизационном оборудовании можно достичь очень высокого выхода тепловой и электрической энергии. Для России при ее системе утилизации смешанного мусора это наиболее рациональный и экономически выгодный способ переработки (обезвреживания). Хотя сегодня делаются очень некорректные попытки остановить продвижение этого способа. Это и публикации д-ра хим. наук С. С. Юфита – сотрудника Института органической химии РАН им. Н. Д. Зелинского, и выступления такой организации, как «Гринпис России». Так, реакцией на решение Правительства Москвы построить ряд мусоросжигательных заводов в округах столицы с выработкой тепловой и электрической энергии стали публикации в журнале «Твердые бытовые отходы» (2008–2009 гг.).

В статье «Выбросы мусоросжигательных заводов воздействуют на всю Москву» экологи московского отделения «Гринписа России» утверждают, что после введения в эксплуатацию новых МСЗ экологическая обстановка в столице значительно ухудшится [22]. При этом, с нашей точки зрения, выдвигается совершенно ложный довод, что «ни в одном из крупных городов мира не строят более двух таких заводов». Аналогичный аргумент приводится также в статье «Аргументы и факты политики управления отходами» (раздел «О строительстве мусоросжигательных заводов»), в которой автор утверждает, что «во всем мире нет городов, где эксплуатировалось бы более двух МСЗ», а, например, в Париже мусоросжигательных заводов «в действительности нет ни одного – все заводы расположены в пригороде» [22].

В действительности расположение крупных заводов для сжигания ТБО вблизи центров таких больших городов, как, например, Париж, Лондон, Гамбург, Брюссель, Вена и другие, – это нормальная мировая практика, проверенная временем. Никто не собирается их закрывать и, более того, на месте «старых» заводов строят новые современные комплексы. Например, завод Исси, расположенный непосредственно у границ центральной части Парижа и введенный в эксплуатацию в 1964 г., был остановлен на модернизацию в феврале 2006 г., а в начале 2008 г. вновь пущен в эксплуатацию, но уже с использованием новой современной технологии, отвечающей нормативным требованиям.

Таким образом, действующий муниципальный совет Парижа не опроверг сделанный 40 лет назад выбор своих предшественников в пользу сжигания. Отметим также, что на заводы, расположенные в городской черте, могут поступать отходы из пригородов и соседних областей, как, например, это происходит в Гамбурге. Это объясняется тем, что, являясь экологически безопасными предприятиями, современные заводы играют значительную роль в обеспечении города тепловой и электрической энергией.

В городской черте Парижа расположены три крупнейших завода, сжигающих 1,8 млн т ТБО в год с суммарной мощностью электрических турбин 100 МВт, теплогенераторов – 500 МВт. В пригороде расположены еще 7 заводов суммарной мощностью по ТБО 1,1 млн т в год. Все заводы вводились в эксплуатацию с 1969 по 2008 г. Если взять район большого кольца Парижа, то там работают 19 заводов по термической переработке ТБО общей установленной мощностью 4 млн т в год.

В Германии к 2010 г. работало 73 мусоросжигательных завода общей производительностью по ТБО 18 млн т в год [12]. Наряду с резким уменьшением объема и минерализации (избавлением от органического компонента) отходов вырабатывалась тепловая и электрическая энергия. Мусоросжигательные заводы Германии используют 72% всей вырабатываемой энергии для генерации тепла в виде горячей воды и пара и около 28% – для получения электроэнергии.

В Швеции работают 28 мусоросжигательных заводов, утилизирующих почти половину ТБО страны [16]. Посредством сжигания отходов Швеция производит около 20% тепловой энергии для систем центрального отопления. В некоторых городах этот показатель достигает 40% [34].

Лидером по числу мусоросжигательных заводов была и остается Япония [33]. Уже в 1975 г. в Стране восходящего солнца работало 1964 завода. Первый мусоросжигательный завод был построен в г. Киото в 1901 г.; на нем к 1908 г. сжигалось 79% всех образующихся в городе отходов. Такая ситуация в Японии была обусловлена рядом факторов: географическим положением, недостатком энергетических и земельных ресурсов и экономической политикой государства, не только стимулирующей, но и заставляющей строить мусоросжигательные заводы.

В бывшем СССР запускались в работу 10 МСЗ с упрощенной системой газоочистки и без утилизации энергии. Сегодня в России работают 4 завода: три в Москве и один в Архангельске. Мощность московских заводов по ТБО 700 тыс. т в год. Если московское правительство реализует свои планы, то суммарная мощность заводов возрастет до 3,1 млн т в год. Для экологии столицы это было бы существенная поддержка.

Жесткая полемика вокруг МСЗ возникла в конце 1960-х гг., когда стала появляться и, соответственно, попадать в печи мусоросжигательных заводов пластмасса на основе хлорорганики [10, 25, 37, 62].

Исследования отходящих дымовых газов и золы показали, что в их составе появились очень опасные для человека и природы соединения –

диоксины, фураны, названные впоследствии супертоксиантами. Структурная формула этих супертоксиантов основывается на двух бензольных кольцах, соединенных между собой и имеющих различное количество хлорных и кислородных включений. Схематично эти соединения представлены на рис. 1.10. Их полное официальное название – дибензо-п-диоксины (PCDD) и полихлорированные дибензофураны (PCDF). В русской транскрипции диоксины имеют обозначение ПХДД (полихлорированные дибензодиоксины), фураны – ПХДФ (полихлорированные дибензофураны). Согласно проведенным исследованиям оптимальная зона образования диоксинов и фуранов – это диапазон температур 250–450°C [38]. Очень большое значение также имеют такие факторы, как конечная температура сжигания отходов, величина избытка кислорода, наличие металлов – катализаторов (особенно медь), скорость и время ведения процессов сжигания и охлаждения. В результате данных исследований было найдено решение этой острой проблемы. В требованиях к процессам сжигания современных отходов Агентство по охране окружающей среды США сформулировало принцип 3Т (температура не ниже 1200°C, время пребывания продукции сгорания в установке сжигания при этой температуре не менее 2 секунд и турбулентность дымового потока не ниже  $Re \geq 50\,000$ ). При этом избыток кислорода должен быть в пределах 2–3%. Этому принципа в последнее десятилетие придерживаются в Канаде, Японии, Европейский странах. Его соблюдение позволяет добиться степени подавления диоксинов и фуранов 99,9999% (принцип шести девяток). Концентрация диоксинов не превышает норматив равный 0,1 нг/м<sup>3</sup>. Исходя из этих условий реконструируются старые и строятся новые мусоросжигательные заводы.

Метод сжигания является более оптимальным и подходящим для российских ТБО, чем для европейского мусора, так как отсутствие раздельного сбора обуславливает их высокую теплотворную способность (ведь с вторсырьем уходят наиболее высококалорийные фракции!).

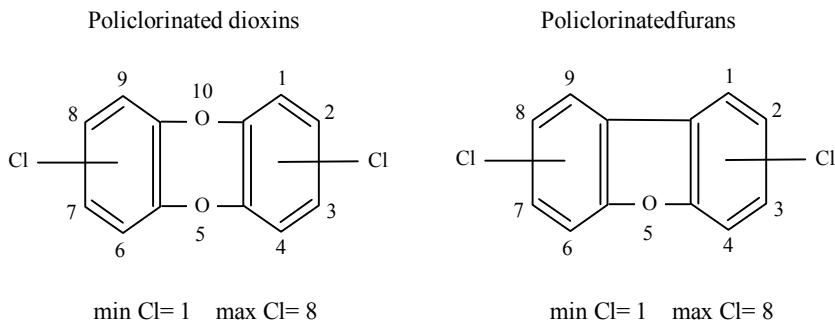


Рис. 1.10. Структурные формулы диоксинов и фуранов

**Классификация термических методов переработки отходов** была предложена в работе [35]. Автор выделяет три базовых процесса термического уничтожения отходов, имеющих различную физическую природу: сжигание, пиролиз и газификация. По сути, все существующие технологии используют один из этих процессов или их комбинацию (рис. 1.11). Различными могут быть температура процесса и способы нагрева: горелки с традиционным топливом, плазменная энергия и т. д. Рассмотрим их физическую сущность.



Рис. 1.11. Классификация термических методов переработки отходов

**Сжигание** – это уничтожение отходов методом организованного горения, являющегося регулируемой реакцией окисления с образованием пламени. Химическая энергия органических компонентов необратимо превращается в тепловую энергию, которая может быть утилизирована и направлена потребителю в виде пара или электроэнергии. Неорганические компоненты превращаются в зольный остаток.

Организованный процесс сжигания – это многоступенчатый процесс, происходящий в едином реакторе или печи. Он включает комбинацию процессов, протекающих в разных зонах: сжигание = пиролиз + газификация + термическое окисление органических веществ в газовой и твердой фазе (непосредственно горение).

Сегодня самым распространенным способом реализации управляемого сжигания является сжигание отходов в топке МСЗ с подвижной колосниковой решеткой.

**Пиролиз** – это термическое разрушение углеродсодержащего материала при полном отсутствии кислорода или его незначительном количестве. Продуктами пиролиза являются пиролизный газ, углеподобный остаток и жидкие продукты. Газ обладает средней теплотворной способностью ( $13\text{--}21 \text{ МДж/м}^3$ ) и содержит много неконденсированной жидкости, насыщенных и ненасыщенных углеводородов, главным образом метана, полученных в результате газификационного расщепления. Жидкий продукт (пиролизное масло, синтетическая нефть) представляет собой сложную смесь углеводородов с теплотворной способностью  $15\text{--}20 \text{ МДж/м}^3$ , которую следует очищать для использования в качестве топлива.

Относительные количества газа, жидкого и твердого продуктов зависят от температуры, времени выдержки, давления и других параметров реакции. При низких температурах ( $400\text{--}600^\circ\text{C}$ ) образуется больше жидких продуктов, при высоких ( $700\text{--}900^\circ\text{C}$ ) – больше газообразных.

Пиролиз отличается от газификации и сжигания, которые являются автотермическими реакциями, тем, что полностью протекает за счет энергии, сообщаемой через стенки реактора.

**Газификация** – это процесс частичного (избирательного) окисления, при котором органические вещества превращаются в смесь газов, главным образом водорода и окиси углерода. Кроме того, образуется твердый углеподобный остаток, который вновь подвергается окислению (газификации) с получением дополнительных газов, зольного остатка и тепловой энергии, необходимой для проведения реакции. Например, для газификации целлюлозы можно упрощенно привести пример реакции:



В процессе требуется газифицирующий агент, в качестве которого обычно служит воздух или кислород.

Получаемая при газификации смесь газов – синтез-газ – может сжигаться для получения тепловой энергии непосредственно без очистки или

образовывать после очистки достаточно качественное топливо, которое затем переводится в электрическую энергию посредством газовых турбин или двигателей внутреннего сгорания. Поэтому газификация позволяет получать электроэнергию с большей эффективностью, в то время как при сжигании отходящие газы сначала отдают свою энергию в котле-утилизаторе с производством пара, а затем энергия пара утилизируется в паровой турбине.

Газификация в воздухе происходит при температуре 900–1000°C, в кислороде – 1000–1400°C. Газификация с воздушным дутьем дешевле, чем с кислородным, но теплотворная способность полученного синтез-газа ниже: 4–6 МДж/Нм<sup>3</sup>, поскольку в газе содержится до 60% азота, тогда как при сжигании в кислороде теплотворная способность синтез-газа 10–18 МДж/Нм<sup>3</sup>.

На процесс газификации влияют следующие параметры:

- крупность частиц и гранулометрический состав смеси;
- теплотворная способность и содержание углерода в исходном сырье;
- содержание влаги;
- способ контактирования твердых частиц и газа;
- давление и температурный режим;
- продолжительность реакции.

Н. В. Михайлова [35] предлагает осуществлять *выбор технологии термической переработки* следующим образом. Газификацию и пиролиз не рассматривать как альтернативы сжиганию, поскольку каждая из этих технологий имеет свои преимущества и недостатки. Важно определить, какой метод обеспечит наиболее экономичный способ утилизации конкретного вида отходов.

Методы газификации и пиролиза дают возможность выделения ценных компонентов, химического сырья. Но многочисленные попытки организовать промышленный пиролиз отходов показывают, что технический и экономический смысл он имеет только при получении самостоятельных, реализуемых продуктов. Энергетическое использование продуктов пиролиза – то же сжигание, но усложненное массой дополнительных стадий и оборудования, что только удорожает процесс. Следует помнить, что при сжигании продуктов пиролиза на месте получения экологический статус предприятия и требования к газоочистке остаются такими же, как и при прямом сжигании отходов.

Из-за неравномерного состава коммунальных отходов, высокой влажности и низкого содержания углерода при их пиролизе невозможно получить ценные стабильные продукты. Потенциально ликвидный продукт пиролиза твердых коммунальных отходов (ТКО) – синтетическая нефть – является крайне обводненным и токсичным, а наличие парафинов и высокое содержание примесей делают его очистку практически неосуществимой. В то же время расход топлива на поддержание процесса пиролиза ТКО достаточно велик. Поэтому приходится признать, что пиролиз коммунальных отходов не является рациональным способом их переработки.

Те же свойства ТКО делают их малоподходящими и для переработки газификацией. Многочисленные установки, выпускаемые для пиролиза и газификации отходов, действительно работают, но коммунальные отходы на них не перерабатываются. Эти установки работают на стабильных по составу отходах с высоким содержанием углерода, например на нефтешламах, пластиках или резиновых отходах.

Приведем конкретные примеры внедрения альтернативных методов термической переработки ТКО. Начнем с реализации пиролиза и газификации как наиболее успешных методов.

**Пиролиз Siemens TWR.** В период пика интереса к технологиям пиролиза и газификации в 1990-х гг. крупнейшей фигурой на этом рынке стала компания Siemens TWR. Процесс Siemens основан на комбинации пиролиза и высокотемпературного сжигания ТКО.

После дробления на куски размером до 200 мм отходы загружаются шнековым питателем в пиролизный барабан. Во вращающемся барабане материал подвергается пиролизу без подачи кислорода при температуре 450°C и активном перемешивании в течение часа.

Получаемый пиролизный газ направляется в камеру сжигания. Твердый остаток пиролиза выводится из барабана, охлаждается до температуры 150°C и направляется на грохочение в целях отделения крупных металлических и минеральных фракций. Тонкая фракция, содержащая 30% углерода, смешивается с уловленной в пылегазоочистке золой и направляется в камеру сжигания, где сжигается совместно с пиролизным газом при температуре 1300°C. На выходе из камеры сжигания получается остеклованный шлак; отходящие газы отдают тепло в паровом котле с дальнейшим производством электроэнергии и направляются на газоочистку.

Установка Siemens TWR для пиролиза ТКО промышленного масштаба производительностью 5 т/ч (150 тыс. т/год) была построена в Германии. Эксплуатация постоянно осложнялась технологическими проблемами, в частности проблемой подачи питания в реактор. После двух лет попыток наладить процесс эти проблемы вылились в серьезную аварию, после которой компанией было принято решение покинуть европейский рынок термических технологий.

Лицензия была продана японским компаниям Mitsui (г. Фукуока) и Takuma (г. Кумамото), которые запустили процесс с некоторыми доработками. По последним сведениям, в технологиях Mitsui и Takuma предполагалось использовать смесь высококалорийных промышленных и «коммерческих» отходов с коммунальными.

Результаты строительства пиролизных установок для ТКО другими крупными компаниями, например Von Roll, Nippon Steel, привели разработчиков к сходному выводу: на коммунальных отходах пиролиз экономически не целесообразен. Затраты на проведение процесса могут окупить лишь стабильные высококалорийные отходы – резина, пластики, другие отходы с высоким содержанием углерода.

**Газификация-сжигание Thermoselect** – наиболее известный технологический процесс газификации неподготовленных ТКО, прошедший в практической реализации дальше своих конкурентов. Основа технологии – комбинация газификации и высокотемпературного сжигания ее продуктов. Получаемый в процессе синтез-газ используется для производства электроэнергии в газовой турбине. Неорганические компоненты образуют остеклованный шлак, из которого извлекается концентрат металлов. Конденсат от очистки синтез-газа подвергается переработке с извлечением солей, элементарной серы и цинкового концентрата.

В г. Фондоточе (Италия) была запущена первая пилотная установка Thermoselect производительностью 30 тыс. т/год, однако стабильной работы установки добиться так и не удалось, она была закрыта. Установка промышленного масштаба производительностью 225 тыс. т/год, состоящая из трех линий и рассчитанная на теплотворную способность ТКО 12 МДж/кг при теплотворной способности смешанных ТКО 7–9 МДж/кг, была построена и введена в эксплуатацию в 1999 г. в г. Карлсруэ (Германия). Есть сведения о том, что значительную часть сырья для нее составляло высококалорийное топливо RDF, полученное на заводах механобиологической сортировки отходов.

Установка оказалась затратной в эксплуатации, декларируемые продукты (сера, металлические концентраты) не имели товарного качества, и в результате завод был приостановлен в 2004 г. по инициативе владельца – ENBW Energie Baden-Württemberg AG из-за возникших технических и организационных трудностей.

В последнее время появились сведения об экспериментальных условиях, при которых происходит совмещение процесса газификации с СВЧ-обработкой поступающих отходов. Такое совмещение позволяет сохранить расход топлива и получить более полное разложение широкого спектра отходов. Насколько такая технология экономически обоснована покажет время.

Как подтверждает опыт, углерода, содержащегося в неподготовленных ТКО, недостаточно для автотермического протекания газификации и получения более или менее ценного синтез-газа. Следует отметить, что на высококалорийных отходах газификация работает успешно, но повсеместно она не распространена. Например, газификация ТКО, организованная British Gas R&D на электростанции в г. Данфермлин (Великобритания), предусматривает сложный процесс подготовки отходов с сушкой, измельчением и выделением высококалорийной части (~20%), после чего отходы смешиваются с коксом и формируются в брикеты. Содержание кокса в брикетах, являющихся питанием для газификатора, – более 50%.

**Плазменные технологии** переработки отходов относятся к высокотемпературным методам и отличаются тем, что нагрев происходит в результате генерации плазмы – ионизированного газа с большой энергией. Плазма образуется при высокоэнергетическом столкновении газа-носителя

с заряженными электронами, испускаемыми одним из заряженных электродов плазменной горелки. Температура дугового разряда в плазменной горелке может достигать 10 000°C.

На основе плазменного нагрева могут быть реализованы самые различные процессы, например: плазменное сжигание, плазменная газификация. Преимуществом плазменных технологий является возможность перерабатывать отходы с низкой теплотворной способностью, высокой зольностью и влажностью до 75%. Для обеспечения удовлетворительного теплопереноса перерабатываемый материал должен быть тщательно измельчен.

Плазменный дуговой разряд является относительно локальным источником нагрева, поэтому при больших производительностях реактора, требующихся для ТКО, будут возникать проблемы теплопередачи. Некоторые авторы [2, 7, 39, 40] предлагают установку групповых горелок (и электродов), но до сих пор ни один из проектов не реализован в масштабе, который позволил бы рассматривать такую технологию в качестве потенциального конкурента традиционному мусоросжиганию. По своей сути плазменные технологии достаточно дороги, а их реализация на ТКО в промышленном масштабе, по оценкам экспертов, будет стоить 700–970 долл. в пересчете на 1 т годовой производительности. В то же время капитальные затраты на МСЗ с подвижными колосниковыми решетками составляют 500–600 долл. на 1 т/год. Поэтому примеров промышленной переработки ТКО плазменными методами в ближайшее время не ожидается. Реально можно встретить установки небольшой производительности для плазменной переработки низкокалорийных опасных отходов, отходов лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) и кожевенного производства, уничтожение которых окупается огромным природоохранным эффектом.

Для уничтожения высококалорийных отходов (например, резины) плазма не используется, так как эти отходы востребованы как качественное сырье для более простых и дешевых методов.

**Печь Ванюкова.** Использовать процесс сжигания в слое барботируемого шлакового расплава для переработки ТКО было предложено в начале 1990-х гг. институтом «Гинцветмет». Сжигание происходит при температуре выше точки плавления шлака (1350–1400°C) в слое расплава, который образуется из загружаемых в печь золошлаковых отходов ТЭЦ. Барботаж расплава осуществляется кислородно-воздушным дутьем; для дожигания дымовых газов предусмотрена подача дутья выше уровня расплава. ТКО непрерывно загружаются в интенсивно перемешиваемый вспененный расплав. Минеральная часть отходов и металлические компоненты расплавляются в шлаке. Шлак после охлаждения представляет стерильную твердую субстанцию. Теоретически в донной фазе должен получаться металл, однако в ходе опытных испытаний его получить не удалось.

Процесс Ванюкова был изначально разработан и применен в цветной металлургии для плавки сульфидных, медных, никелевых и свинцовых концентратов. Для широкомасштабной термической переработки ТКО

этот процесс неэффективен по причине несопоставимости состава сырья, а также высоким затратам, которые в металлургии оправдываются за счет получения промышленного продукта – цветных металлов. Для поддержания в жидком состоянии шлаковой ванны при температуре 1350–1400°С необходимо затрачивать огромное количество тепла. В металлургии процесс является автогенным, так как нагрев и расплавление шихты происходит за счет тепла, выделяемого при окислении сульфидов. Теплового потенциала ТКО явно недостаточно для поддержания таких температур в высокоэффективных слоевых процессах сжигания неподготовленных ТКО (например, на подвижных колосниковых решетках без добавления дополнительных топлив удастся добиться температурного уровня не более 1000°С), следовательно, необходимо затратить большое количество дополнительного топлива (природный газ, уголь).

Непредсказуемый состав исходных ТКО, разброс по характеристикам, особенно по влажности, могут привести к неравномерной работе печи, чувствительной к колебаниям состава компонентов шихты и температурного режима, и, в конечном счете, к остановке. При остановке повторный запуск печи занимает 7–8 суток. Не следует забывать и о технических трудностях утилизации тепла жидкого шлакового расплава.

Вероятно, печь Ванюкова можно будет использовать при переработке промышленных металлосодержащих отходов. Для коммунальных отходов применение печей Ванюкова неприемлемо по экономическим и технологическим соображениям; и сегодня эта технология не реализована.

Таким образом, высокотемпературные технологии, призванные обеспечить полное разложение экотоксикантов, например диоксинов, оказываются неоправданно затратными. С точки зрения авторов обзора, позиционирование высокотемпературных методов как гарантирующих отсутствие диоксинов и фуранов на выходе необоснованно. Высокая температура (не ниже 1000–1200°С) и время пребывания газов в факеле в течение 2 с являются необходимым, но не достаточным условием для полного протекновения образования полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов, так как они могут вновь формироваться при понижении температуры. Еще одним недостатком высокотемпературных методов является то, что образование оксидов азота, требующих дорогой газоочистки, резко возрастает при превышении температуры 1400°С.

**Сжигание в печи кипящего слоя.** Для тщательно подготовленных отходов достаточно часто применяются печи кипящего слоя, где слой тонкоизмельченного материала переходит в подвижное (псевдоожиженное) состояние в результате пропускания через него струи газа, обычно воздуха. Частицы, омываемые окислителем, сгорают значительно эффективнее. Этот метод был известен с начала прошлого века и применялся для сжигания угольной мелочи на электростанциях. Сейчас сжигание в «кипящем слое» применяется для биомассы, древесной коры и щепы, торфа (в Скандинавии и Канаде), сепарированных ТКО (в Японии). Опыт работы печи

кипящего слоя на российских ТКО в Москве показал проблематичность организации этого процесса для несортированных отходов.

**Сжигание во вращающейся печи.** Барабанная вращающаяся печь представляет собой стальной барабан длиной 10–25 м и диаметром 1–4 м, футерованный огнеупорными материалами, устанавливаемый с небольшим наклоном. Температура горения в печи составляет 850–1000°C, время пребывания частиц – от нескольких минут до нескольких часов в зависимости от вида отходов. Как правило, эта технология предусматривает дожигание отходящих газов в специализированной камере, а также обеспечивает высокую подвижность частиц материала в фазе плотной постели и применяется, главным образом, для различных отходов, в том числе и опасных.

**Сжигание в топке с подвижной колосниковой решеткой.** Комплексное сжигание неподготовленных ТБО в общепринятой мировой практике осуществляется в топках специализированных мусоросжигательных заводов на колосниковой решетке, совершающей возвратно-поступательные движения. Продвижение материала от загрузочного до разгрузочного конца с определенной скоростью достигается переталкиванием материала подвижными элементами колосниковой решетки. Каждая секция решетки имеет источник подачи воздуха через колосники. Кроме того, в объем топочного пространства, где установлена горелка дожигания отходящих газов, осуществляется подача вторичного воздуха. Температура горения ТКО на колосниковой решетке составляет 1000°C, температура дожигания в топочном пространстве – 1000–1200°C. Стенки топки экранированы испарительными поверхностями – вертикальными рядами труб, по которым циркулируют вода и пар.

Топка соединена с котлом, в котором горячие газы отдают тепло. В газоходах котла последовательно устанавливаются состоящий из стальных труб пароперегреватель (элемент парового котла, повышающий температуру пара сверх температуры насыщения) и экономайзер (теплообменник) для предварительного подогрева питательной воды за счет тепла отходящих газов. Перед выбросом в окружающую среду отходящие газы направляются в систему многоступенчатой газоочистки.

Полученный при утилизации тепла пар можно использовать в системе городского отопления или направлять в паровую турбину с производством электроэнергии. КПД при производстве пара на МСЗ составляет 40%, при производстве электроэнергии – 20–25%.

При теплотворной способности отходов 8,5–9 МДж/кг можно достичь стабильного автогенного процесса сжигания (без дополнительного топлива, природный газ подается только в зону дожигания дымовых газов).

Технология сжигания ТКО на подвижных колосниковых решетках МСЗ является преобладающей и практически единственной из серийно выпускаемых. По данным на 2006 г., в Европейском союзе работало более 350 таких предприятий. Только в Германии за последние 10 лет были по-

строены МСЗ производительностью 5 млн т/год; суммарная производительность немецких МСЗ сегодня составляет более 20 млн т/год.

Для наших коммунальных отходов прекрасно подходят технологии мусоросжигания таких мировых производителей, как Martin, Babcock & Wilcox, Von Roll.

Ввиду развивающейся энергетической стратегии утилизации отходов в мировой практике накоплен успешный опыт в обеспечении экологической безопасности при мусоросжигании. Современные заводы снабжены совершенными системами контроля и газоочистки; состав дымовых газов от МСЗ постоянно отслеживается и поддерживается на безопасном уровне. Зола и шлак, образующиеся при мусоросжигании, не токсичнее исходных ТБО, а на Западе даже используются для дорожного строительства после переработки.

Заявление о том, что мусоросжигательные заводы опасны для здоровья населения, не имеет под собой основания: по материалам Росстата, в общей структуре промышленных выбросов выбросы мусоросжигательных заводов (в числе выбросов предприятий ЖКХ) не достигают даже 1%. Исследования влияния различных объектов мусоропереработки на здоровье населения (SPPP1, EPA) показали, что ухудшения здоровья населения в результате деятельности МСЗ достоверно не зафиксировано. Между тем в Лондоне, Вене, Гетеборге и других городах Европы крупные заводы находятся в центре мегаполисов, и мониторинг здоровья населения проводится регулярно. Проживание же в районе свалок, связанное с загрязнением грунтовых вод, выделением в атмосферу продуктов разложения ТБО и выбросами от стихийного горения мусора, повышает заболеваемость населения в разы.

Следует также вспомнить, что метан, образующийся при разложении ТКО на полигоне, обладает парниковым эффектом в 20 раз большим, чем углекислый газ, образовавшийся при сжигании эквивалентного количества мусора.

Отдельного внимания заслуживает вопрос образования диоксинов и фуранов (рис. 1.12). Не поддаваясь нагнетаемому массовому психозу, разберемся объективно, при каких условиях образуются диоксины и можно ли их избежать при мусоросжигании.

Несмотря на участие кислорода в реакции образования диоксинов, условием для их синтеза является недостаток кислорода (в том числе пиролизические условия). Способствуют образованию диоксинов плохое перемешивание, щелочная среда и наличие соединений меди как катализаторов. Центрами образования и сорбции диоксинов являются частицы пыли и сажи, поэтому эмиссия диоксинов существенно связана с качеством очистки отходящих газов от пыли и золы.

Образование диоксинов, как отмечалось выше, в значительной мере зависит от режима сжигания отходов [59]. Диоксины начинают активно синтезироваться в интервале температур от 250°C, причем максимум приходится



Рис. 1.12. Исследование выбросов диоксинов в регионе Прованс – Альпы – Лазурный берег\* [35]

\* По данным Permanent Monitoring Organization for the Prevention of Industrial Pollution (SPMPI).

на 300–350°C. Это явление возникает при неконтролируемом сжигании мусора или при пожаре на полигонах. Дальнейшее повышение температуры приводит к разрушению диоксиноподобных веществ. В настоящее время установлено, что эффективное разрушение ПХДД происходит в интервале температур 1200–1300°C при выдерживании газов минимум в течение 2 с при избытке кислорода и перемешивании. Этот принцип заложен в основу современных технологий сжигания ТКО; его соблюдение как поставщиками технологий, так и самими МСЗ жестко регламентируется международными требованиями Директивы ЕС 2000/76.

Если условия необратимого разрушения диоксинов не были соблюдены, то при охлаждении в пределах 450°C они синтезируются вновь. Для предотвращения этого процесса используются схемы быстрого охлаждения отходящих газов до 180°C.

Контролируя влияние перечисленных факторов, современные процессы мусоросжигания позволяют добиться снижения выброса диоксинов до ничтожного уровня независимо от содержания галогенов в ТКО. Итак, основные технологические пути данного направления:

- обеспечение эффективного перемешивания на колосниковой решетке без повышенного образования пыли;
- управление температурным режимом дожигания газообразных продуктов сгорания с интенсивным перемешиванием и нагревом газовой фазы не ниже 1500°C минимум в течение 2 с;
- обеспечение достаточного количества кислорода в зоне горения;

- предотвращение повторного синтеза диоксинов за счет быстрого охлаждения дымовых газов;
- эффективное улавливание пыли, сажи и летучих соединений в замкнутом цикле химической очистки с использованием активированного угля.

Изменение требований к технологиям мусоросжигания позволило практически избавиться от проблемы выброса диоксинов: если в 1970-х гг. мусоросжигательные предприятия выбрасывали  $50 \text{ нг/м}^3$ , в 1990-х –  $5 \text{ нг/м}^3$ , то в отходящих газах современных МСЗ содержится менее  $0,1 \text{ нг/м}^3$  диоксинов. Ярким примером является Швеция (рис. 1.13).

Из представленной диаграммы видно, что при растущем количестве мусоросжигательных заводов суммарные выбросы диоксинов от них продолжают падать.

Технические усовершенствования, направленные на обеспечение наиболее полного сгорания твердой фазы ТКО, дожигание отходящих газов и улавливание взвешенных частиц, снизили образование диоксинов на современных подвижных колосниковых решетках МСЗ практически до нуля. Жесткие международные нормативы регулируют содержание диоксинов в выбросах, обеспечивая безопасность человека и окружающей среды. Выброс диоксинов на современных МСЗ в сотни раз ниже безопасного уровня. Это демонстрирует опыт работы новых МСЗ в Германии, Швеции, Великобритании и других европейских странах, где регулярный контроль содержания диоксиновой группы в выбросах подтверждает высокий уровень экологической безопасности.

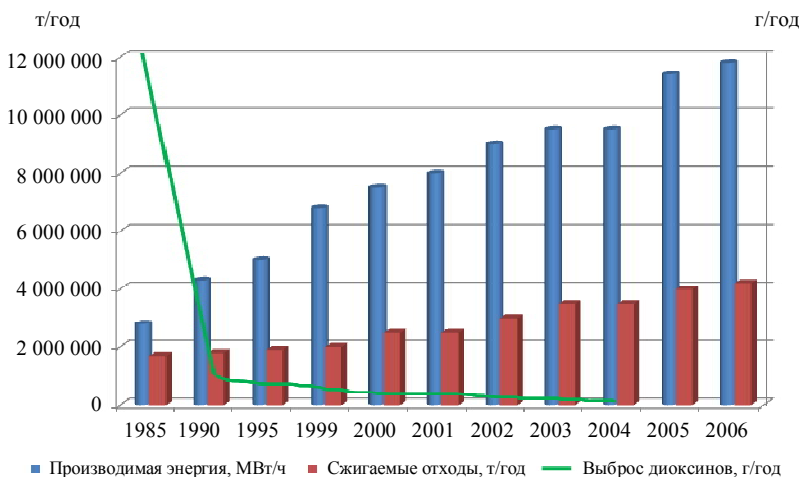


Рис. 1.13. Динамика развития мусоросжигания и выбросов диоксинов МСЗ в Швеции\* [35]

\* Источник – [www.waste-management-world.com](http://www.waste-management-world.com)

**Сжигание или рециклинг?** Сегодня особенно остро обсуждается вопрос «более экологичной» альтернативы термической переработке. В частности, многие общественные природоохранные организации утверждают, что внедрение развитой системы рециклинга позволит отказаться от мусоросжигания. На самом деле ни один из этих подходов не является универсальным. **Рециклинг – не альтернатива сжиганию.** Обе эти технологии – неотъемлемые составляющие комплексной системы обезвреживания отходов.

Содержание вторсырья в ТКО оценивается до 40%, но, попадая в контейнер общего сбора, большая часть деловых фракций теряет потребительские свойства. При низкой эффективности ручной сортировки масса извлекаемого вторсырья практически не превышает 10–12%. Что же делать с оставшимися 9/10 отходов? Что делать с оставшимися 6/10 отходов в случае внедрения их раздельного сбора?

Прессование «хвостов» сортировки – лишь мера уплотнения для удобства захоронения; масса отходов и количество экотоксикантов остаются неизменными. Компостированием можно обезвредить только биоразлагаемую часть отходов, а получаемый из смешанных ТКО компост слишком загрязнен для реализации и опять же складывается на полигонах. В этой ситуации для не подлежащей вторичной переработке массы единственным полезным применением может быть утилизация энергетического потенциала, что и происходит на МСЗ.

Альтернативные пути энергетического использования отходов предложены в [35]. Одним из перспективных способов термической утилизации отходов является использование их в виде топлива в энергоемких промышленных процессах. При этом тепло от сжигания отходов расходуется непосредственно в тепловом агрегате для протекания физико-химических процессов. С небольшими затратами на сортировку ТКО можно превратить в обогащенное топливо стабильного состава, далее используемое в промышленности наравне с другими видами топлива. Задача «обогащения» ТКО заключается в увеличении содержания высококалорийных компонентов (пластик, резина, кожа, бумага, дерево) и удалении экологически вредных и «балластных» для термической переработки компонентов (негорючие песок, стекло, кости, металл, композиционные пластики, электроника. Прежде всего, обращается внимание на содержание галогенов и тяжелых металлов). Результат этого процесса – достаточно высококалорийное топливо, которому дали название «топливо, полученное из отходов» (ТПО), или «refuse derived fuel» (RDF).

Для термической утилизации отходов подходят доменные печи, высокотемпературные трубчатые печи цементной промышленности, конвейерные обжиговые машины, которые по своим конструктивным особенностям, температурному режиму, характеру конечного продукта, системе газоочистки обеспечивают необходимую экологическую безопасность. Однако сегодня законодательство в сфере обращения с отходами недоста-

точно развито и не обеспечивает мер поощрения и принуждения, необходимых для активного участия цементных и металлургических предприятий в уничтожении городских отходов.

Таким образом, следует признать, что сжигание коммунальных отходов в топках современных мусоросжигательных заводов сейчас является практически единственным экологически и технически обоснованным способом их термической переработки. Безусловно, строительство таких заводов сопряжено со значительными затратами. Здесь экономия должна быть достигнута за счет комплексного подхода к мусоропереработке: сжиганию следует подвергать только те отходы, которые не могут быть использованы с получением реально востребованного товарного продукта.

Далее рассмотрены схемы оборудования, которые могут быть использованы для термического обезвреживания и переработки различных отходов. На рис. 1.14 представлена технологическая схема реконструированного мусоросжигательного завода № 3 в г. Москве (МСЗ-3).

Новое предприятие по термической утилизации отходов МСЗ-3 расположено в южной части Москвы в промышленной зоне Бирюлево, на месте существовавшего мусоросжигательного завода площадью 25 тыс. м<sup>2</sup>. Старый завод проработал 21 год, начиная с 1983 г. Так как завод перестал удовлетворять последним требованиям технологии сжигания отходов, встал вопрос о его замене на более современный. Считалось, что реконструкция завода благотворно скажется на экологической обстановке в Москве и МСЗ-3 станет не только самым современным, но и самым крупным из подобных предприятий города. От старого завода останется только несколько существующих зданий, а именно: накопитель, районная ТЭЦ, дымовая труба.

Реконструкцию проводила австрийская фирма AVN.

Мусоросжигательный завод МСЗ-3 состоит из двух блоков. Каждый из них может принимать по 22,5 т отходов в час и при выходе на проектную мощность перерабатывать по 330 тыс. т отходов в год. Теплотворная способность московских ТБО составляет около 7000 кДж/кг, что позволяет вырабатывать примерно 110 т/ч паровой энергии. Энергия пара преобразовывается в электрическую в новой турбине и подается в обширную районную сеть централизованного теплоснабжения, обеспечивающую тепловой энергией около 40 тыс. домовладений. Каждый блок рассчитан на получение 46 МВт энергии (в электрическом эквиваленте). Поскольку процесс сжигания отходов обеспечивает получение и электрической, и тепловой энергии, достигается высокий уровень энергетической эффективности установки, что способствует значительной экономии ископаемых видов топлива, позволяет экономить ресурсы и сократить выбросы вредных веществ, которые происходят при сжигании обычных видов топлива. В сочетании с современной системой очистки дымовых газов такой подход позволит повысить качество воздуха во всем регионе.

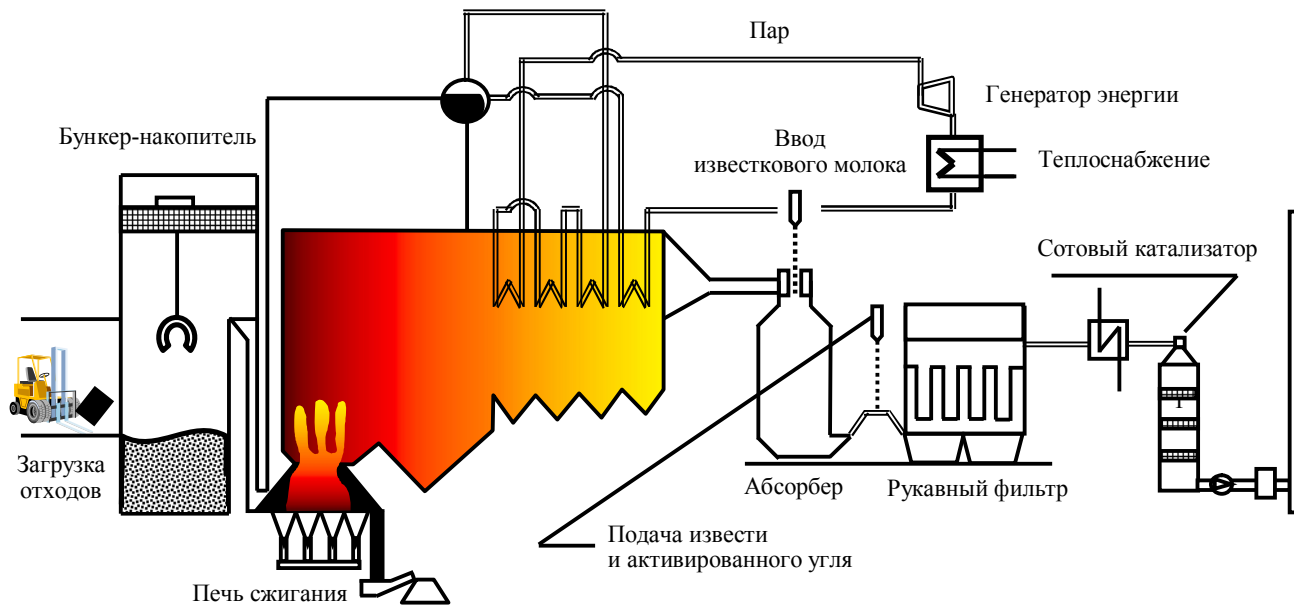


Рис. 1.14. Технологическая схема процесса полного сгорания отходов на предприятии МСЗ-3 в Москве

Чтобы выйти на жесткие нормативные показатели по выбросам (табл. 1.7), на каждом блоке нужно обрабатывать до 120 тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$  отходящих газов. Обработка дымовых газов от печи сжигания отходов производится полусухим каталитическим способом. На этапе полусухой обработки кислотные составляющие (например,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$  и  $\text{HF}$ ), органические загрязняющие вещества (например, диоксины и фураны – PCDD/PCDF), тяжелые металлы и ртуть поглощаются расходными материалами (известковое молоко, активированный уголь, бикарбонат натрия) и летучей золой. Твердые продукты реакции оседают в рукавном фильтре вместе с летучей золой.

На этапе каталитического процесса дымовые газы подогреваются до температуры катализа с помощью газопарового теплообменника. Затем производится прямой впрыск жидкого аммиака, который полностью испаряется в потоке газов, реагируя с окислами азота на катализаторе. Перед выбросом из дымовой трубы на высоте около 90 м проводится анализ дымовых газов постоянно действующей системой полного контроля выбросов CEMS (complete continuous emission monitoring system).

В технологическую схему процесса полусухой очистки дымовых газов входят полусухой абсорбер, рукавный фильтр и система рециркуляции. Кроме того, на будущее предусматривается создание системы для хранения, подготовки и транспортирования извести, активированного угля и бикарбоната натрия.

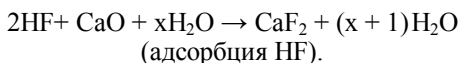
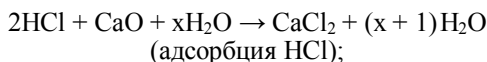
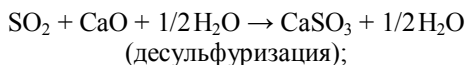
Твердые остатки, образующиеся в процессе сгорания отходов, направляются в два бункера временного хранения. В качестве поглотителей используются известковое молоко, активированный уголь и бикарбонат натрия, которые реагируют с загрязняющими веществами на всем пути прохождения дымовых газов от места сгорания до ниже расположенных рукавных фильтров, где происходит отделение зольной пыли.

Т а б л и ц а 1.7

Характеристики системы газоочистки МСЗ-3

| Загрязняющее вещество | Единицы измерения         | Содержание до реконструкции | Содержание после реконструкции | Требования Директивы 2000/76/ ЕГ |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Пыль                  | $\text{мг}/\text{м}^3$    | 360                         | 7                              | 10                               |
| Общий углерод         | $\text{мг}/\text{м}^3$    | –                           | 10                             | 10                               |
| $\text{HCl}$          | $\text{мг}/\text{м}^3$    | 220                         | 7                              | 10                               |
| $\text{HF}$           | $\text{мг}/\text{м}^3$    | –                           | 0,7                            | 1                                |
| $\text{SO}_2$         | $\text{мг}/\text{м}^3$    | 180                         | 35                             | 50                               |
| $\text{NO}_x$         | $\text{мг}/\text{м}^3$    | 260                         | 100                            | 200                              |
| Hg                    | $\text{мг}/\text{м}^3$    | 0,10                        | 0,035                          | 0,1                              |
| PCDD/PCDF             | $\text{нг TE}/\text{м}^3$ | 0,11                        | 0,07                           | 0,1                              |

Для отделения кислых загрязняющих веществ известковое молоко распыляется в полусухом абсорбере. Водная фракция целиком испаряется в абсорбере, чтобы в дальнейшем полностью исключить появление сточных вод в этом процессе. Часть удаленного остатка рециркулируется и вновь внедряется в поток дымовых газов выше рукавного фильтра для сокращения потребления расходных материалов. Активированный уголь вводится для адсорбции тяжелых металлов в газообразной форме и их соединений, а также газообразных органических составляющих. Основные химические реакции в упрощенной форме можно представить следующим образом:



Смеси сульфита кальция, сульфата кальция, извести, солей от выделенных кислот (например,  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{CaF}_2$  в различных гидратированных формах), а также отделенной летучей золы могут содержать тяжелые металлы, органические загрязняющие вещества и непрореагировавшие остатки адсорбента, которые задерживаются рукавным фильтром.

Бикарбонат натрия вводится в дымовые газы для предотвращения возможных пиковых нагрузок от кислотных загрязнителей.

Дымовые газы выходят из котла и поступают на первую ступень очистки в полусухой абсорбер. Температура газов на выходе поддерживается на постоянном уровне за счет изменения температуры питающей воды на входе в экономайзер. Конструктивно верхняя часть абсорбера представляет собой спиральную камеру. В верхней части реактора создается турбулентная зона, в которой через высокоэффективную систему низкого давления с двойными соплами производится впрыск известкового молока и воды. Дымовые газы проходят через реактор в направлении сверху вниз в едином потоке с выпариваемым известковым молоком. Высота и диаметр реактора рассчитаны таким образом, чтобы за время прохождения дымовых газов впрыснутое известковое молоко полностью выпарилось и загрязняющие вещества были поглощены реагентами.

Тяжелая фракция осевших продуктов реакции удаляется из донной части абсорбера с помощью цепного конвейера. В нижней части дымовые газы разворачиваются и покидают абсорбер вертикально, поступая на рукавный фильтр. Продукты реакции и летучая зола отделяются от дымовых газов на рукавном фильтре, установленном ниже абсорбера. Слой продуктов на фильтрующем материале участвует во «вторичном» этапе извлечения загрязнителей.

Рукавный фильтр состоит из камеры для неочищенного газа, секции очистки газа с перфорированными стенками и фильтрующими мешками, которые подвешены в камере, неочищенного газа и пневматического обору-дования для удаления пыли.

Остатки, задержанные рукавным фильтром (далее – остатки), собираются в буферном баке. Поскольку эти остатки все еще содержат большое количество непрореагировавших реагентов, для повышения буферного эффекта системы и снижения потребления расходных материалов часть их подвергается рециркуляции. В качестве среды для рециркуляции используются очищенные от пыли дымовые газы, отбираемые за рукавным фильтром. Передача остатков из буферного бака в рециркулирующий газ производится с помощью винтового питателя.

Здесь к рециркулирующему потоку добавляется активированный уголь. Рециркулирующий газ подается через канал подачи дымовых газов в рукавный фильтр. В газе содержатся остатки, и активированный уголь вступает в реакцию с загрязняющими веществами на пути в рукавный фильтр. При переполнении буферного бака остатки передаются в систему транспортировки остатков.

При пиковых концентрациях кислотных загрязняющих веществ в дымовые газы дополнительно может вводиться бикарбонат натрия. Взятый из хранилища бикарбонат натрия размалывается и передается пневматическими средствами в канал дымовых газов перед рукавным фильтром.

Для удаления  $\text{NO}_x$  планируется установить систему избирательного каталитического восстановления SCR (Selective catalytic reduction system), принцип работы которой показан на рис. 1.15.

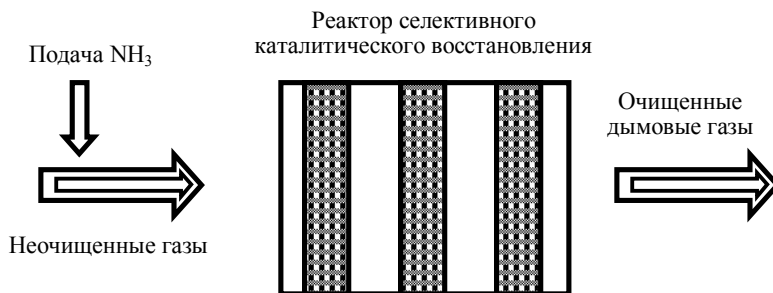
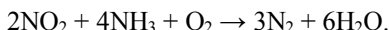
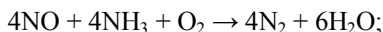
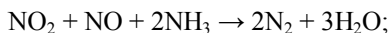


Рис. 1.15. Принципиальная схема работы системы SCR

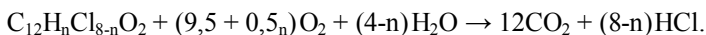
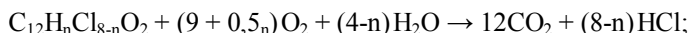
Наиболее важным элементом системы избирательного каталитического восстановления является катализатор, который содержит субстрат  $\text{TiO}_2$  в виде анатазы и переходные металлы (V, W и Mo) в качестве активных центров. Дымовые газы смешиваются с восстанавливающим агентом и про-

ходят через катализатор, где оксиды азота преобразуются в элементарный азот и воду в парообразном состоянии в соответствии со следующими химическими реакциями:



Благодаря высокой эффективности полусухого абсорбера удается избежать образования составляющих сульфата аммония, что дает возможность использовать низкотемпературную систему SCR.

Следы органических загрязнителей удаляются путем каталитического окисления. За счет использования катализатора необходимую для прохождения реакции температуру можно понизить до 150–350°C. Катализатор SCR для удаления NO<sub>x</sub> был модифицирован таким образом, чтобы повысить эффективность удаления диоксинов/фуранов при одновременном сохранении эффективности удаления NO<sub>x</sub> на постоянном уровне. Ниже приводятся примеры реакций восстановления диоксинов и фуранов:



Система SCR, установленная на московском предприятии МСЗ-3, относится к низкотемпературным системам очистки газов. После прохождения через рукавный фильтр дымовые газы подогреваются газопаровым теплообменником до рабочей температуры катализатора (180°C). Жидкий аммиак из хранилища поступает в дозатор, откуда впрыскивается непосредственно в горизонтальный канал дымовых газов за реактором SCR. Система статического смешивания обеспечивает получение однородной смеси аммиака и дымовых газов перед их входом в реактор. Дымовые газы из горизонтального канала направляются в вертикальный канал и проходят через катализатор в направлении сверху вниз. Избирательное каталитическое восстановление NO<sub>x</sub> происходит на сотовом катализаторе. Планируется установить два слоя катализатора. Один запасной слой предназначен для дальнейшего увеличения производительности установки (в случае необходимости).

Система очистки дымовых газов реконструируемого МСЗ-3 отвечает последним технологическим требованиям, соответствует высоким стандартам в области снижения уровня загрязнения окружающей среды (табл. 1.7), имеет хорошие показатели по истреблению энергии и расходующих материалов, низкий уровень образующихся остатков, отличается своевременным оперативным контролем.

На мусоросжигательном заводе МСЗ-3 установлена низкотемпературная система SCR для денитрификации дымовых газов. Чтобы достичь расчетной рабочей температуры 180°C, дымовые газы необходимо будет слегка подогреть. За исключением этого, потребление энергии системой будет невысоким.

Водный аммиак впрыскивается непосредственно в канал дымовых газов в распыленном виде и в течение короткого времени полностью испаряется.

До сих пор специалисты спорят о том, какой из двух типов систем для очистки дымовых газов от окислов азота следует отдавать предпочтение: системе избирательного каталитического восстановления (SCR) или избирательного некаталитического восстановления (SNCR). Системы SCR имеют явные преимущества:

- возможность достижения эффективности восстановления более 90%;
- упрощенная эксплуатация;
- отсутствие влияния поглощенного аммиака на качество твердых остатков и, следовательно, более широкие возможности их утилизации;
- сохранение эффективности при работе с неполной нагрузкой;
- очень незначительная утечка аммиака.

Однако следует отметить, что стоимость систем SCR все еще выше, чем SNCR, хотя ситуация резко меняется в последние десятилетия из-за снижения стоимости SCR (в 1985 г. стоимость сжигания составляла 20, а в 2005 г. – 10–15 евро на тонну).

Благодаря использованию на МСЗ-3 перспективной технологии сжигания отходов в сочетании с обширной системой очистки дымовых газов для осаждения загрязняющих веществ, которые нельзя уничтожить даже при очень высоких температурах, количество выбросов будет значительно сокращено и таким образом воздух в Москве станет чище. Установка для очистки дымовых газов экономична и высоко эффективна, и содержание вредных веществ в обработанных ею выбросах будет гораздо ниже предельно допустимых Европейской директивой 2000/76/EG значений.

После ввода установки для очистки дымовых газов фирма AVN продолжит ее эксплуатацию до 2019 г., а затем передаст городу.

В последние годы все больший интерес вызывает метод термообезвреживания отходов во вращающихся печах [6, 38, 42, 50, 61].

При сжигании отходов во вращающихся печах, отличающихся механической надежностью, создаются хорошие условия теплопередачи от раскаленных газов к обрабатываемому материалу. Перемешивание материала и удаление золы осуществляется за счет вращения и наклона печи. Использование движущегося слоя в процессе взаимодействия системы «газ – движущееся вещество» уменьшает возможность образования застойных зон, а движение частиц создает условия для взаимодействия газа с большей поверхностью твердой фазы, чем при неподвижном слое. Во вращающихся печах возможно совместное обезвреживание жидких, пастообразных и твердых отходов. Применение во вращающейся печи ме-

тогда сжигания во встречных потоках (противоточное движение в печи сжигаемых отходов и дымовых газов) обеспечивает надежное воспламенение высоковлажных отходов за счет их предварительной подсушки отходящими из зоны горения высокотемпературными дымовыми газами, а также хорошее озоление отходов. Возможность регулирования времени пребывания отходов в барабане печи позволяет обеспечивать их полное озоление, но так как отходящие дымовые газы содержат продукты неполного сгорания, печи оснащают дожигателями различного типа.

Факторами, определяющими эффективность обезвреживания, являются температура процесса и соотношение компонентов горения. Температура процесса обезвреживания зависит от состава отходов и составляет 850–1300°C. При рабочих температурах 850–900°C подавляющее большинство органических соединений (спирты, кислоты, альдегиды, кетоны) становятся термически нестойкими. Однако для термического обезвреживания отходов, содержащих циклические, хлорорганические соединения, полимеры, требуется температура 1000–1300°C, которая создается в дожигателе дымовых газов. Полнота окисления органических веществ зависит от коэффициента расхода воздуха, который для вращающихся печей равен 1,5–2,0. Возможность образования диоксинов и фуранов при термическом обезвреживании отходов с низким содержанием хлора (менее 1%) практически исключена вследствие того, что температура процесса выше 1000°C, время пребывания дымовых газов в зоне горения не менее 2 с и избыток кислорода составляет 3%.

Вращающиеся печи, разработанные НПО «Техэнергохимпром» (г. Бердск Новосибирской области), длиной 12 м и диаметром 1,6 м эксплуатируются на Казанском ПО «Тасма»; длиной 18 м и диаметром 2,2 м – на ПО «Краситель» в г. Рубежное и Кемеровском ПО «Карболит».

Иллюстрацией практического воплощения комплексного подхода к переработке и обезвреживанию отходов и бытового мусора является попытка создания в Новосибирской области и Сибири в целом сети небольших комплексных мусороперерабатывающих заводов, первый из которых спроектирован и должен строиться в г. Бердске. Совместными усилиями ряда институтов и организаций Новосибирской области (это прежде всего НПО «Техэнергохимпром», НГПИИ «ВНИПИ Энерготехнологии», Институт теплофизики СО РАН) разработан многофункциональный завод, перерабатывающий и обезвреживающий промышленный и бытовой мусор города (городского района) с населением 100 тыс. чел. Производительность завода по мусору – 40 тыс. т/год, в том числе 30 тыс. т/год бытовых и 10 тыс. т/год промышленных отходов. Основная идея проекта заключается в том, что мусор рассматривается не только как источник химического загрязнения, но и как источник возобновляемого топлива и сырьевых ресурсов. Например, калорийность городского мусора составляет сегодня не менее одной трети калорийности угля. Блок-схема завода представлена на рис. 1.16.

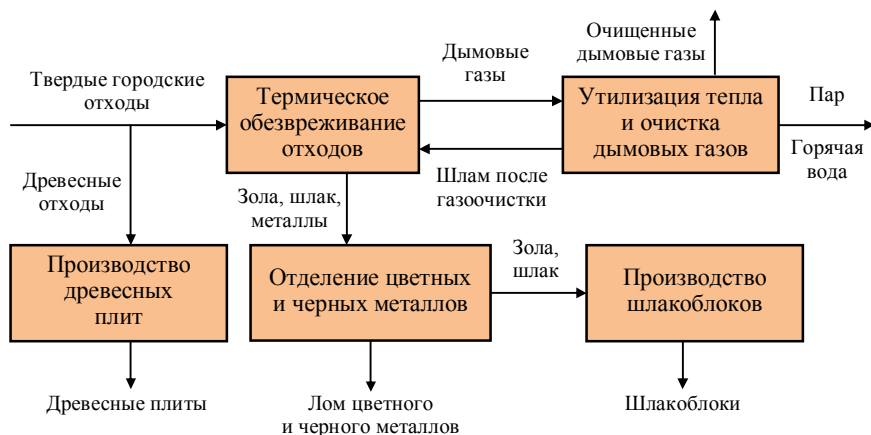


Рис. 1.16. Блок-схема мусороперерабатывающего завода (г. Бердск)

Экологическое назначение завода выражается в уменьшении вредного воздействия на окружающую среду твердых бытовых и промышленных отходов, образующихся в г. Бердске. Это достигается за счет резкого сокращения вывоза отходов на городскую свалку и их термообезвреживания, а также применения малоотходной системы очистки дымовых газов. При этом уменьшается выброс вредных веществ в атмосферу и водную среду, сохраняются земельные ресурсы города. Энергетическое назначение завода – выработка тепла для собственных нужд и сторонних потребителей за счет утилизации тепла дымовых газов. Ресурсное – извлечение из городского мусора ряда компонентов и использование их в качестве готовой продукции и полуфабрикатов.

На опытном мусороперерабатывающем заводе подлежат переработке все виды ТБО, удаляемые спецавтохозяйством города:

- отходы, образующиеся в жилых и общественных зданиях;
- отходы от устройства местного отопления;
- смет, опавшие листья;
- отходы от санитарной обрезки деревьев и кустарников.

Термообезвреживанию на заводе подвергаются все виды промышленных нетоксичных и токсичных отходов всех классов опасности, за исключением радиоактивных отходов и отходов, содержащих ртуть, свинец, мышьяк и селен.

На заводе предусмотрена:

- переработка собственных отходов – золошлаковой смеси и шлама (кека) системы очистки дымовых газов – в строительные шлакоблоки;
- переработка промышленных древесных отходов в плиточные материалы;

- извлечение из отходов и золошлаковой смеси лома черных и цветных металлов.

Для утилизации тепла на заводе применена система, позволяющая использовать наряду с высокопотенциальным теплом дымовых газов и низкотемпературное тепло, выделяющееся при конденсации влаги, содержащейся в дымовых газах, и снимаемое системой обратного водоснабжения при охлаждении газоочистного оборудования.

Отходы сжигаются в специальной вращающейся печи барабанного типа, что позволяет полностью механизировать и автоматизировать все технологические операции. Дожигание дымовых газов осуществляется в вихревом дожигателе с образованием продуктов полного окисления. Специальная система мокрой очистки дает возможность эффективно очищать дымовые газы от пыли и кислых компонентов. В составе завода предусмотрена установка теплоутилизационного оборудования (котел-утилизатор и абсорбционный тепловой насос), что позволяет обеспечить собственные потребности завода в тепле и выдавать тепло сторонним потребителям.

Производственные процессы на заводе замкнутые, т. е. образующиеся жидкие и твердые отходы либо используются при производстве строительных материалов (шлакоблоков), либо направляются в барабан печи на термообезвреживание.

Технологическая схема термического обезвреживания отходов показана на рис. 1.17. Тепловой баланс завода изображен на рис. 1.18. Компоновка мусоросжигательного цеха представлена на рис. 1.19.

Для обеспечения непрерывной работы мусоросжигательного завода предусмотрены две технологические линии обезвреживания отходов: рабочая и резервная. Каждая из них включает противоточную барабанную вращающуюся печь, оснащенную гидравлическим питателем и шлаковыгрузателем, вихревой дожигатель дымовых газов, котел-утилизатор, систему очистки дымовых газов, тепловой насос, тягодутьевое и другое вспомогательное оборудование. Общим оборудованием для двух технологических линий являются приемные устройства для твердых и жидких отходов и дымовая труба.

Твердые бытовые и промышленные отходы загружаются в приемный бункер без сортировки из спецмашин, и грузового транспорта общего назначения. Отходы древесины принимаются для переработки либо в общем потоке, либо отдельно. Крупногабаритные металлические включения выделяются из отходов на стадии приема, а мелочь – из золы после охлаждения и дробления. Жидкие горючие и негорючие (обводненные) отходы принимают в отдельные емкости.

Твердые отходы из приемного бункера грузоподъемным механизмом загружаются в бункер 1, откуда гидравлическим питателем подаются на сжигание в противоточную вращающуюся печь 2. За счет вращения и наклона барабана отходы непрерывно перемешиваются и перемещаются в направлении от приемной к разгрузочной камере. При этом осуществляется подсушка, воспламенение, горение отходов и дожигание золы.

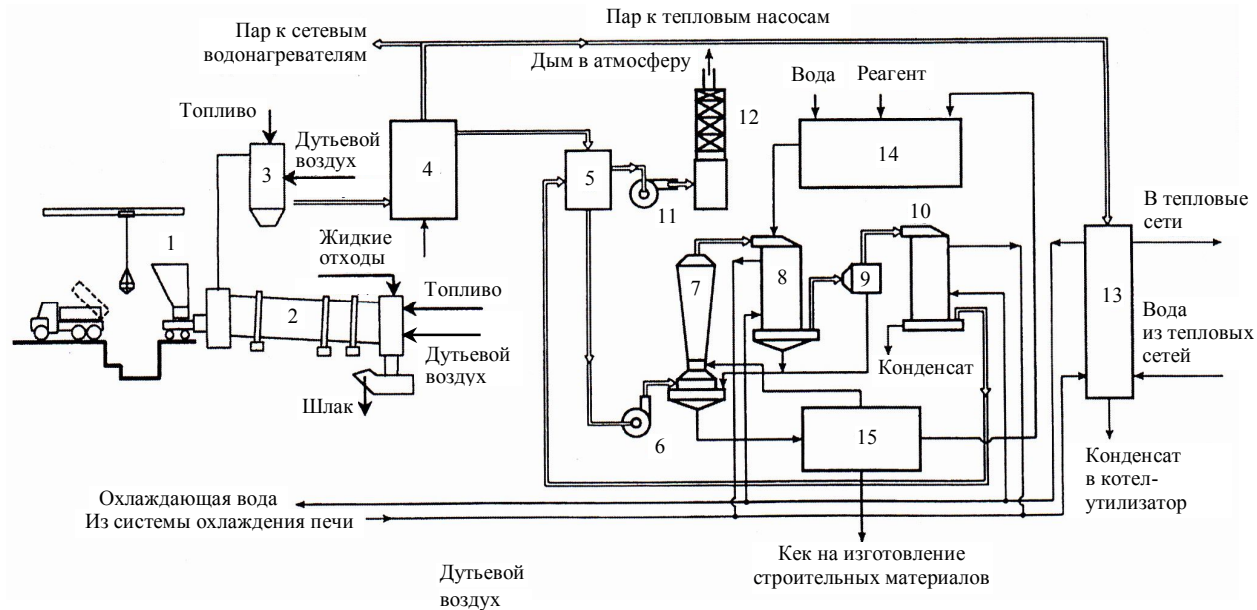
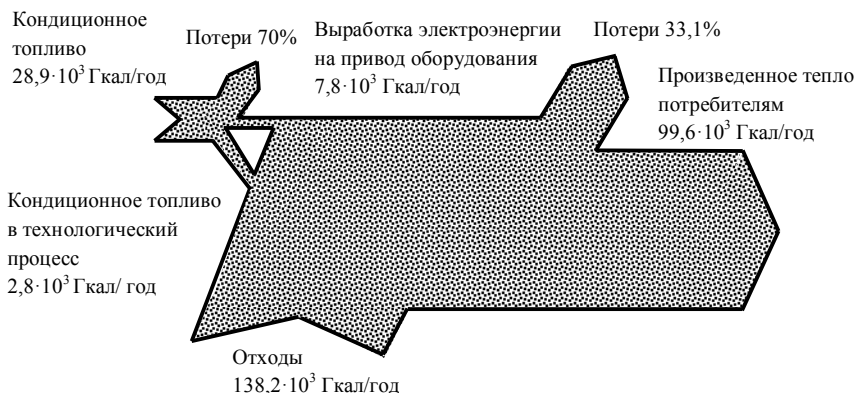


Рис. 1.17. Технологическая схема термообезвреживания отходов:

1 – устройство загрузочное; 2 – печь вращающаяся; 3 – дожигатель вихревой; 4 – котел-утилизатор; 5 – газонагреватель; 6 – дымосос; 7 – струйно-пенный аппарат; 8 – абсорбер-конденсатор; 9 – туманоуловитель; 10 – конденсатор; 11 – вентилятор; 12 – труба; 13 – тепловой насос; 14 – узел приготовления орошающих растворов; 15 – узел очистки отработанных растворов.



Коэффициент использования тепла  
кондиционного топлива

$$K = \frac{Q_{\text{произв.}}}{Q_{\text{потребл.}}} = \frac{99,6 \cdot 10^3}{28,9 \cdot 10^3} = 3,44.$$

Рис. 1.18. Тепловой баланс завода

Жидкие горючие отходы из приемной емкости насосом подаются на сжигание в дожигатель или разгрузочную камеру печи. Жидкие негорючие отходы после усреднения направляются в распыленном виде на золу, удаляемую из барабана печи в шлаковывгрузатель. Распиливание жидкого топлива и жидких отходов осуществляется сжатым воздухом.

Дымовые газы из барабана печи направляются в вихревой дожигатель 3, где в условиях закрученного потока осуществляются интенсивное перемешивание продуктов неполного горения с кислородом воздуха и их доокисление. Конструкция дожигателя позволяет нейтрализовать кислые компоненты дымовых газов путем введения в распыленном состоянии щелочных добавок (NaOH, CaCO<sub>3</sub> и др.). Температура отходящих из барабана печи газов равна 900–1000°C, а из дожигателя – 1100–1300°C в зависимости от состава отходов. Более высокий температурный уровень поддерживается при сжигании хлорорганических отходов, чтобы минимизировать содержание высокотоксичных диоксинов в уходящих дымовых газах.

Розжиг и поддержание заданного температурного режима в барабанной печи и вихревом дожигателе осуществляются за счет сжигания природного газа или жидкого топлива. Суммарная производительность горелок по природному газу составляет 600 м<sup>3</sup>/ч, по жидкому топливу – 485 кг/ч.

#### Основные технико-экономические характеристики завода

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Годовое количество перерабатываемых отходов, тыс. т ..... | 40 |
| В том числе:                                              |    |
| бытовых.....                                              | 30 |
| промышленных.....                                         | 10 |

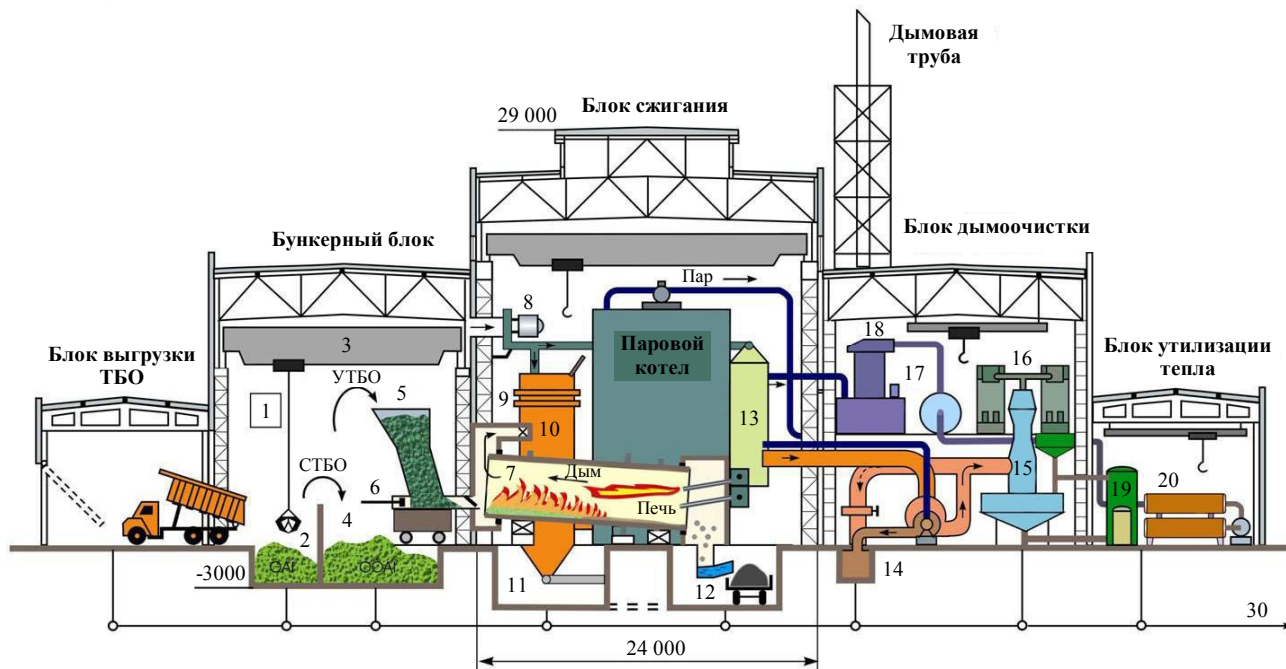


Рис. 1.19. Конструктивная схема технологической линии мусоросжигательного цеха:

1 – окно оператора бункерного блока; 2 – приемный бункер «свежих» ТБО (СТБО); 3 – загрузочный кран; 4 – бункер «усредненных» ТБО (УТБО); 5 – загрузочная воронка для ТБО; 6 – толкатель системы загрузки ТБО в печь; 7 – вращающаяся барабанная печь; 8 – дутьевой вентилятор системы сжигания; 9 – первичный дымоход из печи; 10 – дожигатель; 11 – приямок золосборника; 12 – приямок шлаковыгрузателя; 13 – газонагреватель; 14 – выходной дымоход; 15 – струйно-пенный аппарат-золоуловитель; 16 – щелочной абсорбер-промыватель; 17 – туманоуловитель; 18 – конденсатор; 19 – аппараты водоподготовки; 20 – тепловые насосы и бойлеры теплового узла.

|                                                                             |       |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------|
| Годовой выпуск продукции:                                                   |       |
| тепло, тыс. Гкал.....                                                       | 100   |
| шлакоблоки, тыс. шт.....                                                    | 500   |
| древесные плиты, тыс. м <sup>2</sup> .....                                  | 100   |
| лом цветных и черных металлов, т .....                                      | 1 200 |
| Годовой доход, млн долл. США .....                                          | 4,2   |
| В том числе:                                                                |       |
| от реализации тепла.....                                                    | 2,1   |
| оплаты услуг по переработке твердых бытовых<br>и промышленных отходов ..... | 1,1   |
| реализации строительных материалов, лома цветных<br>и черных металлов.....  | 1,0   |
| Стоимость завода, млн долл. США.....                                        | 13,0  |
| Стоимость первой очереди .....                                              | 7,0   |
| Годовые текущие затраты завода, млн долл. США .....                         | 2,0   |
| Плановый срок, лет:                                                         |       |
| окупаемости с момента запуска .....                                         | 6,0   |
| строительства и запуска завода .....                                        | 3     |
| рекультивации городской свалки .....                                        | 5–7   |
| Обособленность персонала, чел .....                                         | 130   |
| Площадь, занимаемая заводом, га .....                                       | 2,1   |

Следует также отметить:

1. После запуска второй линии завод в г. Бердске может реально приступить к переработке мусора, накопленного на городской свалке (площадь свалки 30 га). Тем самым может начаться рекультивация и возврат земель городской свалки в полезный хозяйственный цикл.

2. Сегодняшние тенденции характеризуются тем, что МСЗ строят не как отдельные объекты, а встраивают их в действующие структуры существующих котельных и ТЭС. Это позволяет экономить на коммуникациях и инфраструктуре. Экономический эффект таких МСЗ существенно выше и позволяет выйти на срок окупаемости капиталовложений 3–4 года. Такая структура получила название КРТЭС – комплексная районная тепловая электростанция [27, 53].

## 2. МЕДИЦИНСКИЕ ОТХОДЫ

Одной из серьезнейших городских проблем является обезвреживание (уничтожение) медицинских отходов [2, 7, 40]. В соответствии с Европейским каталогом отходов, утвержденным 20 декабря 1993 г. решением Европейского Совета (№ 94/3 ЕС), классу 18.00 соответствуют отходы здравоохранения и ветеринарной сферы обслуживания и исследований, а классу 07.05 – отходы производства, расфасовки, сбыта и применения фармацевтической продукции (лекарственные препараты просроченные и бракованные).

В России разработан и используется СанПиН 2.17.728-99 «Правила сбора, хранения и удаления отходов лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ)». В настоящее время часто применяется термин медицинские отходы. Сюда включаются как отходы ЛПУ (больничные отходы), так и токсичные отходы производства, расфасовки и сбыта фармацевтической продукции.

Отходы ЛПУ по инфекционной опасности согласно упомянутому СанПиНу подразделяются на классы А, Б, В, Г. Класс Д включает радиоактивные отходы.

Отходы фармацевтической продукции (вне пределов ЛПУ) по химической токсичности, в соответствии с Классификатором промышленных отходов, подразделяются на пять классов. Степень токсичности каждого типа отходов определяется по разработанным критериям.

Что представляют собой медицинские отходы?

Это огромное количество разнообразных веществ и предметов: системы переливания крови, остатки пищи, бинты, шприцы с иглами, капельницы, лекарства с просроченным сроком хранения, резиновые шланги и перчатки, картон, газеты, журналы, писчая и туалетная бумага, тубы от лосьонов и паст, медицинские тампоны, изношенные халаты, фартуки, чепчики и др. Все это составляет так называемую пирамиду мусора.

Калорийность отходов такой пирамиды – около 1000 ккал/кг при влажности до 30%. При такой влажности и калорийности также возможно автономное горение. В большинстве случаев эти отходы бывают инфицированными, и единственным экономически выгодным способом их уничтожения является высокотемпературное сжигание.

Именно такой способ уничтожения опасных медицинских отходов рекомендуют Всемирная организация здравоохранения и российские санитарные правила.

Химическая обработка также дает неплохие результаты, однако при этом возникает проблема утилизации новых химических продуктов. Сегодня практически везде инфицированные медицинские отходы перед отправкой на свалку или МСЗ замачивают в дезинфекционном растворе. Но это не решает проблему, так как патогенная флора уже привыкла к фурацилину и хлорамину и выживает при температуре до 500°C, а микроб ботулизма выдерживает нагрев до 600°C. В связи с этим инфицированные отходы необходимо сжигать при очень высоких температурах, а не плавить в шлаковых расплавах, как это делается на современных МСЗ.

Сегодня наиболее перспективным направлением при обеззараживании медицинских отходов является использование низкотемпературных плазменных установок [40].

Применение плазменных устройств позволяет расширить возможности чисто термической технологии: во-первых, можно уменьшить количество отходящих дымовых газов; во-вторых, наряду со сжиганием или газификацией отходов на одной установке можно плавить коксозольный остаток, дожигая полностью углерод и остекловывая неорганическую часть отходов.

Ниже представлены результаты работы плазмотермической установки для переработки медицинских отходов, в которой происходит полное сжигание отходов с одновременным плавлением их неорганической части.

Установки в настоящее время находятся в стадии опытной эксплуатации в г. Инчхоне, Республика Корея.

Медицинские отходы по морфологическому и химическому составу близки к бытовым отходам. Они отличаются меньшей влажностью и более высокой калорийностью из-за наличия большого количества пластика, бумаги и текстиля. Выделение их в отдельный класс связано с тем, что, во-первых, они поступают на переработку в упакованном виде, а во-вторых, и это главное, с их инфицированностью. Этим обусловлены особые требования, предъявляемые к ним при транспортировке, хранении и переработке.

Преимуществом применения плазмотермического способа переработки медицинских отходов, на наш взгляд, является достаточно простое решение задачи переработки их металлической составляющей. Она имеет сложный и неконтролируемый состав и ее получение в виде расплава металла нецелесообразно из-за трудности последующего использования. Поэтому наряду с коксовым остатком может производиться полное окисление и металлической составляющей отходов с переводом ее в шлак. Это упрощает конструкцию печи, так как не требует создания системы вывода расплавленного металла. Плазмотермическая установка для переработки медицинских отходов приведена на рис. 2.1.

Основное устройство установки – плазмотермическая печь [43]. Для уменьшения материалоемкости и габаритов она выполнена в едином корпусе и включает узлы подачи отходов и воздуха, камеру газификации, дожигатель и плавильную камеру с плазмотроном, оснащенную леткой, через которую удаляется расплавленный шлак (рис. 2.1).

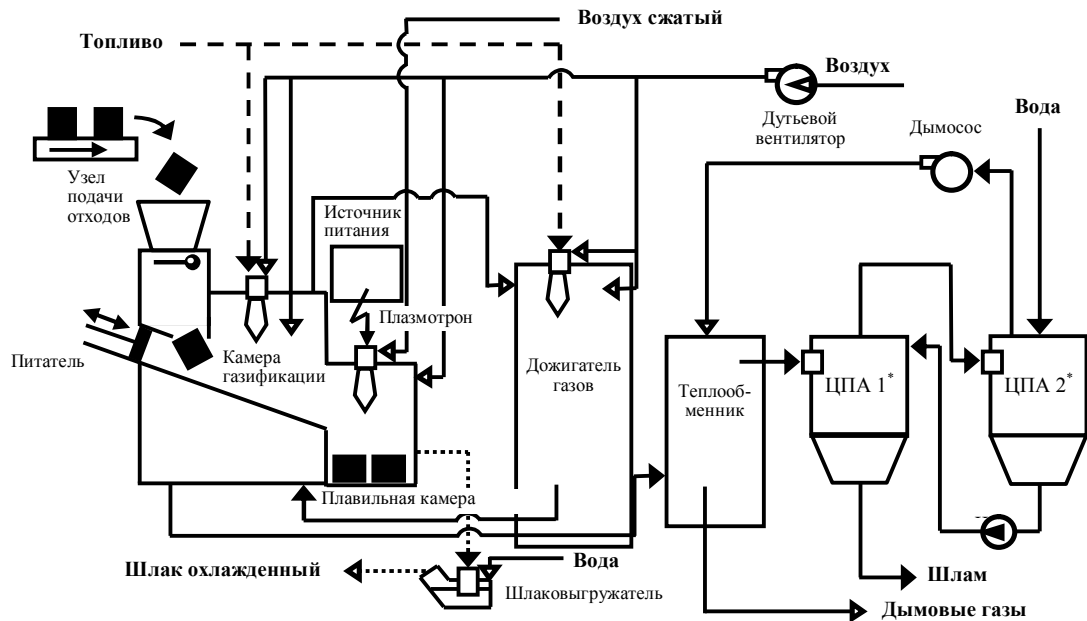


Рис. 2.1. Плазмотермическая установка для переработки медицинских отходов:

\* ЦПА 1, ЦПА 2 – аппараты очистки и охлаждения дымовых газов.

Техническая характеристика установки по переработке медицинских отходов:

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| Производительность по отходам, кг/ч                                  | 250       |
| Установленная мощность плазмотрона, кВт                              | 150       |
| Расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$ :                              |           |
| дутьевого                                                            | 2400      |
| сжатого                                                              | 100       |
| Объемный расход дымовых газов, $\text{м}^3/\text{ч}$                 | 2900      |
| Температура газов, $^{\circ}\text{C}$ :                              |           |
| в камере плавления                                                   | 1350–1500 |
| в камере газификации                                                 | 1050–1300 |
| после дожигателя                                                     | 1000–1100 |
| Удельные затраты электроэнергии, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ | 0,6–0,7   |
| Площадь, занимаемая установкой, $\text{м}^2$                         | 100       |

Отходы вместе с упаковкой поступают в бункер загрузочного устройства печи и по вертикальной шахте подаются в камеру газификации питателем переталкивающего типа с гидроприводом. Возвратно-поступательные движения толкателя обеспечивают перемещение отходов по наклонному поду камеры газификации и выгрузку коксозольного остатка в камеру плавления. По мере повышения температуры идет разложение и частичное окисление органической массы с образованием твердого остатка и газообразных продуктов. Твердый остаток – это смесь неорганических соединений, металлов и коксового остатка. Газообразная фаза представляет собой сложную смесь, состоящую из сажи, окиси и двуокиси углерода, водорода, паров воды, азота, метана и других более сложных органических продуктов. Сажа в газовой фазе образуется за счет разложения метана и других органических веществ. Кроме воздуха, подаваемого через сопла, в зону газификации поступают газообразные продукты из плавильной камеры. Подача воздуха через четыре сопла в движущийся слой отходов обеспечивает продувку и газификацию отходов.

Получаемые коксовые и зольные остатки продвигаются в расположенную ниже плавильную камеру с образованием естественного откоса, на поверхности которого они непрерывно сгорают и плавятся под воздействием воздушной плазмы, генерируемой плазмотроном, и горячих газов, отходящих из плавильной камеры. Расплав из плавильной камеры стекает в заполненную водой ванну шлаковывгрузателя, охлаждается, гранулируется и выгружается с помощью гидравлического толкателя. Охлаждение расплава осуществляется в основном за счет испарения воды. Водяные пары, образующиеся при охлаждении шлака, выводятся из шлаковывгрузателя и смешиваются с дымовыми газами, отводимыми из печи.

Газы из плавильной камеры поступают в камеру газификации и вместе с образующимися там газами направляются в вихревой дожигатель, где завершается процесс окисления продуктов неполного сгорания. Дожига-

тель представляет собой цилиндрическую камеру с пережимом, имеющую тангенциальные каналы для ввода дымовых газов и воздуха. После дожигателя дымовые газы проходят по каналу, расположенному под подом камеры газификации, направляются в межтрубное пространство теплообменника и далее поступают в охладитель (на схеме не показан), где охлаждаются в результате разбавления их холодным воздухом до 700°C.

После охладителя газы последовательно проходят две стадии мокрой очистки и охлаждения в циклонно-пенных аппаратах (ЦПА 1 и ЦПА 2). Газы в аппарат вводятся тангенциально, что приводит к образованию активного газожидкостного слоя, обеспечивающего их интенсивное охлаждение, обеспыливание и нейтрализацию. Охлаждение газов в ЦПА 1 до температуры ~100°C осуществляется в основном за счет испарения воды. Влажные дымовые газы поступают в ЦПА 2, где происходят охлаждение газов до 35–60°C и конденсация паров воды. Конденсат и орошающая жидкость собираются в нижней части аппарата и сливаются в промежуточную емкость, откуда насосом подаются в аппараты ЦПА 1 и ЦПА 2. Для охлаждения жидкости в системе циркуляции аппарата ЦПА 2 предусмотрен теплообменник. Добавка в циркуляционную жидкость раствора щелочи (соды или других реагентов в химически эквивалентных количествах) обеспечивает связывание оксидов серы, хлористого водорода и других кислых компонентов. Из ЦПА 1 в канализацию сливается шлам, содержащий раствор солей ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), а также твердые частицы нерастворимых и труднорастворимых компонентов ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , сажи и др.). Двухстадийная очистка отходящих газов позволяет обеспечить в них допустимый уровень содержания экологически нормируемых компонентов при обезвреживании отходов с большим содержанием галогенов и серы. С целью исключения конденсации водяных паров в газоходах и дымовой трубе газы с температурой 35–60°C после очистки направляются в теплообменник, где подогреваются до 150–200°C и затем сбрасываются в атмосферу. Транспортировка дымовых газов по газовому тракту осуществляется с помощью дымососа, установленного между аппаратом ЦПА 2 и теплообменником. При этом в плавильной камере печи обеспечивается разрежение 30–70 Па.

Используемый в установке плазмотрон (рис. 2.2) имеет две вихревые камеры –  $G_1$  и  $G_2$ . Рабочий газ – воздух. Вверху по потоку воздуха расположен трубчатый медный электрод – анод 1, т. е. полярность подключения к источнику питания обратная. Выходное медное сопло 2 является катодом при работе плазмотрона в струйном режиме или служит стабилизирующим соплом при работе плазмотрона на подовый электрод 3 в режиме с выносной дугой.

Мощность плазмотрона может изменяться от 80 до 150 кВт. Вначале плазмотрон работает в струйном режиме, затем, после расплавления шлака, в основном режиме – с выносной дугой. Ресурс работы плазмотрона в этом случае определяется сроком службы медного трубчатого анода.

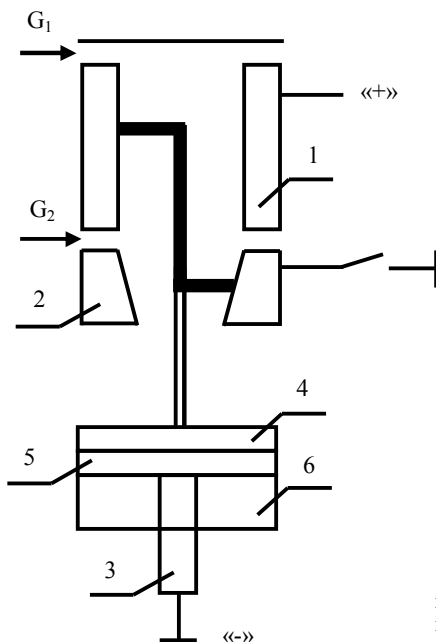


Рис. 2.2. Система подключения плазматрона:

1 – анод; 2 – катод-сопло; 3 – подовый электрод; 4 – слой шлака; 5 – слой металла; 6 – футеровка пода.

Уровень эрозии анода находится в пределах  $(5-9) \times 10^{-11}$  кг/Кл, срок службы 1000 ч, расход воздуха в каждой вихревой камере  $10-15 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Параметры плазматрона в струйном режиме: сила тока дуги  $I = 290-330 \text{ А}$ , напряжение  $U = 380-420 \text{ В}$ ; в режиме с выносной дугой:  $I = 250-300 \text{ А}$ ,  $U = 350-450 \text{ В}$ .

Кроме описанной выше установки в Западной Европе для этих целей используют установки следующих фирм: AVG (Германия), «Техникал» (Италия), «Joseph Egli» (Швейцария), «Noval» (Швейцария – Лихтенштейн), «Берлин Консалт» (Германия). Установка последней фирмы используется в г. Люберцы Московской области и на заводе «Эколог».

### 3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОТХОДЫ

Термический метод широко используется сегодня для обезвреживания промышленных отходов, содержащих органические включения: жидких, пастообразных, твердых и газообразных. Это нефтепродукты и нефтешламы, растворители, отходы лакокрасочных материалов, пестициды и др. Перечень промышленных отходов и их состав по различным отраслям представлен в [5].

В России разработано достаточно много технологий и конструкций для обезвреживания отходов промышленных предприятий. Долгие годы в этой области работают НПО «Техэнергохимпром» (г. Москва, г. Бердск), ООО «Огневые технологии» (г. Бердск), МЭИ (г. Москва).

На рис. 3.1–3.12, представлены разработанные этими организациями конструкции агрегатов для термического обезвреживания отходов, получивших наибольшее распространение на промышленных предприятиях. Размеры на эскизах аппаратов приведены для справки. Изготавливались и закупались в промышленности аппараты больших и меньших размеров, разной производительности от (50 до 6000 кг/ч) по отходам различного агрегатного состояния. Построение технологической схемы для обезвреживания промышленных отходов аналогично схемам по утилизации ТБО. Коренным отличием является обязательное отделение подготовки отходов перед сжиганием, включающее насосы, мельницы, дозаторы, смесители, дробилки, дезинтеграторы и другое оборудование.

Ввиду большого разнообразия состава и свойств промышленных отходов разработан ряд технологических схем и огнетехнического оборудования, обеспечивающий высокие санитарно-гигиенические и экономические показатели процесса обезвреживания [4, 9, 22, 61].

В зависимости от агрегатного состояния и свойств отходов для огневого обезвреживания применяются шахтные, камерные, барабанные вращающиеся и циклонные печи, печи с псевдоожиженным слоем и др.

Наиболее совершенными из них для сжигания жидких отходов являются циклонные печи (рис. 3.1, 3.5). Их преимущества обусловлены главным образом аэродинамическими особенностями (вихревой структурой газового потока), обеспечивающими высокую интенсивность и устойчивость процесса сжигания с малыми тепловыми потерями и минимальными выбросами воздуха. Это позволяет создавать малогабаритные устройства, работающие с высокими удельными нагрузками, в десятки раз превышающими

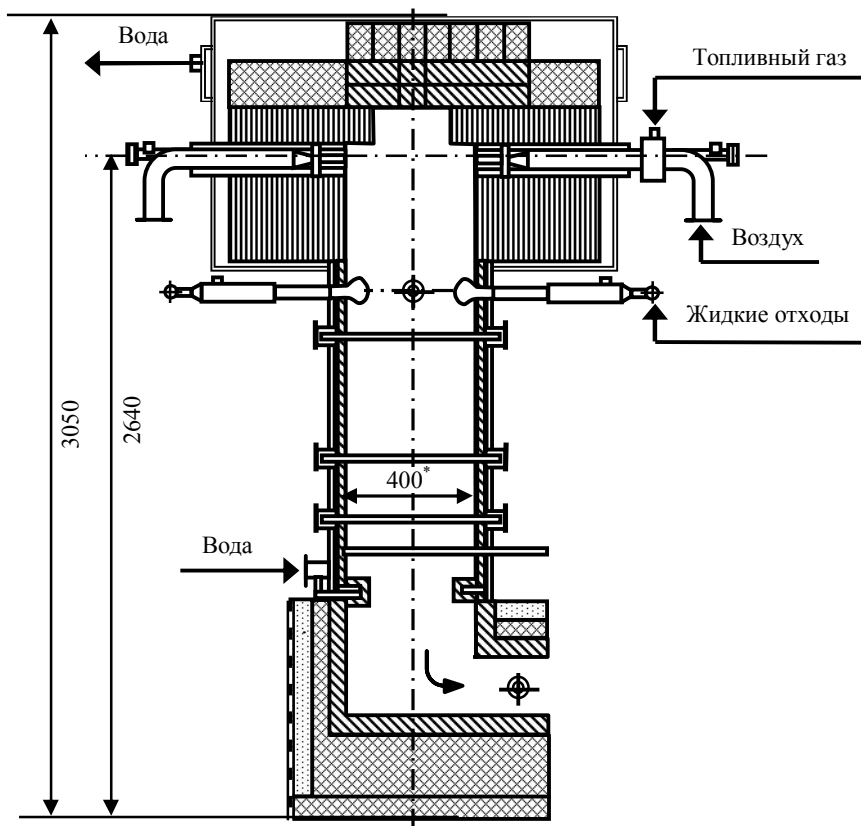


Рис. 3.1. Циклонный реактор для огневого обезвреживания жидких отходов

\* Здесь и далее (раздел 3) все размеры на эскизах даны в миллиметрах.

нагрузки камерных, шахтных и барабанных печей. Циклонные печи широко применяются для обезвреживания сточных вод, загрязненных органическими и минеральными компонентами. Подача воздуха и топлива осуществляется тангенциально газомазутными горелками предварительного смешения, расположенными на боковой поверхности камеры сгорания. Распыливание сточных вод производится центробежными механическими форсунками, установленными радиально ниже зоны горения топлива. При сжигании тяжелого топлива (мазута), а также при распыливании вязких отходов наблюдаются заброс несгоревших частиц на стенки камеры сгорания и образование коксовых отложений, что приводит к нарушению процесса. Подача суспензий центробежными форсунками практически невозможна вследствие их забивания.

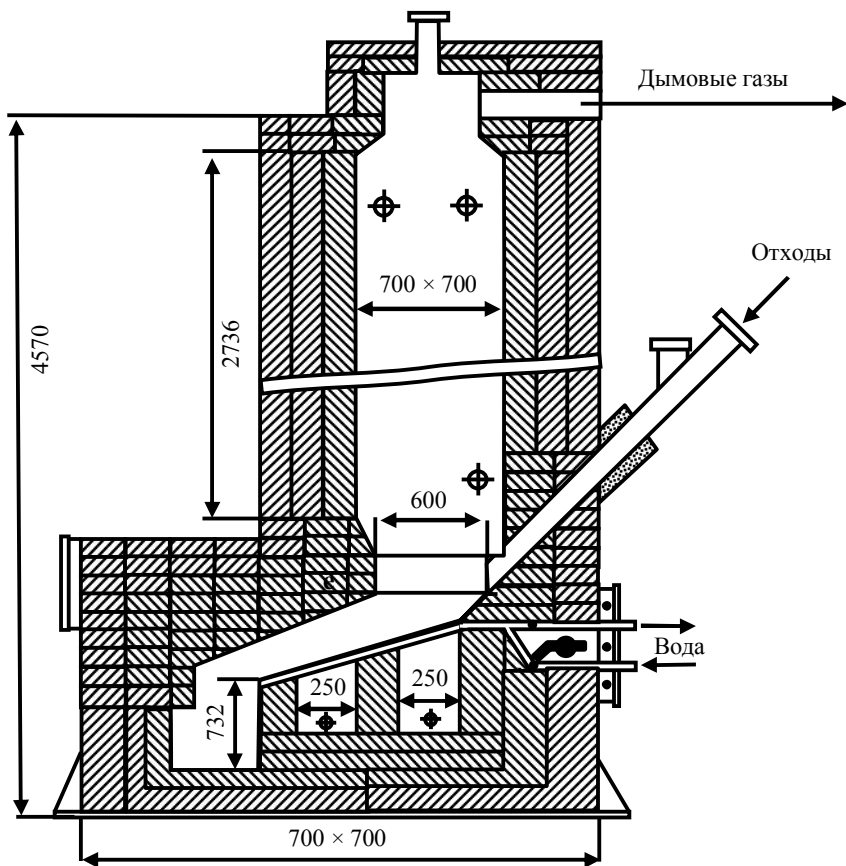


Рис. 3.2. Реактор вращающегося кипящего слоя для огневого обезвреживания твердых кусковых органических отходов

Для распыления жидкостей с большой вязкостью (до  $0,72 \times 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ) и суспензий с максимальным размером частиц до 300 мкм применены пневматические (паровые) форсунки и разработаны новые способы ввода отходов в камеру сгорания. Наиболее эффективным оказалось введение отходов аксиально-встречными потоками. Это позволило аэродинамически запереть приосевую зону, предотвратить образование коксовых отложений и вынос несгоревших частиц с дымовыми газами через приосевую зону, наиболее полно использовать объем камеры сгорания и, в конечном итоге, повысить эффективность процесса.

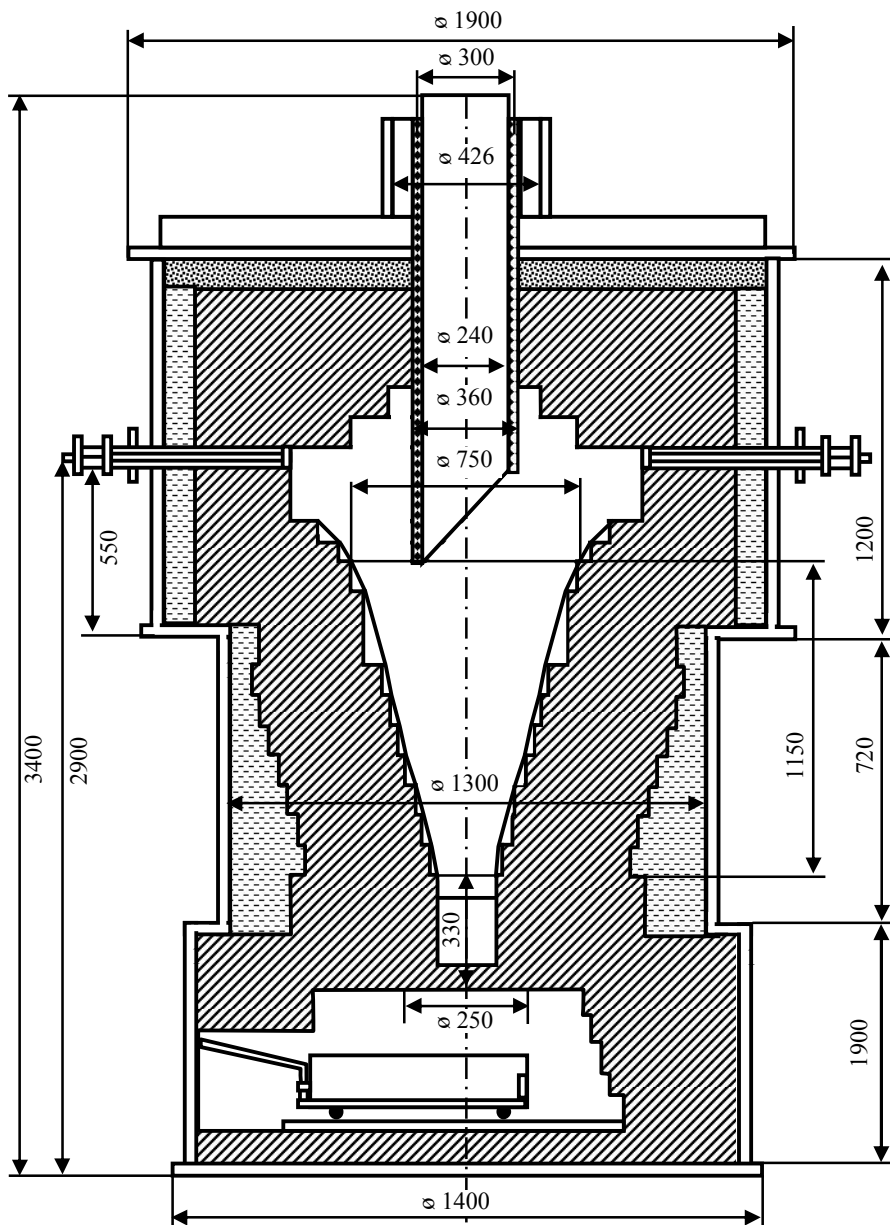


Рис. 3.3. Циклонный кольцевой реактор для обезвреживания твердых сыпучих и пастообразных отходов

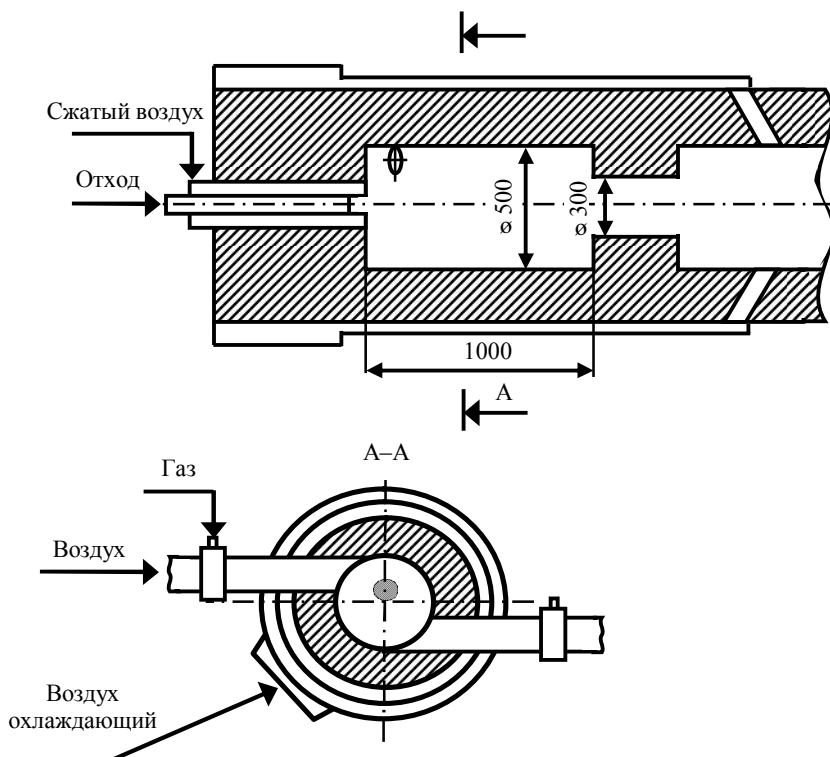


Рис. 3.4. Циклонный горизонтальный реактор для обезвреживания особо опасных отходов

В случае необходимости сжигания большого количества несовместимых отходов подача может осуществляться несколькими пневматическими форсунками, установленными в нижней части вертикальной камеры сгорания и направленными навстречу потоку отходящих газов (рис. 3.10).

При сжигании отходов, содержащих хлор, фтор, фосфор, серу, надежная нейтрализация образующихся токсичных продуктов сгорания с минимальным расходом нейтрализующих реагентов достигается при вводе их непосредственно в жидкие отходы. Однако в ряде случаев смешение отходов с нейтрализующими реагентами невозможно из-за осмоления органической части отходов, выпадения твердой фазы, газовыделений и др.

Разработана схема термического обезвреживания отходов, по которому нейтрализующие реагенты в виде раствора или суспензии вводят в распыленном состоянии в приосевую область циклонной камеры сгорания навстречу поступательному движению потока дымовых газов и подают в зону

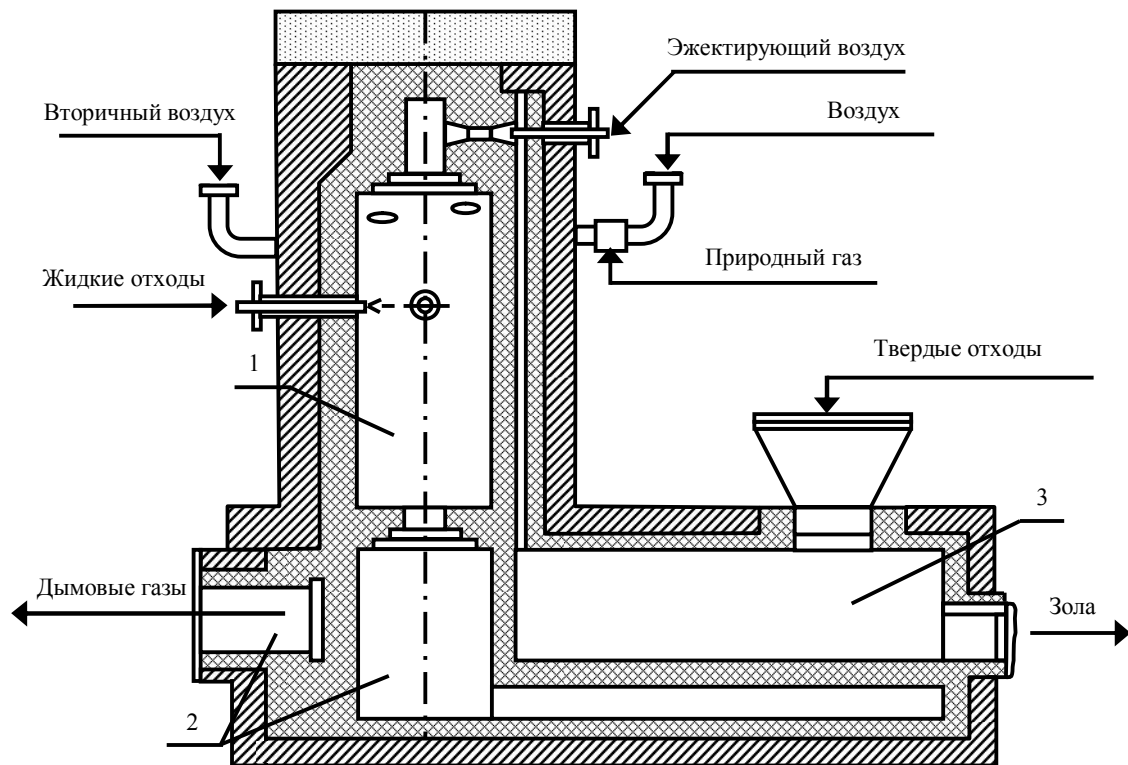


Рис. 3.5. Комбинированная печь:

1 – циклонная камера старения; 2 – газоход; 3 – камера разложения твердых отходов.

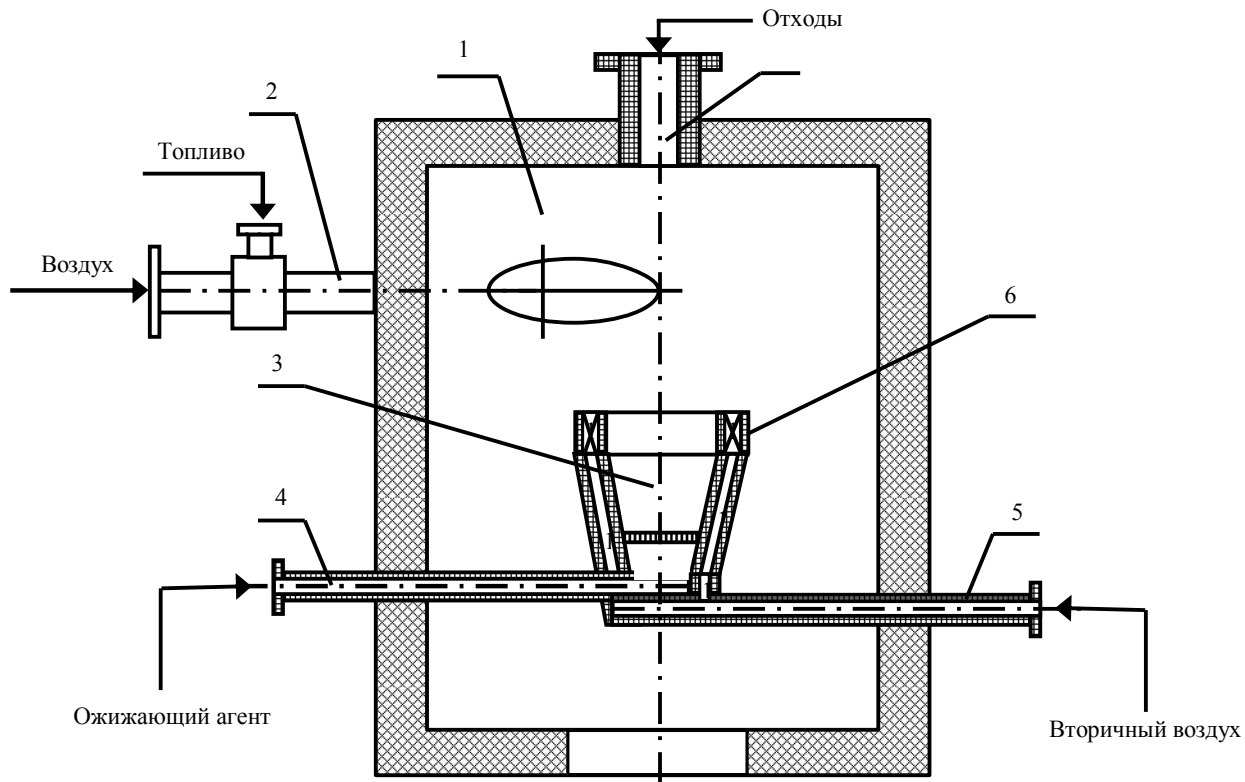


Рис. 3.6. Печь для сжигания крупнодисперсных отходов:

1 – камера сгорания; 2 – горелочное устройство; 3 – камера псевдоожижения; 4 – патрубок подвода оживающего агента; 5 – трубопровод вторичного воздуха; 6 – завихритель; 7 – патрубок для подачи отходов.

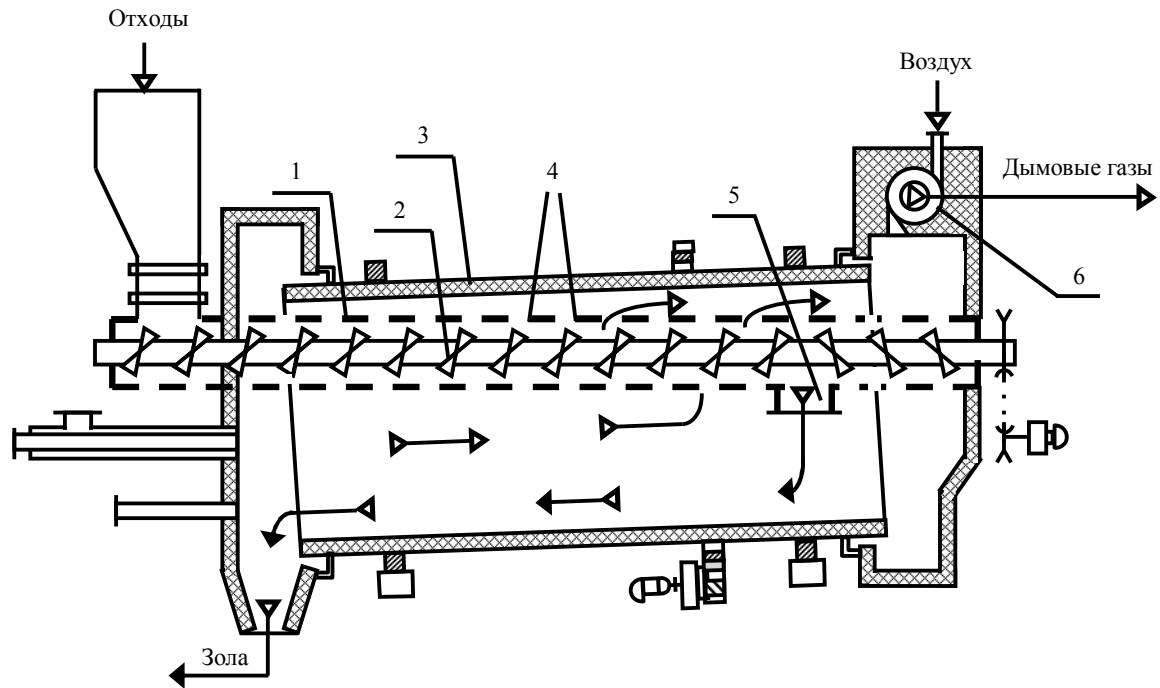


Рис. 3.7. Печь для сжигания отходов фотоматериалов:

1 – труба, 2 – шнек, 3 – барабан, 4 – отверстия, 5 – окно, 6 – дожигатель.

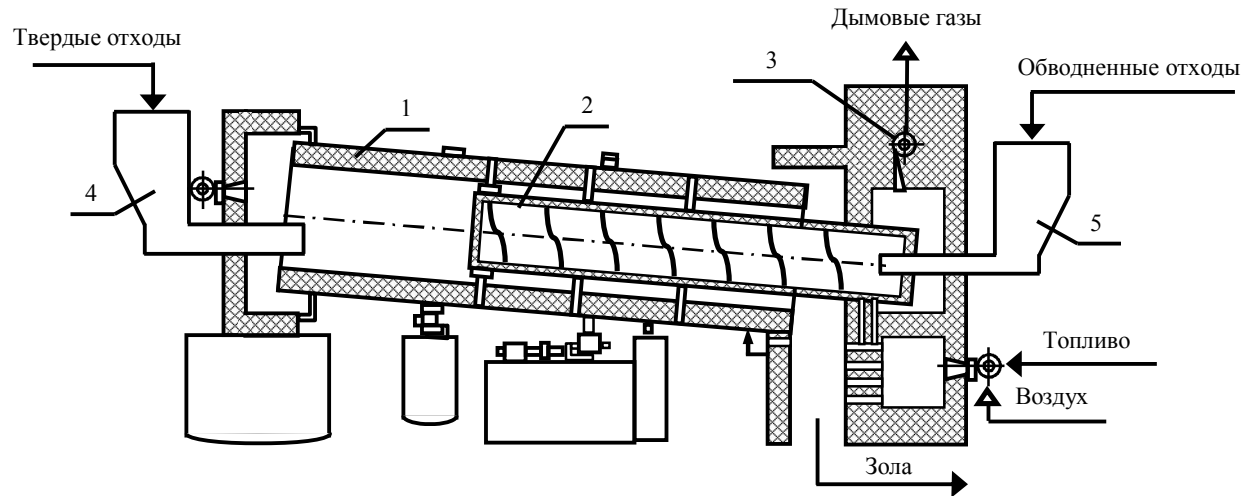


Рис. 3.8. Вращающаяся печь для обезвреживания насыщенных влагой отходов:

1 – вращающаяся печь; 2 – камера термической обработки; 3 – дожигатель; 4, 5 – устройства для загрузки отходов.

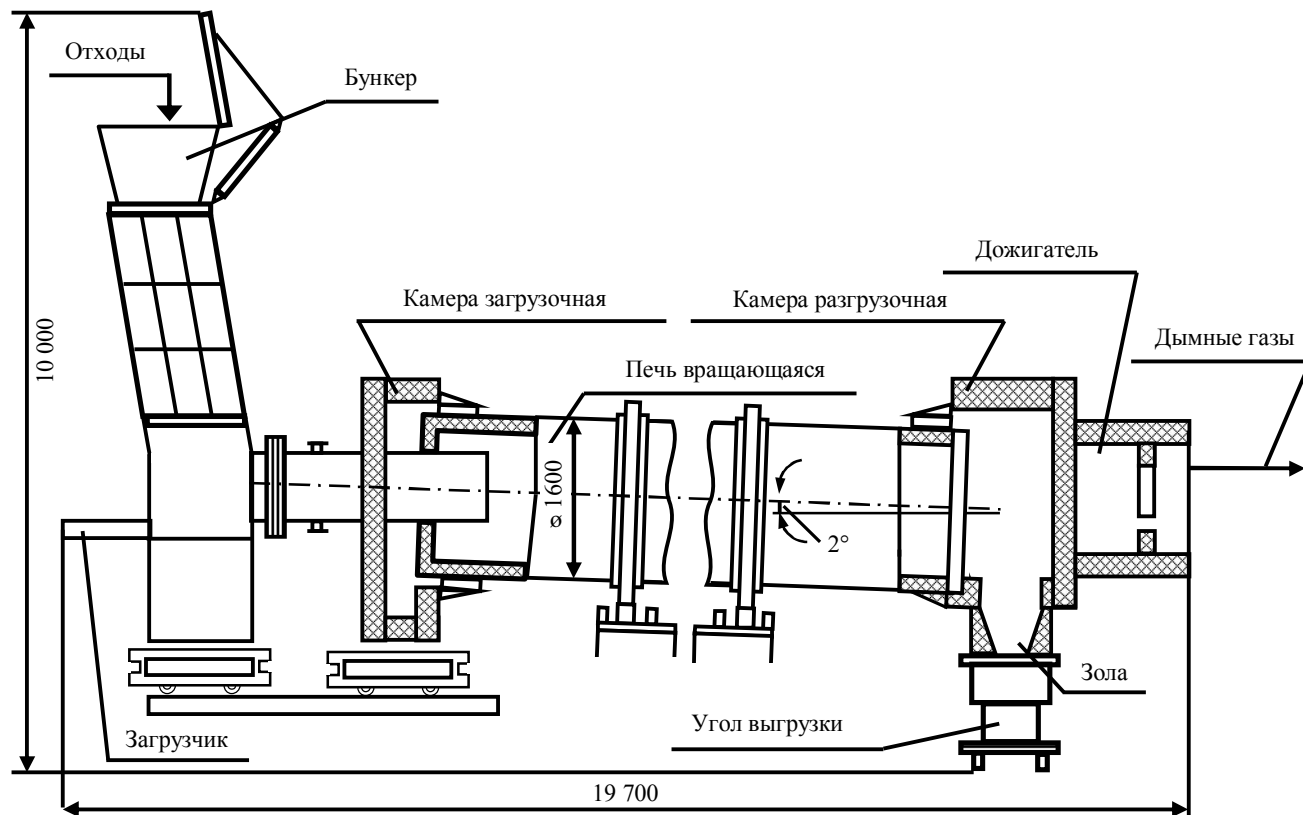


Рис. 3.9. Установка для термического обезвреживания твердых промышленных отходов

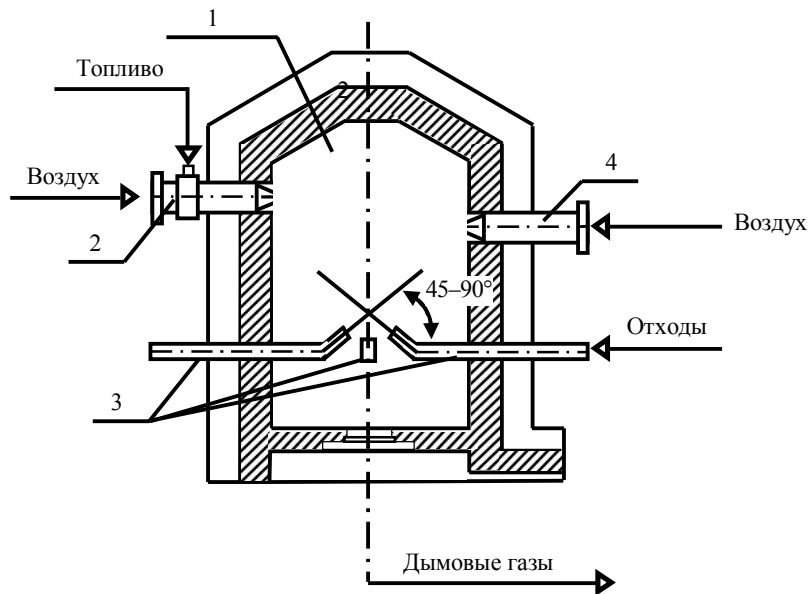


Рис. 3.10. Печь для сжигания несовместимых отходов:

1 – камера сгорания; 2 – устройство горелочное; 3 – форсунки; 4 – сопло воздушное.

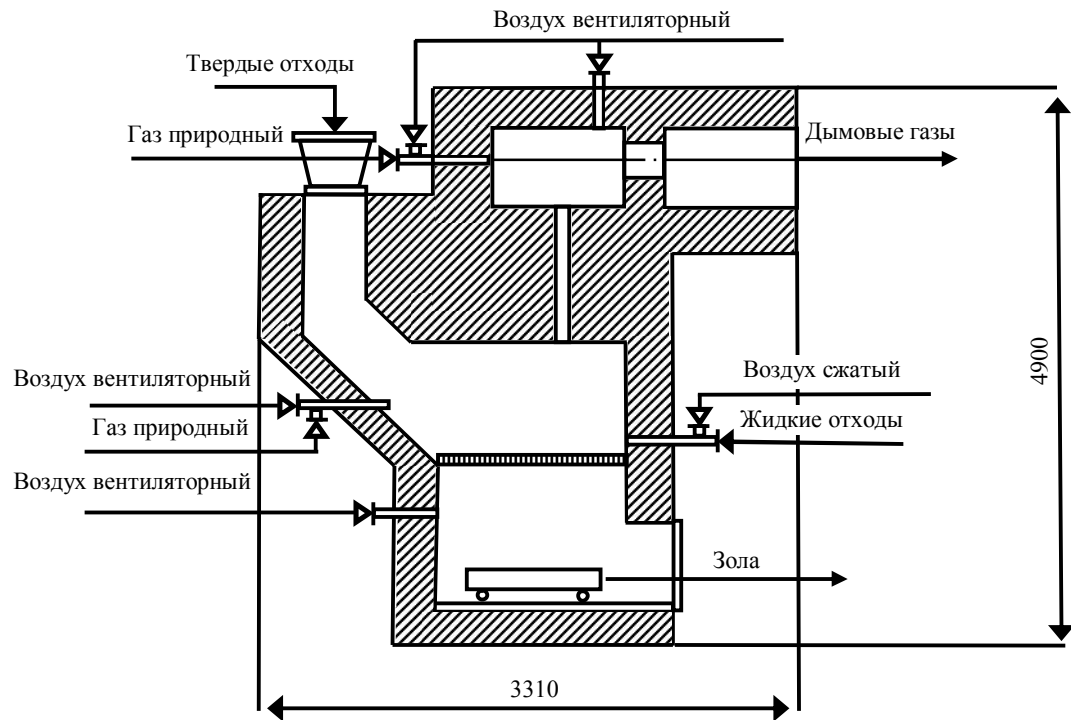


Рис. 3.11. Печь камерная для термического обезвреживания жидких и твердых производственных отходов

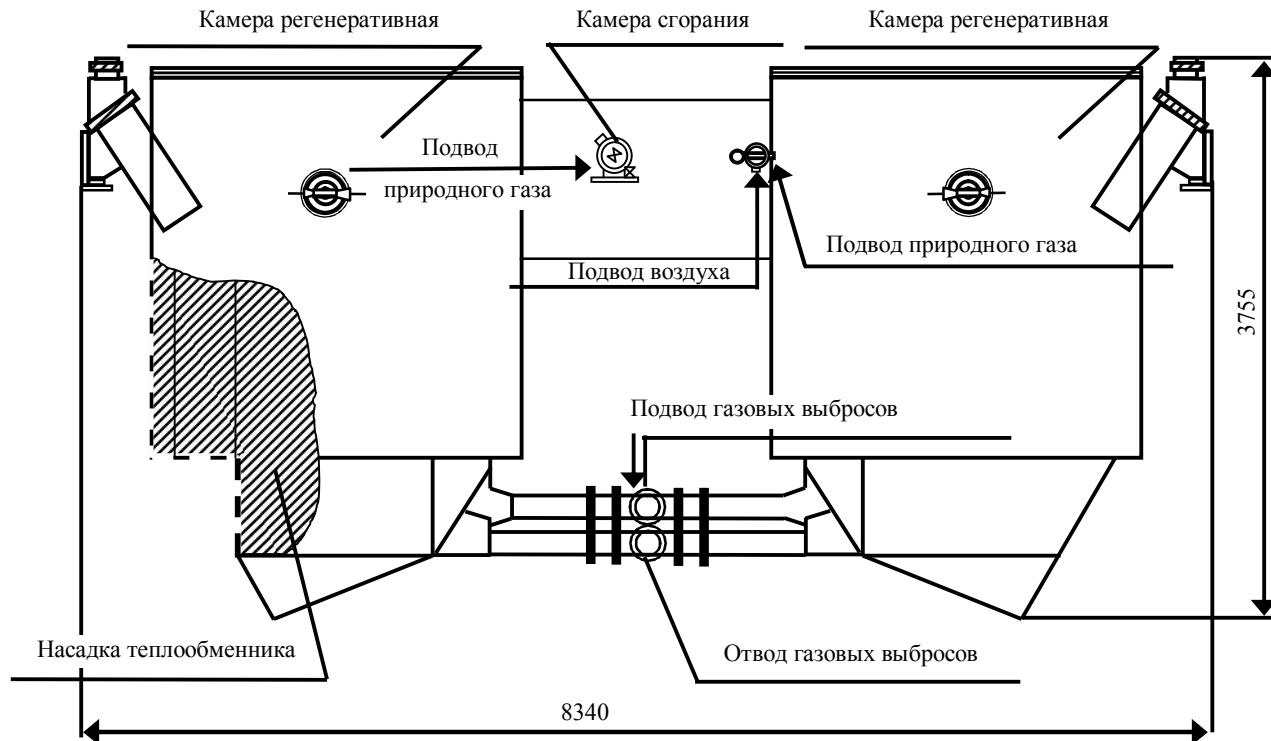


Рис. 3.12. Дожигатель для обезвреживания газовых выбросов от лакокрасочных камер термическим методом в нестационарном режиме

разложения и окисления отходов. Прогретые до высокой температуры мелкодисперсные частицы нейтрализующих реагентов, попадая в зону разложения и окисления отходов, начинают взаимодействовать с образующимися в ней галогеноводородами и окислами серы и фосфора. Встречное движение потоков приводит к увеличению относительной скорости реагентов и токсичных продуктов и, как следствие, к повышению скорости реакции нейтрализации. Рассмотренный способ позволяет надежно нейтрализовать токсичные компоненты непосредственно в камере сгорания с расходом нейтрализующих добавок, близким к стехиометрическому.

Для термического обезвреживания жидких отходов, содержащих минеральные примеси, разработаны специальные циклонные печи солевого типа, позволяющие улавливать легкоплавкие минеральные соли в камере сгорания и выводить их в виде расплава.

В циклонных печах солевого типа летку для вывода плава солей обычно располагают на стенке газохода, противоположной стороне вывода дымовых газов. При таком расположении летки обеспечивается динамический напор газов в области вывода расплава солей даже при общем разрежении в газоходе, что исключает подсасывание через летку холодного воздуха и охлаждение места вывода солей. Однако устойчивый вывод расплава солей через такую летку возможен только при равномерном образовании их в количестве не менее 100 кг/ч и перегреве до температуры, превышающей температуру плавления на 100–150°C.

Применение циклонных печей требует получения тонкодисперсных систем с размерами частиц 200–300 мкм и менее. Печи с псевдоожиженным слоем позволяют вести обработку материала с размером частиц 5–6 мм и более. Однако их применение ограничивается из-за шлакования слоя в случае сжигания легкоплавких отходов или отходов с низкой температурой плавления золы и большого пылеуноса. Устройство, представляющее собой комбинированную печь, позволяет совместить положительные свойства псевдоожиженного слоя и вихревой структуры газового потока. На рис. 3.6 приведена схема печи с воздухоохлаждаемой камерой псевдоожижения. Разогрев печи и поддержание заданной температуры в камере сгорания осуществляется сжиганием топлива или горючих отходов, подаваемых через горелочное устройство. Через это же устройство подается первичный воздух; вторичный воздух подводится по трубопроводу. Проходя через рубашку камеры псевдоожижения, воздух защищает ее стенки от перегрева, нагревается и через лопаточный завихритель поступает в камеру сгорания, образуя закрученный газовый поток. Ожижающий агент подводится по трубопроводу, диспергированные отходы подаются аксиально через патрубок. При движении отходов в приосевой зоне камеры сгорания происходит их нагрев, воспламенение и разделение на фракции газовым потоком. Мелкая фракция отдувается в пристенную зону и сгорает в закрученном газовом потоке, а крупная попадает в камеру псевдоожижения и сгорает в псевдоожиженном слое. Мелкие частицы от-

ходов выносятся из псевдоожиженного слоя и догорают в закрученном газовом потоке.

Для предприятий, на которых образуется большое количество жидких и небольшое количество твердых отходов, разработаны способ сжигания и комбинированная печь (рис. 3.5). Твердые отходы подвергаются разложению и частичному сжиганию в камере, расположенной в газохвате печи. Газообразные продукты разложения и неполного сгорания твердых отходов направляются на дожигание в циклонную камеру, в которой сжигаются жидкие отходы и топливо. Совместное сжигание позволяет уменьшить капитальные затраты на создание установки и сократить расход топлива на термическое обезвреживание жидких отходов, обладающих низкой теплотой сгорания.

Крупногабаритные твердые отходы рекомендуется сжигать во вращающихся печах (рис. 3.9). Вращающиеся печи достаточно просты и надежны в эксплуатации, обеспечивают полную механизацию процесса сжигания от загрузки отходов в печь до выгрузки золы. В этих печах обеспечивается непрерывное перемешивание отходов и хорошие условия теплопередачи от горячих газов к обрабатываемому материалу, что обуславливает надежное озоление отходов. Оснащение вращающихся печей вихревыми дожигателями позволяет получить дымовые газы с объемной долей окиси углерода менее 0,1%. Дожигатель представляет собой цилиндрическую камеру с пережимом, имеющую тангенциальные каналы для ввода дымовых газов и воздуха. Дожигатель оснащен горелочными устройствами для подачи топлива в случае необходимого повышения температуры. Разработаны вращающиеся печи производительностью по отходам от 200 до 5000 кг/ч.

Для сжигания насыщенных влагой твердых и пастообразных отходов разработана вращающаяся печь, оснащенная камерой предварительной термической обработки и вихревым дожигателем. Печь позволяет интенсифицировать процесс сушки отходов за счет непосредственного контакта отходящих дымовых газов с подаваемыми на сжигание отходами и за счет передачи тепла через стенки камеры. Камера предварительной термической обработки отходов имеет внутренний винтовой гребень с направлением витков, обеспечивающим движение отходов в камере в направлении, обратном движению их в барабане печи. Конструкция печи позволяет уменьшить длину барабана, снизить тепловые потери и удельный расход топлива на обезвреживание.

Более широкими возможностями обладает вращающаяся печь, которая позволяет обезвреживать твердые отходы и обводненные твердые или пастообразные отходы в одном огнетехническом агрегате без усреднения состава (рис. 3.8).

С целью обеспечения равномерного слоевого горения и исключения локального повышения температуры, приводящего к расплавлению золы, разработана специальная вращающаяся печь для сжигания твердых отхо-

дов фотоматериалов (рис. 3.7). Печь оснащена камерой термического разложения, выполненной в виде трубы со шнеком внутри. Часть трубы, расположенной во вращающемся барабане, имеет отверстие для удаления газообразных продуктов разложения и окно для выгрузки твердого остатка. Сжигание осуществляется в три стадии. На первой стадии при движении отходов в камере термического разложения происходит постепенный нагрев материала и отгонка летучих компонентов, на второй стадии осуществляется озоление твердого остатка во вращающемся барабане, на третьей стадии идет дожигание дымовых газов.

Для обезвреживания газообразных выбросов, содержащих органическую составляющую, разработан специальный дожигатель, работающий в нестационарном режиме (рис. 3.12).

Дожигатель состоит из двух камер с теплообменной насадкой, камеры сгорания и двух газовых переключателей. Газовые выбросы проходят через предварительно разогретую регенеративную насадку, нагреваются до температуры 700–900°C и поступают в камеру сгорания, где при интенсивном перемешивании происходит взаимодействие газов с высокотемпературными продуктами сгорания топлива, при этом температура в камере повышается до 1000°C, что обеспечивает полное дожигание вредных компонентов. Далее высокотемпературные газы проходят через регенеративную насадку второй камеры, нагревают ее, охлаждают до 200–250°C и сбрасываются в атмосферу.

### 3.1. Отработанные автопокрышки

Современный автопром создал ряд серьезных проблем в области экологии. Второй после загрязнения атмосферы автомобильными выхлопами является проблема утилизации автопокрышек.

Изношенные автопокрышки относятся к категории сложных видов отходов промышленного производства. Они не наносят прямого вреда здоровью человека, но весьма устойчивы к разным воздействиям. Их саморазложение практически не происходит, а вопрос рентабельной переработки далеко не решен. Данный материал накапливается в огромных количествах, занимая все больше и больше площадей промышленных свалок [15, 17, 21, 24, 32, 54].

Как свидетельствует практика, подобные свалки таят в себе вполне реальную опасность для человека. Возникший пожар на такой свалке способен создать огромные облака ядовитых загрязнений, а потушить его практически нельзя, поэтому он может длиться годами. Площади свалок на практике становятся очагами размножения насекомых – носителей заболеваний, а само использование земли под свалки стоит средств и наносит урон окружающей среде. Только в Германии за год из оборота изымается до 100 млн штук использованных покрышек. Учитывая, что одна тонна

покрышек занимает в среднем около  $15 \text{ м}^3$ , общий объем свалок составляет  $10 \text{ млн м}^3$ .

Согласно прогнозам, прозвучавшим на Международной конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992), объем твердых отходов к 2025 г. вырастет в 4–5 раз. Общемировые запасы изношенных автошин оцениваются в 25 млн т при ежегодном приросте не менее 7 млн т. На европейские страны приходится 3 млрд шт. изношенных автошин (около 2 млн т). Ежегодно в США накапливается более 280 млн использованных автопокрышек.

Из этого количества в мире вторично используется только 23% изношенных покрышек (экспорт в другие страны, сжигание в целях получения энергии, механическое размельчение для покрытия дорог и др.). Остальные 77% никак не утилизируются ввиду отсутствия рентабельного способа утилизации. В России и СНГ ежегодный объем выбрасываемых автошин оценивается в более 1 млн т. Только в Московском регионе, по экспертным оценкам, образуется ежегодно от 70 до 90 тыс. т изношенных шин. Из этого объема порядка 10 тыс. т перерабатывается на Чеховском регенератном заводе и на Тушинском заводе по переработке резинотехнических изделий (РТИ). Остальная масса шин оказывается на подмосковных полигонах, несанкционированных свалках, в пригородных лесах. Она довольно часто возгорает, усугубляя и без того непростую экологическую обстановку в регионе. В Санкт-Петербурге и Ленинградской области скопилось около 60 тыс. т бывших в употреблении автошин.

С июля 2006 г. Европейский союз законодательно запретил закапывать в землю использованные автопокрышки. В связи с этим многие страны начали активный поиск альтернативных способов их утилизации. В настоящее время существует до 10 различных технологий переработки отработанных автошин. Ниже дана их краткая характеристика [15, 32, 54].

### 3.1.1. Способы переработки изношенных автопокрышек

**Восстановительный ремонт.** Этот способ переработки автопокрышек привлекает своей высокой экономичностью и считается наиболее эффективным. Подсчитано, что цена восстановленной шины на 40–55% ниже новой. Однако этот метод не является решением проблемы, так как, с одной стороны, качественные характеристики восстановленных покрышек все же оставляют желать лучшего, а с другой стороны, рано или поздно восстановленная шина выходит из строя и ее приходится ликвидировать тем или иным способом.

**Утилизация целых шин.** Из изношенных целых шин создаются искусственные рифы, амортизирующие барьеры на дорогах, шумопоглощающие ограждения, обустраиваются детские площадки и пр. Данный метод не является комплексным решением проблемы утилизации этого вида отходов, так как используются очень малые их количества.

**Сжигание в целях получения энергии** осуществляется в специальных печах. Этот метод, учитывая огромный энергетический потенциал, содержащийся в 9 млн т изношенных покрышек и равный  $7,5 \times 10^{13}$  ккал/год (что эквивалентно 10 млн т каменного угля), считается многообещающим, несмотря на высокий уровень затрат. Подсчитано, что сжигание изношенных шин в Германии позволило бы обеспечить энергией город такого масштаба, как Дюссельдорф.

**Восстановление сырьевых материалов** производится на пиролизных установках и установках по гидрогенизации. Конечные продукты (сажа, масла, сталь, бензиновые фракции и т. д.) могут использоваться как при изготовлении новых шин, так и в производстве других изделий. Крупные пиролизные установки действуют в настоящее время в США, Германии, Японии, Швеции.

**Регенерация** покрышек осуществляется для того, чтобы получить регенерат – заменитель каучука в резинотехнических изделиях и шинах. Первый этап регенерации – дробление автопокрышек в резиновую крошку, которую затем девулканизируют в целях получения регенерата. Металлокорд, капроновый и вискозный корды поступают в отходы.

**Производство строительных материалов.** Изношенные автопокрышки дробят в резиновую крошку. Из резиновой крошки и битума получают рулонные, мастичные и другие материалы, в основном для гидроизоляции строительных конструкций. Металлокорд, текстильный и капроновый корды поступают в отходы.

Недостаток этапа дробления – отходы составляют до 40–45% от массы перерабатываемых шин.

Следует отметить, что лабораторные и опытно-промышленные разработки, как правило, отличаются слабой экономической проработкой (не решены проблемы, связанные с поставкой сырья и сбытом готовой продукции), не решают проблему комплексно (не учитываются вопросы, связанные с разделкой крупногабаритных шин типа БелАЗ).

Известно много способов дробления отходов, но наибольшее распространение получил механический. Основные способы дробления ориентированы на получение резиновой крошки, в то время как область ее применения достаточно мала и рынок резиновой крошки перенасыщен. Кроме того, имеется высокая вероятность (до 50%), что оборудование не будет работать в полном объеме при переходе на промышленную стадию.

**Криогенный способ** широко распространен за рубежом. В России его целесообразно применять в местах складирования жидкого азота и при наличии большого количества шин. Конечным продуктом этого взрывоопасного промышленного способа являются резиновая крошка, металлокорд, текстильный корд.

**Дробильно-размольный способ** (разработчики ВНИИРТмаш (г. Тамбов), Ярополимермаш (г. Ярославль) и др.). Конечным продуктом являются резиновая крошка, волокнистый наполнитель, измельченный метал-

локорд. Данный промышленный способ отличается высокой энергоемкостью и интенсивным износом дробильно-размольного оборудования.

**Вымывание резины водоструйным инструментом высокого давления** (разработчик МЧП «ЮОН» (г. Киев)). Процесс осуществляется на лабораторной установке, при этом конечным продуктом становятся резиновая крошка, металлы, текстильный корд. Проблема переработки не решается комплексно, так как не учитываются размеры обрабатываемых шин, степень износа и т. п.

**«Взрывной» метод** (разработчики специалисты МГТУ им. Баумана, Институт экспериментальной физики (г. Арзамас) производится на лабораторной установке с выходом конечного продукта (резиновая крошка, металлолом, текстильные отходы).

**Разложение покрышек с помощью озона** на лабораторной установке планируется к промышленному внедрению в г. Северодвинске. Конечным продуктом будут резиновая крошка, металлокорд, текстильный корд.

Отметим, что методы переработки шин, описанные выше [24, 54] (*криогенный способ, дробильно-размольный способ, вымывание резины водоструйным инструментом высокого давления, «взрывной» метод, разложение покрышек с помощью озона*), не решают проблемы комплексно, так как устраняется только проблема, связанная с процессом дробления.

**Переработка изношенных автопокрышек в гидроизоляционные материалы** (разработчик В. А. Пискарев, ТОО «СТРОМ») является серийным промышленным методом, конечным продуктом<sup>2</sup> которого становятся мастичные и гидроизоляционные резинобитумные материалы (идол, гидроизол, фольгоизол и другие – до 20 продуктов с различными свойствами). Получаемые в процессе переработки материалы под общим названием «Пи-рол» – это высококачественные рулонные, мастичные и герметизирующие материалы, которые предназначены для гидроизоляции в строительстве, антикоррозионной защиты, значительного улучшения дорожных покрытий, устройства кровель.

Технологический процесс включает:

- резку,
- дробление,
- высокотемпературную переработку (пиролиз),
- смешивание резиновой крошки, пиролизной смолы и технического углерода,
- получение мастичных и рулонных гидроизоляционных резинобитумных материалов, пользующихся высоким спросом в строительной промышленности.

Сегодня это наиболее экономичный и эффективный способ переработки изношенных покрышек, решающий проблему комплексно и являющийся

---

<sup>2</sup> В строительной промышленности имеются ГОСТы и другая документация на использование конечных продуктов.

безотходным производством с замкнутым водооборотом. Выбросы, производимые в атмосферу, при этом процессе остаются в пределах нормы.

Имеющийся мировой и отечественный опыт свидетельствует, что наиболее распространенные методы утилизации автошин – это их сжигание с получением энергии (наиболее популярно сжигание в цементных печах), пиролиз в условиях относительно низких температур с получением легкого дистиллята, твердого топлива, близкого по свойствам к древесному углю, и металла, а также получение резиновой крошки и порошка, используемых для замены натурального и синтетического каучука при изготовлении полимерных смесей и строительных материалов (именно этот способ реализован на Чеховском регенератном заводе и Тушинском машиностроительном заводе). К сожалению, все перечисленные методы экономически и экологически не являются привлекательными, поэтому масштабного развития не получили.

**Переработка в крошку.** Измельчение отходов резины признается самым простым и рациональным способом переработки, так как позволяет максимально сохранить физико-механические и химические свойства материала. Однако именно конечная стадия использования полученной крошки является камнем преткновения экономически эффективного решения проблемы полного рециклинга резиновых отходов.

Чтобы изготовить добавку в дорожное покрытие или битумную массу, нужно создать рецептуру (два одинаковых по размеру колеса от разных производителей дадут по своему составу неоднородную массу), в которой необходимо учесть компоненты, придающие добавке требуемые свойства. Известно, что на протяжении более сотни лет прилагались многочисленные усилия для того, чтобы объединить резину с битумами и асфальтами в целях ее утилизации и придания вяжущим материалам резиноподобных свойств. Было разработано множество технологических схем прямого введения резины в асфальтобетонные смеси, использования резиновой крошки как наполнителя в дорожно-строительных материалах, которые позволили проверить эти разработки на сотнях экспериментальных участков дорог, покрытий мостов и аэродромов. Вначале все было хорошо, но затем стало происходить медленное разбухание частиц резины, запертых в структуре асфальта. Покрытия при таких внутренних нагрузках теряли свою плотность и быстро разрушались. Ничем не связанные резиновые частицы выкрашивались из асфальтов и практически в неизменном виде разносились ветром, загрязняя окрестности.

В процессе разложения и девулканизации резины в битумах при высоких температурах происходил выброс токсичных веществ, содержащихся в резине и образующихся в процессе девулканизации. Низкомолекулярные каучуковые фрагменты одновременно пластифицировали битум, понижая и без того низкие сдвиговые показатели и адгезию. Кроме того, мелкодисперсная сажа из резины при попадании в битум становилась дополнительным источником центров кристаллизации, резко понижая стабильность

вяжущих и устойчивость к старению под действием факторов окружающей среды.

По тем же причинам не оправдали себя и способы введения в битумы ультрадисперсных резиновых порошков с сильно развитой и модифицированной поверхностью. При введении таких высокоактивных добавок существенно изменялись привычные приемы обращения с битумными вяжущими, например резко сокращался их срок хранения. Кроме этого, благодаря сложным и малоэффективным методам получения такие субмикронные порошки имели очень высокую стоимость.

Таким образом, более чем вековой отрицательный опыт применения резиновых отходов в дорожном строительстве скомпрометировал в глазах специалистов-дорожников саму идею использования резины (вулканизированного каучука) в дорожных материалах.

Для того чтобы произвести из крошки какое-либо изделие, необходимо закупить дополнительное оборудование, что сводит на нет декларируемую сравнительную дешевизну. Кроме того, изделия, полученные из крошки, необходимо будет реализовать, что тоже требует времени, создания сети сбыта. При этом возможны проблемы с задержкой платежей и возможным банкротством партнеров.

Кордная ткань, за очень редким исключением, также не находит широкого сбыта. При использовании отдельных технологий остаются бортовые кольца, которые тоже надо утилизировать.

**Пиролиз.** При своей кажущейся простоте воплощения, пиролиз не дает действительно товарных продуктов. Существуют проблемы у этого способа переработки старых шин и в экологическом плане. Именно поэтому он и не нашел широкого применения. Технология пиролиза предполагает разделение использованных автопокрышек под влиянием тепла при отсутствии кислорода на твердые, жидкие и газообразные вещества. При этом длинные полимерные цепи превращаются в водородные молекулярные частицы. Продукция, полученная в результате переработки шин методом пиролиза (пиролизное масло, сажа и сталь), имеет низкое качество, поэтому не может прибыльно реализоваться на рынке и использоваться как конкурентоспособный продукт-заменитель.

При пиролизе, в особенности протекающем при низких и средних температурах, из-за температурных колебаний и вследствие этого неполностью протекающих реакций выделяются такие ядовитые вещества, как диоксины и фураны. Для того чтобы предотвратить их образование, необходим энергетический баланс технологии при температуре  $> 1100^{\circ}\text{C}$ , который является отрицательным, то есть расходы значительно выше, чем прибыль от продажи данного продукта. Так, например, в Вольверхемптоне (Великобритания) была сооружена установка, инвестиции в которую превысили 100 млн DM. В процессе ее работы наблюдались высокие производственные расходы и недостаточное качество конечного продукта.

Основной недостаток пиролиза заключается в том, что вследствие разделения шины на ее составные части уже состоявшийся производственный процесс становится неэффективным и нерентабельным. Высококачественный материал превращается в низкокачественный, имеющий на рынке ограниченные возможности сбыта, при этом на его производство затрачиваются большие средства. Исходя из вышеизложенного можно предположить, что вследствие низкого качества продукции и высоких производственных расходов в ближайшее время пиролиз не будет экономически рентабельной альтернативой другим видам переработки использованных шин.

**Сжигание.** Десятилетиями сжигание шин представляло собой недорогой способ получения энергии. Одновременно имелась возможность экономить первичные горючие материалы. Альтернативные способы переработки шин, существовавшие в прошлом, чаще всего были нерентабельны.

Однако изменившиеся условия, особенно в области защиты окружающей среды, осознание необходимости рационального обращения с природными ресурсами, а также создание инновационных технологий по переработке использованных шин потребовало нового, критического подхода к данному методу переработки.

Вместе с тем получению энергии посредством сжигания использованных шин по отношению к международному потреблению горючих материалов (даже если термической переработке будут подвергнуты все старые автопокрышки) отводится очень скромная роль.

Сама природа данного метода содержит ряд недостатков. Температурные колебания в процессе горения ведут к неполному сгоранию шины. При этом при температуре ниже 1100°C образуются такие ядовитые вещества, как хлорированный диоксин и фуран. Всем известен тот факт, что подобного рода процессы способствуют усилению тепличного эффекта. Так, в процессе горения образуется около 3700 кг CO<sub>2</sub> на тонну шин.

Сжигание шин происходит в цементных печах и на теплоэлектроцентралях. Шины используются здесь как материал-заменитель угля и мазута. В производстве цемента количество используемых в качестве топлива шин технологически ограничено. Применение в данном производстве большого количества старых автопокрышек негативно отражается на качестве цемента, так как содержащаяся в них сталь проявляется в цементе как оксид железа, который окрашивает материал.

Следует отметить, что сегодня еще не решен вопрос о гарантиях безопасности в связи с образованием диоксинов и фуранов при сжигании в цементных печах старых автопокрышек.

Во-первых, сама конструкция вращающихся цементных печей требует очень внимательного разбора. В обычных цементных печах существует несколько температурных зон, непрерывно переходящих друг в друга: зона подогрева (500–600°C), кальцинирования (900–1200°C), спекания (1450°C), охлаждения (1000–1200°C). Лишь одна из них обеспечивает предотвращение образования диоксинов и фуранов, да и то если должным образом вы-

держиваются временные условия. Однако 100% гарантии этому быть не может, поскольку топочные газы также последовательно проходят сквозь все температурные зоны, причем время пребывания в каждой из зон вряд ли может быть точно выдержано в силу их непрерывности.

Во-вторых, при использовании в качестве дополнительного топлива старых автомобильных покрышек декларируется образование так называемой «второй зоны горения», которая улучшает «условия эксплуатации футеровки». Это означает, что уровень определенности при прогнозировании условий горения и возможности образования токсичных органических веществ еще больше снижается. К тому же в России пока не известны случаи надежных измерений выбросов высокотоксичных диоксинов и фуранов в тех условиях, которые складываются при сжигании старых автомобильных покрышек на реально действующих в стране цементных печах.

Таким образом, процесс сжигания во вращающихся цементных печах не исключает образования и выброса в атмосферу опасного количества высокотоксичных органических веществ, подобных диоксинам и фуранам, если в качестве добавок к газу будут использованы старые автомобильные покрышки.

Прочие попытки создания рентабельного предприятия по переработке использованных шин в теплоэлектроцентралях не имели особого успеха вследствие их недостаточно позитивного имиджа, высоких требований со стороны экологического законодательства и невысокого КПД.

Построенная в 1993 г. шиносжигающая установка для получения электрического тока, превышающая в 2–3 раза стоимость подобной обычной электростанции, существует только за счет субсидий. Энергетический баланс при сжигании изношенных шин не выгоден и по затратам энергии на производство шин, и по сравнению с другими методами переработки, так как используется только энергетический ресурс шины, а ценный материал при этом уничтожается.

В связи с необходимостью защиты окружающей среды и соответствующими правовыми предписаниями установки по сжиганию использованных шин должны быть снабжены дорогостоящим оборудованием, ограничивающим выброс вредных веществ в атмосферу. Требуемые для этого большие капиталовложения снижают экономическую ценность автопокрышки как энергоносителя. Таким образом, теряется экономическое преимущество от использования покрышек в виде дешевого топлива по отношению к другим методам переработки.

Предприятия, эксплуатирующие установки по сжиганию изношенных автопокрышек, получают, как правило, доплату за их прием. Однако по мере того как старые шины стали рассматривать в качестве материала, который может быть переработан в другие продукты, популярность термической переработки этого вида отходов упала как в глазах общественности, так и среди законодателей. К тому же уже разрабатываются дополнительные законодательные акты, устанавливающие еще более высокие

расходы при сжигании шин. Следствие данных мероприятий – снижение прибыльности при сжигании шин по отношению к другим видам топлива, что несомненно скажется на решении инвесторов вкладывать средства в развитие данной сферы.

Во многих странах наблюдается тенденция по ограничению сжигания шин в пользу других способов переработки. Хотя сжигание – один из самых простых и удобных способов переработки шин, оно не является решением проблемы утилизации отходов, а напротив, препятствует созданию и применению новых методов переработки.

Соответствующие законодательные акты создают все более благоприятные условия для поиска альтернативы сжиганию шин. Например, в Японии в ходе экспансии автомобильной промышленности необходимость эффективного использования ресурсов шин привела к сокращению количества сжигаемых автопокрышек на 40%.

**Восстановление шин** – это капитальный ремонт, при котором обновляется или протектор шины, или протектор и боковина одновременно с целью продления срока эксплуатации автопокрышки. С одной стороны, это ведет к уменьшению количества отходов, с другой – к экономии ресурсов, так как для восстановления шины необходимо в среднем около 5 л сырой нефти, а для производства новой автопокрышки – 35 л.

Доля восстановленных шин в различных странах неодинакова. Так, например, в США восстановление фактически не играет никакой роли, в Японии восстанавливается только каждая десятая шина, в Германии – каждая пятая, в Нидерландах – каждая третья.

Также дифференцирована структура рынка восстановленных шин. Выше среднего доля восстановленных шин транспортных средств, из которых, например, в Германии каждая вторая автопокрышка восстановленная. Определяющим для автовладельцев транспортных средств является, прежде всего, выгодное соотношение расходов и срока эксплуатации. Восстановленные шины легковых автомобилей покупают в основном для машин экономного и среднего класса, причем в Германии спрос на восстановленные шины для автомобилей этого класса превышает предложение. Восстановленные шины автомобилей с высокими скоростями, напротив, не пользуются спросом. Новые автомобили оборудованы соответственно новыми автопокрышками. В общем, доля рынка восстановленных шин по отношению к новым автопокрышкам мала.

С технической точки зрения процесс восстановления шины не может повторяться много раз без влияния на ее качество и безопасность эксплуатации (как правило, шина может быть восстановлена максимум 2 раза). Каждая восстановленная шина неотвратимо превращается в изношенную, поэтому восстановление представляет собой только временное, а не комплексное решение проблемы утилизации отходов.

Широко распространенные сомнения в качестве и безопасности использования восстановленных шин ведут к усиленному обсуждению этой

проблемы на рынке шин. Так, например, восстановленные шины допущены к эксплуатации только для автомобилей, имеющих определенный предел скорости.

Восстановленные шины конкурируют с импортируемыми из Восточной Европы и Азии более дешевыми автопокрышками. Часто даже минимальное различие в цене является причиной покупки скорее подобной новой шины, чем восстановленной, даже если она уступает по качеству восстановленной. Кроме того, качество корда многих дешевых шин не позволяет подвергать их восстановлению.

Следует отметить, что против роста доли восстановления как способа переработки выступают, прежде всего, представленные технические аспекты и условия рынка шин.

**Вывоз шин на свалку.** Изношенные шины легально или нелегально хранятся как на смешанных свалках с другими отходами, так и на свалках, предназначенных исключительно для использованных автопокрышек. Во всем мире число хранящихся на свалках шин достигает миллиарда штук. Недостаток альтернатив по их переработке приводит к увеличению количества шин на свалках. Но данный способ использования шин может быть приравнен к уничтожению ресурсов, так как вследствие захоронения на свалке использованные шины извлекаются из экономического оборота и в связи с этим не могут быть использованы для дальнейшей переработки.

Изношенные автопокрышки в силу своих свойств – продукт, не подходящий для захоронения. Контакт шин с дождевыми осадками и грунтовыми водами сопровождается вымыванием ряда токсичных органических соединений: дифениламина, дибутилфталата, фенантрена и т. д. Все эти соединения попадают в почву. Разложение шины в земле длится более чем 100 лет. Форма шин и специфичный вес из-за кавитации (образования пустот) не допускают регулируемого уплотнения свалки.

Отсутствие контроля над отходами, поджоги, самовозгорание (например, вследствие удара молнии) ведут к продолжительным пожарам на свалках, которые из-за хорошей воспламеняемости (горючести) шин трудно потушить. В 1990-х гг. это привело к опустошительным пожарам на свалках шин в США и Канаде, где только в Онтарио в течение месяца сгорело более чем 12 млн шин. Свалка шин в Neurope Valley (Mid-Wales, Великобритания) горела с 1992 по 1995 г. Такие пожары из-за высокого уровня выбросов газообразных и жидких веществ ведут к сильному загрязнению воздуха, верхнего слоя почвы, грунтовых вод.

В изношенных автопокрышках скапливается дождевая вода. От солнечных лучей они сильно нагреваются (черный цвет способствует этому) и становятся идеальным местом для размножения паразитов, к примеру moskitov. Поэтому свалки изношенных автопокрышек представляют вполне реальную опасность для здоровья людей.

Негативно влияют свалки шин и на ландшафт. Экстенсивное захоронение изношенных покрышек в последние десятилетия ведет к дефициту

имеющейся площади свалок. Создание новых захоронений может быть разрешено только в ограниченном количестве или вообще запрещено, прежде всего в связи с растущим экологическим сознанием общественности.

Расходы на захоронение шин связаны не только с дефицитом площадей для свалок, но и с повышением рыночной стоимости шин. Нормативные документы в области улучшения экологического законодательства также предполагают повышенные расходы на захоронение, которое к тому же облагается высокими пошлинами.

Если ранее те, кто занимался утилизацией автопокрышек, получали высокую прибыль благодаря приему шин, то теперь их складирование на свалках становится все менее прибыльным как из-за растущего дефицита площадей, так и из-за высоких расходов на утилизацию. Поэтому сейчас, как никогда, актуален поиск других путей переработки продукта. Вместе с тем проблема большого количества захороняемых шин не решена до сих пор. Решение этой проблемы может быть только в ликвидации имеющихся свалок изношенных автопокрышек. Именно эти монозахоронения образуют долгосрочный источник сырья, подлежащего дальнейшей переработке.

Немецкое законодательство в области отходов ставит вывод шин на свалку на последнее место из возможных методов использования данного материала. Если другой способ утилизации не возможен или не целесообразен, использованные автопокрышки могут быть захоронены. Например, в земле Бранденбург (Германия) запрещается вывозить на свалку целые шины, захоронению подлежат только предварительно размельченные автопокрышки. Как уже указывалось выше, Европейским союзом принято решение запретить с 2003 г. захоронение целых шин, а с 2006 г. – шин, разрезанных на куски.

В табл. 3.1 приводятся данные о количестве утильных шин и основных способах их вторичного использования в ряде стран Европы, США и Японии.

На российском рынке изношенных шин сегодня работают следующие компании: НПК «Механобртехника», «Поликон Траст Сервис», «Технимпорт», ОАО «Тушинский машиностроительный завод», ЗАО «Искож-Тверь», «Южно-Уральская промышленная компания», «Пстор», «Копрон» (механическое дробление); «Технокомплекс», «Южно-Уральская промышленная компания», «Татнефть» (пиролиз); «Консит-А», «Турботехмаш» (криогенная технология); «Н.Т.Д. Таманко» (растворение в органическом растворителе); ЗАО «ТТЛ» (озоновая технология).

Типовая блок-схема наиболее полного исполнения способа механического дробления шин представлена на рис. 3.13 и включает:

- утилизатор предварительного дробления исходных автошин в крошку размером 6 мм с удельными энергозатратами порядка 12 кВт·ч/т;
- эстакаду для накопления шин и подачу их в приемное устройство утилизатора;
- транспортную систему отвода крошки;

Т а б л и ц а 3.1

Количество утильных шин в Европе, США и Японии  
и способы их переработки в 2009 г.

| Страна         | Объем образования, тыс. т | Вывезено на свалку, % | Получено энергии, % | Восстановлено протекторов, % | Получено резиновой крошки, % | Экспортировано, % | Прочее, % |
|----------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|-----------|
| Великобритания | 450                       | 67                    | 9                   | 18                           | 6                            | —                 | —         |
| Германия       | 550                       | 2                     | 38                  | 18                           | 15                           | 18                | 9         |
| Италия         | 330                       | 53                    | 14                  | 27                           | —                            | 6                 | —         |
| Россия         | 800                       | 96                    | —                   | 1                            | 3                            | —                 | —         |
| США            | 2 800                     | 59                    | 22                  | 9                            | 9                            | 3                 | 1         |
| Франция        | 425                       | 52                    | 10                  | 13                           | 6                            | 19                | —         |
| Япония         | 840                       | 8                     | 43                  | 9                            | 12                           | 25                | 3         |

- систему отвода и первичной переработки бортовых колец;
- дисковый дефибратор дробления исходной крошки размером 6 мм в крошку размером 1 мм и отделения металлокордной части с удельными энергозатратами в 38 кВт·ч/т;
- магнитный сепаратор для выделения металлокорда;
- роторный дисмембратор дробления исходной крошки в грубый порошок с размером частиц менее 1 мм с полным отделением резины от тканого корда с удельными энергозатратами в 55 кВт·ч/т;
- вихревой аэродинамический сепаратор для выделения тканого корда с удельными энергозатратами в 5–10 кВт·ч/т;
- роторно-ситовую мельницу для получения порошка резины требуемой дисперсности (менее 350 мкм) с удельными энергозатратами в 150 кВт·ч/т;
- вихревой аэродинамический классификатор для разделения порошка резины на фракции с удельными энергозатратами в 10 кВт·ч/т;
- узел пылегазоочистки;
- узел готовой продукции.

Как указывалось выше, в России наибольшее распространение получил метод механического дробления (измельчения). Конечный продукт такой переработки – резиновый порошок или крошка. Отработано множество методик измельчения резины, но, как правило, энерго- и капиталоемких, что обуславливает высокую себестоимость резинового порошка. Следует отметить, что методики переработки с применением предварительного охлаждения или дополнительного химического воздействия существенно не снижают себестоимость, а получаемый конечный продукт при этом очень низкого качества, что делает его порой непригодным.

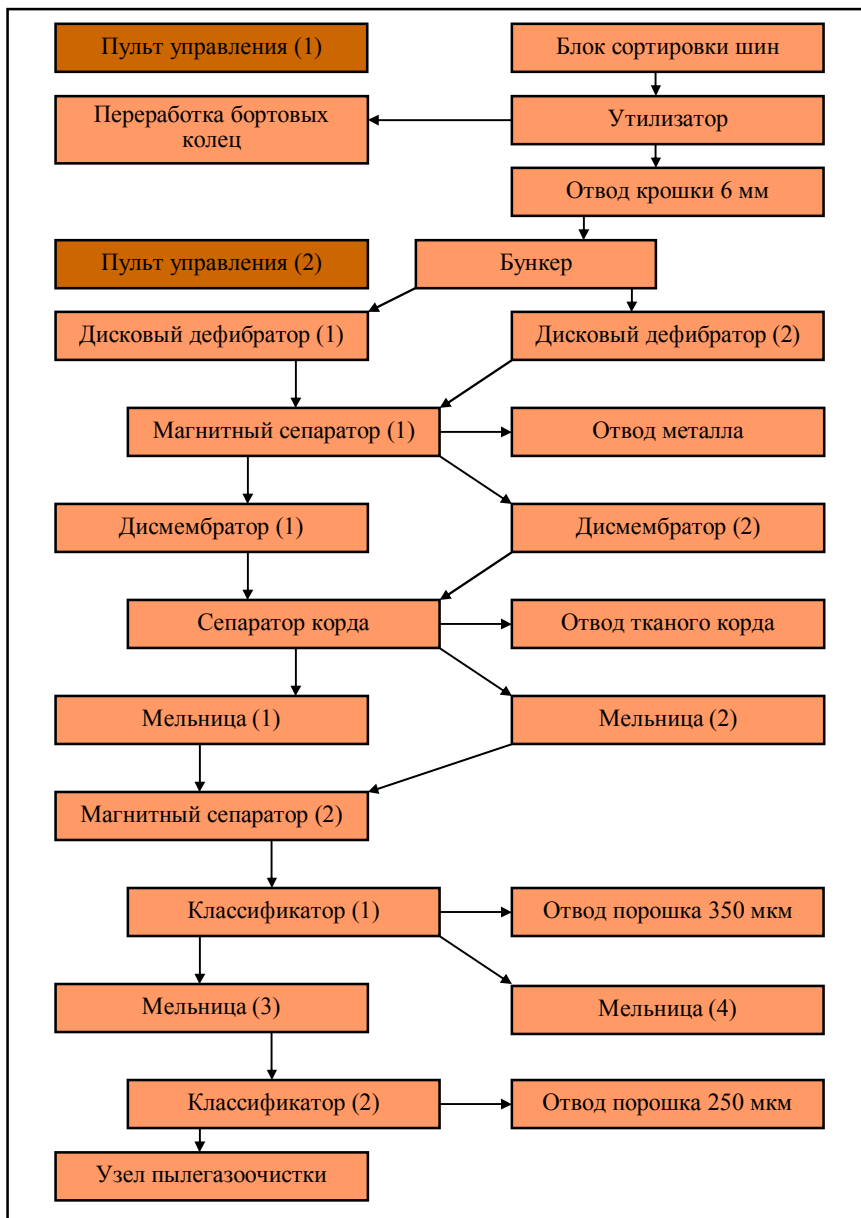


Рис. 3.13. Блок-схема получения крошки и порошка

Основные показатели качества резинового порошка – химическая чистота, форма и размер частиц. Такой порошок успешно применяют в производстве регенерата для резиновой промышленности, в строительстве, при изготовлении дорожного покрытия, в любых сферах, где конечный материал должен обладать эластичностью и звукоизоляцией, а также в качестве сорбента. Главным препятствием для более широкого применения резинового порошка становится его высокая себестоимость, поскольку для производства одной тонны мелкодисперсного порошка существующими технологиями затрачивается до 1000 кВт электроэнергии.

Большое внимание в последние годы уделяется методу пиролиза отработанных шин, разработанному Казанским государственным техническим университетом им. А. Н. Туполева. Об этом свидетельствует большое число публикаций, патентов, сообщений о действующих лабораторных и промышленных установках. Многие авторы полагают, что переработка старых покрышек с использованием пиролиза будет наиболее экономически выгодным процессом в ближайшем будущем [15, 17].

Преимущества пиролиза:

- универсальность (возможность переработки широкого ассортимента продукции);
- минимальные энергозатраты на подготовку сырья.

Общеизвестно, что термическое разложение начинается при температуре 260°C, максимум приходится на диапазон 375–400°C, завершается процесс при температуре 525°C. При повышении температуры наблюдается значительный рост выхода жидких продуктов, выход твердого остатка резко сокращается, а выход газообразных продуктов увеличивается незначительно. Изменение температурного режима разложения сырья значительно влияет на состав газа. Повышение температуры приводит к уменьшению в нем оксида и диоксида углерода, при этом увеличивается концентрация водорода и метана. Кроме метана в газе содержится ряд предельных углеводородов – низших гомологов метана. С повышением температуры уменьшается плотность газа, что объясняется увеличением содержания в нем таких легких компонентов, как метан и водород. Теплота сгорания газа повышается, достигая 56,8 МДж/м<sup>3</sup> при температуре реакции 525°C. Дальнейший подъем до 600–650°C оказывает очень незначительное влияние на выход продуктов пиролиза. Поэтому этого можно предположить, что термическое разложение резины практически заканчивается при температуре 500–525°C.

Основанием для оптимизма при переработке старых автопокрышек методом пиролиза являются результаты, полученные на экспериментальной установке.

Экспериментальная установка (рис. 3.14) была изготовлена в масштабе 1 : 4 по сравнению с будущей пиролизной установкой производительностью 3000 т/год и служила для получения ценной технической информации для проектирования и изготовления полномасштабной установки.

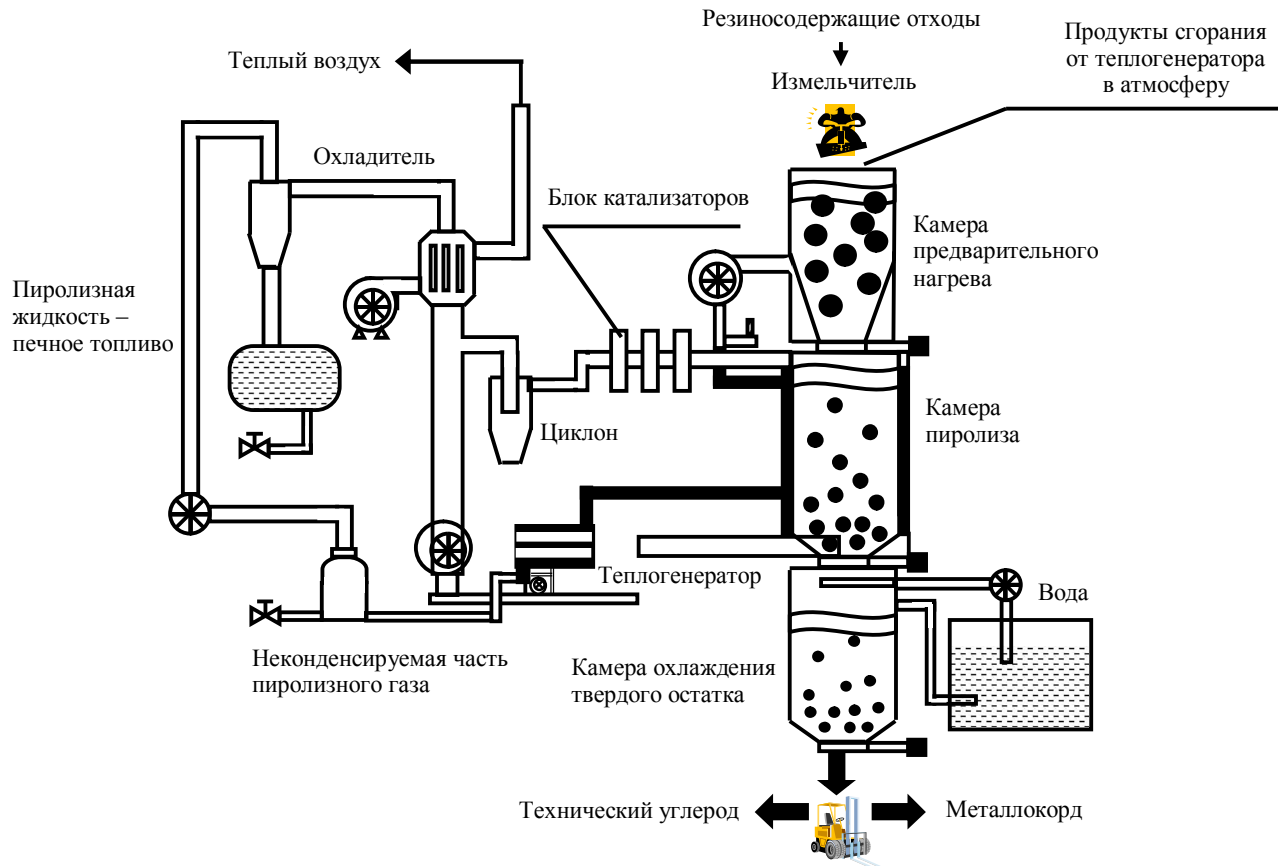


Рис. 3.14. Принципиальная схема экспериментальной установки пиролиза

Процесс пиролиза разрубленных на куски (40–50 мм) автошин проводили на экспериментальной установке без катализатора на линии отбора пиролизного газа и с катализатором. Оказалось, что для обоих процессов выход жидкой фракции пиролиза находился на уровне 45–50% по массе. Температура пиролиза составляла 350°C, а в конце повышалась до 500°C. Выходящая пиролизная жидкость имела меньшую вязкость и была существенно светлее при использовании катализатора.

Приблизительный состав неконденсируемой части пиролизного газа следующий, об. %: 6,4 N<sub>2</sub>; 3,7 CO; 11,2 CO<sub>2</sub>; 16,4 H<sub>2</sub>; 23,8 CH<sub>4</sub>; 9,6 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>; 6,3 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>; 4,2 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>; 3,7 C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>; 2,0 C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>; прочее – 0,6. Теплота сгорания 49,745 МДж/м<sup>3</sup>. Выход бензиновой фракции из пиролизной жидкости составлял 20–25% без катализатора и ~35% с катализатором.

На общую экономику процессов пиролиза влияют следующие факторы:

- качество исходного сырья и его цена с учетом транспортировки;
- ведение технологического процесса;
- производительность единичных аппаратов и выход основных продуктов;
- полнота квалифицированного использования побочных продуктов;
- потребность в получаемом продукте и его цена.

Высокую производительность установки обеспечивает:

- предварительное дробление шин на относительно крупные куски, что повышает на 30% использование объема камер;
- наличие трех камер, расположенных друг над другом и отделенных друг от друга герметичными затворами;
- одновременное применение прямого и непрямого нагрева сырья в пиролизной камере (прямой – при рециркуляции пиролизного газа, нагретого в теплогенераторе до требуемой температуры; не прямой – нагрев пиролизной камеры снаружи отходящими продуктами сгорания от теплогенератора);
- использование отходящих продуктов сгорания для нагрева сырья в камере предварительного нагрева;
- охлаждение твердого остатка пиролиза до требуемой температуры в нижней камере впрыском в нее воды;
- протекание всех процессов одновременно во всех трех камерах;
- полная автоматизация работы всей установки.

К отличительным особенностям можно отнести тот факт, что после первых циклов в установке используется собственный пиролизный газ – его неконденсируемая часть. Блок рециркуляции пиролизного газа состоит из вентилятора специальной конструкции, циклона, теплогенератора и системы теплоизолированных газопроводов. Система охлаждения отбираемого нагретого пиролизного газа из блока рециркуляции является неотъемлемой частью установки, на которой получают жидкую фракцию пиролиза и неконденсируемую часть пиролизного газа. На пути отбора нагретого пиролизного газа может быть установлен блок с катализатором, обеспечиваю-

щим большой выход бензиновой фракции из жидкой фракции пиролиза. Установка позволяет получить незагрязненные полупродукты. Коэффициент использования тепловой энергии 75–78%.

Завод, построенный по этой технологии, должен состоять из следующих цехов:

- приема РТИ (склады);
- моечного;
- рубки РТИ (автопокрышек) на крупные куски;
- с пиролизной установкой;
- сбора и возгонки жидкой фракции пиролиза на бензиновый, дизельный и другие компоненты;
- сбора и компримирования неконденсируемой части пиролизного газа;
- утилизации твердых остатков пиролиза и их упаковки;
- вспомогательных (транспортного, бытовых помещений и др.).

Продукты, полученные методом пиролиза на данной технологии, могут быть достаточно ликвидными.

### 3.2. Отработанные аккумуляторные батареи

Резкий рост автомобильного парка в России обострил проблему утилизации отработавших аккумуляторных батарей (ОАБ). Только в Европейской части РФ автопарк ежегодно «производит» в качестве отходов до 145–150 тыс. т свинца, содержащегося в ОАБ. По экспертным оценкам, в настоящее время на свалках, транспортных площадках и других местах по всей территории России находится до 1 млн т свинца в отработавших аккумуляторах.

Свинец и его соединения, выброшенные с отходами производства, включаются в кругооборот веществ в природе. С каждым годом он во все больших количествах выбрасывается в атмосферу и воду, а оттуда попадает в почву и далее в растения. В то же время известно, что основной путь поступления свинца в организм человека в Российской Федерации — с продуктами питания.

Свинец влияет на нервную систему человека, что приводит к снижению интеллекта, вызывает изменения физической активности, координации, слуха, воздействует на сердечно-сосудистую систему, приводя к заболеваниям сердца. Это оказывает негативное влияние на состояние здоровья населения и в первую очередь детей, которые наиболее восприимчивы к свинцовым отравлениям.

Свинец и его соединения отнесены к токсичным веществам 1-го класса опасности. Практически во всех странах мира введены жесткие нормативы, определяющие предельно допустимые концентрации свинца в воздухе и воде. Для России среднесуточная величина ПДК составляет 0,0003 мг/м<sup>3</sup> в воздухе и 0,03 мг/л в питьевой воде. В западных странах нормативы ме-

нее жесткие. Свинец постепенно запрещается использовать в ряде промышленных продуктов (добавки к топливу, оловянно-свинцовые припои) или его заменяют другими, менее опасными компонентами.

Около 85% всей продукции, в которой присутствует металлический свинец, с точки зрения ликвидности может быть переработано повторно. На повторную переработку поступает в основном свинец от ОАБ, остальные вторичный свинец получают из таких источников, как оловянные кабели, листовой прокат и отходы припоев. Объясняется это коротким жизненным циклом свинца в батареях, по сравнению с другими областями его применения, а также тем, что на производство свинцово-кислотных батарей идет большая часть производимого в мире свинца. Время жизни батарей в зависимости от типа обслуживаемых устройств и климатических условий составляет от 2 до 5 лет, а стационарных промышленных батарей – до 10 лет. Другая промышленная продукция имеет значительно большие промежутки жизни до замены или повторной переработки.

Создание системы рециклинга свинцового сырья и предотвращение негативного воздействия свинца на население должно стать одним из фундаментальных принципов политики охраны окружающей среды Российской Федерации.

Единственно приемлемым путем утилизации ОАБ является их сбор и переработка с рециклингом свинца и дорогостоящих пластмасс. Большинство стран мира приняло законодательные акты, обязывающие потребителей сдавать аккумуляторы на пункты сбора для последующей переработки с извлечением свинца и других ценных компонентов. Созданы сети пунктов сбора батарей с электролитом и системы безопасной доставки их на перерабатывающие предприятия. Степень сбора батарей обычно превышает 95%. Собранные батареи перерабатывают в своей стране (регионе) или экспортируют в соседние страны (регионы), имеющие заводы для переработки ОАБ. При переработке батарей получают металлический свинец, полипропилен, отработанный электролит, которые могут быть использованы в промышленности.

В настоящее время в РФ сбор ОАБ пущен практически на самотек и является, скорее всего, предметом интереса перерабатывающих их предприятий. Отсутствует федеральное и региональное законодательство, регламентирующее сбор и утилизацию ОАБ, не развита широкая сеть пунктов их сбора.

Современные свинцовые аккумуляторы содержат несколько компонентов, пригодных для переработки, важнейшими из которых являются сплавы на основе свинца, сам свинец, его диоксид, а также полипропилен. Ранее для изготовления корпусов батарей вместо полипропилена использовался эбонит (табл. 3.2).

Сегодня можно говорить о двух сложившихся подходах к вопросу переработки аккумуляторного сырья. Первый вариант условно можно назвать вариантом с «дешевой» подготовкой сырья и «дорогим» металлургическим

Т а б л и ц а 3.2

Среднее содержание компонентов в ОАБ, собираемых в России, %

| Компоненты                 | Заполненные электролитом            | Со слитым электролитом                 |
|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|
| Электролит                 | 25 (~ 15% $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) | 7,5 (остаток $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) |
| Свинцовые решетки и полюса | 28,0                                | 34,5                                   |
| Сульфат свинца             | 19,0                                | 23,5                                   |
| Оксид свинца               | 14,0                                | 17,2                                   |
| Полипропилен               | 4,0                                 | 5,0                                    |
| Эбонит                     | 7,0                                 | 8,5                                    |
| Сепараторы (ПВХ)           | 2,0                                 | 2,5                                    |
| Прочие компоненты          | 1,0                                 | 1,3                                    |
| Всего                      | 100,0                               | 100,0                                  |

агрегатом для его переработки (шахтная плавка, печь Ausmelt). Второй вариант – вариант с «дорогой» подготовкой сырья и «дешевым» или «относительно дешевым» металлургическим агрегатом для переработки (плавка в отражательных, короткобарабанных, электротермических печах). Оба варианта имеют свои достоинства и недостатки [60, 11].

Технологически подготовку ОАБ к дальнейшей переработке можно разделить следующим образом:

- а) использование неразделанных ОАБ;
- б) использование ОАБ с частично разрушенными (проколотыми, разрезанными) корпусами и слитым электролитом;
- в) использование свинецсодержащих компонентов ОАБ, полученных при их полной разделке, без десульфуризации;
- г) использование свинецсодержащих компонентов ОАБ, полученных при их полной разделке и прошедших десульфуризацию.

Наиболее перспективным сегодня является последний вариант. Несмотря на более сложное и дорогостоящее аппаратное оформление, он позволяет получить вторичный полипропилен, отделить на начальной стадии хлорсодержащую органику, получить два отличающихся содержанием сурьмы и других компонентов свинецсодержащих продукта, понизить содержание серы в окисульфатной пасте до 0,6–1,0%. Метод обладает следующими достоинствами:

- минимальное выделение диоксида серы в газовую фазу и возможность использования «сухой» очистки полученных газов в рукавных фильтрах;
- снижение расхода компонентов шихты, уменьшение количества образующихся шлаков и снижение расходов на их захоронение;

- снижение температуры плавки и уменьшение расхода топлива;
- возможность утилизации серы и перевод ее в товарный продукт, например сульфат натрия.

В настоящее время ряд зарубежных и российских фирм предлагают стандартные комплексы оборудования (например, интегрированная система СХ для полной переработки отработанных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей фирмы «Engitec Technologies» [23], система МА фирмы «M.A. Industries Inc.» [23], линия комплексной разделки аккумуляторных батарей «КРАБ» фирмы «Ирисмаш» [36]), позволяющие производить подготовку сырья, наиболее полно соответствующую ужесточающимся требованиям законодательства в области экологии и дающую возможность комплексно использовать основное вторичное свинцовое сырье – ОАБ.

Действующие в нашей стране законодательство, правила, стандарты и санитарные нормы для производителей свинца разработаны достаточно давно и в большой степени регламентируют деятельность предприятий, получающих свинец из первичного рудного сырья. Некоторые из документов применительно к предприятиям, перерабатывающим свинцовое вторичное сырье на современном оборудовании и по передовой технологии, уже устарели. Например, установление величины санитарно-защитной зоны в зависимости от мощности предприятия может быть оправдано для свинцовых комбинатов, перерабатывающих рудное сырье, но не для компактных современных производств по переработке ОАБ. Более целесообразно было бы установить для таких предприятий нормы по выбросам вредных веществ в атмосферу, а также промышленным стокам и жестко проверять их соблюдение со стороны государственных контролирующих органов. Любому инвестору гораздо выгоднее, а для окружающей среды полезнее, вкладывать средства в оборудование, прежде всего газо- и водоочистное, совершенствовать технологии, чем приобретать большие участки земли под строительство новых производств в малонаселенных районах.

Предприятия, занимающиеся сбором и переработкой ОАБ, приносят большую пользу, значительно снижая загрязнение природы свинцом и кислотой.

При переработке отходов, относящихся к I–III классам опасности, неизбежно образование отходов от производственной деятельности. Так, при переработке 1 т ОАБ образуется около 150–200 кг отходов в виде шлака, эбонита и ПВХ. То есть отходов образуется несоизмеримо меньше, чем перерабатывается. Однако ограничения на образование этих отходов, их временное хранение, связанные с этим экологические платежи и расходы на транспортировку к месту утилизации или захоронения составляют значительную часть в затратах предприятия, делают переработку аккумуляторных батарей и электролита значительно менее экономически привлекательной. Отнесение предприятий, занимающихся утилизацией аккумуляторных батарей, к категории природоохранных и предоставление в связи с этим налоговых и других льгот дало бы значительный импульс развитию

данной отрасли промышленности, сделало бы ее более привлекательной для инвестиций.

Требует дальнейшей проработки идея создания в Европейской части России специального полигона для захоронения содержащих свинец отходов. Расположение таких отходов по отдельным полигонам и смешивание их с другими недопустимо, так как исключает возможность их переработки в будущем.

Между тем, как показывает практика зарубежных стран, в которых в результате государственного регулирования сложились четкие системы сбора, потери амортизированного аккумуляторного лома или вовсе отсутствуют, или минимальны. Например, сбор и переработка ОАБ в Швеции достигает 100%, США – 98, Германии – 95, Японии и Италии – 90%.

### **3.3. Электронный скрап**

Во всем мире проблема сбора и утилизации электронного скрапа (мусора) стоит очень остро. Согласно данным программы ООН по защите окружающей среды, каждый год человечество выбрасывает на свалку от 20 до 50 млн т электронного мусора и этот показатель постоянно растет [45]. По расчетам Международной ассоциации утилизации электронной продукции в ближайшие 5 лет устареет и будет выброшено 250 млн компьютеров и 150 млн мобильных телефонов. По оценкам специалистов, в развитых странах за последнее десятилетие средний срок службы компьютеров сократился с 6 до 2 лет, а для мобильных телефонов он стал менее 2 лет.

Что же содержится в электронных отходах?

В состав электрического и электронного оборудования входит множество компонентов, содержащих такие ценные металлы, как бронза и золото, а также ртуть, свинец, кадмий, хром, асбест и мышьяк, являющиеся канцерогенными элементами. В обычном персональном компьютере содержатся в значительном количестве пластмассы, кремний, соединения кремния, алюминий, железо, бронза, никель, цинк, олово. Магний, мышьяк, ртуть, иридий, ниобий, иттрий, титан, кобальт, хром, кадмий, селен, бериллий, золото, тантал, ванадий, европий и серебро присутствуют в небольших количествах. Типичные для рассматриваемых отходов основные блоки содержат печатные платы, кабели, провода и катушки, огнестойкий пластик, ртутные выключатели и прерыватели, дисплеи, аккумуляторы и батареи, устройства для хранения информации, устройства, генерирующие свет, конденсаторы, предохранители и реле, сенсоры и соединительные звенья. Самыми опасными для окружающей среды веществами являются тяжелые металлы (в частности, ртуть, свинец, кадмий и хром), галогенизированные вещества (в том числе хлорфторкарбонаты или фреоны, полихлорированные бифенилы), поливинилхлорид и бромосодержащие антипирены, а также асбест и мышьяк.

Особое внимание общественные и государственные структуры развитых стран обращают на содержание в скрапе ртути и свинца. Так, в этих странах сегодня развернулось движение за запрещение применения свинца в электронной аппаратуре.

Следует заметить, что отказ от свинцовых припоев и покрытий изменит технологию пайки и инфраструктуру сборочных производств. Поэтому необходимо скорректировать режимы пайки и, как следствие этого, доработать технологическое оборудование. Бессвинцовые паяные соединения должны пройти комплексные испытания на прочность, надежность, коррозионную стойкость, совместимость с материалами и покрытиями компонентов и печатных плат.

Большинство крупных производителей уже исключают или значительно снижают доли свинца в своих изделиях, выводя на рынок так называемые «green-продукты». Практически на всех сайтах производителей для пометки бессвинцовых продуктов служат символы, показанные на рис. 3.15.



Рис. 3.15. Эмблемы, обозначающие изделия, не содержащие свинец

Во всех развитых странах разрабатываются законодательные акты по предотвращению загрязнения окружающей среды отработавшим электрическим и электронным оборудованием. Так, в Европейском союзе были приняты две Директивы: 2002/96/ЕС Европейского парламента и Совета от 27 января 2003 г. «Об отработавшем электрическом и электронном оборудовании» (WEEE) и 2002/95/ЕС Европейского парламента и Совета от 27 января 2003 г. «Об ограничении использования некоторых веществ в электрическом и электронном оборудовании» (RoHS).

Директива WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) устанавливает принцип ответственности производителей и распространителей (дистрибьюторов) электрического и электронного оборудования за сбор, переработку и утилизацию этого оборудования в конце его жизненного цикла, то есть на стадии его превращения в отход. В соответствии с требованиями Директивы WEEE государства – члены ЕС несут ответственность за создание систем сбора указанного оборудования, а дистрибьюторы обязаны бесплатно забирать изношенное оборудование. В 2004 г. данная директива была воплощена в национальном законодательстве государств – членов ЕС.

Директива RoHS (Restriction of Hazardous Substances) ограничивает использование опасных веществ в электрическом и электронном оборудовании.

Согласно требованиям этой директивы с 1 июля 2006 г. в новом электрическом и электронном оборудовании должна быть произведена замена токсичных веществ (в частности, хрома, кадмия и свинца, полибромированных дифениловых эфиров – PBDE и полибромированных бифенилов – PBB) на безопасные вещества.

Требования обеих директив базируются на внедрении принципа «загрязнитель платит», то есть гражданское общество должно нести ответственность за загрязнение окружающей среды, имея возможность исправить ситуацию. На практике это означает, что производители будут обязаны собирать определенное минимальное количество старого оборудования и покрывать расходы на его утилизацию. С помощью этих директив комиссия формирует отношения между производителями оборудования и организациями, занятыми в сфере обращения с отходами, для усовершенствования оборудования таким образом, чтобы упростить процессы его утилизации в конце жизненного цикла. Эта финансовая и физическая ответственность дает производителям экономический стимул для модернизации оборудования с целью облегчения его утилизации. Но, с другой стороны, это приводит к убыткам производителей электрического и электронного оборудования, а также дистрибьюторов, развернувших совместную лоббистскую борьбу против директив ЕС на стадии их утверждения. Однако данные директивы уже воплощены в жизнь, вследствие чего многие компании вынуждены изыскивать способы производства легко утилизируемого и экологически безопасного электрического и электронного оборудования.

Согласно требованиям Директивы RoHS с 1 июля 2006 г. все элементы и детали электрического и электронного оборудования должны производиться с соблюдением жестких экологических норм и соответствовать нижеприведенным требованиям.

Пункт 1. Запретить использовать шесть таких опасных веществ, как свинец, ртуть, кадмий, шестивалентный хром, PBB и PBDE в продукции, которая вводится в обращение на рынок.

Пункт 2. Прекратить использование тяжелых металлов (свинец, ртуть, кадмий, шестивалентный хром), а также определенных замедлителей пламени (PBB3 и PBDE4) в продаваемых продуктах.

Пункт 3. Ограничить использование PBB.

Пункт 4. Ограничить использование PBDE.

В настоящее время в соответствии с п. 2 Директивы RoHS запрет на использование опасных веществ не распространяется на медицинское оборудование и инструменты мониторинга и контроля. Кроме того, оборудование промышленной автоматики не относится ни к одной из категорий, а следовательно, не подпадает под условия Директивы RoHS.

Большое внимание изучению рассматриваемой проблемы придается в Великобритании, где ежегодно выбрасывается более 1 млн т электронных отходов (сломанные мониторы, списанные мобильные телефоны и пр.).

По данным органов государственной власти, значительная часть этих отходов экспортируется. В 2006 г. было незаконно вывезено, главным образом в Китай, Западную Африку, Пакистан и Индию, 23 тыс. т электронного скрапа. В одном из случаев в сопроводительных документах на контейнер, ожидающий отправки в Пакистан, значилось, что в нем находится упаковочный пластик. Но когда таможенники его вскрыли, то обнаружили испорченные мониторы и другие электронные отходы, которые в Лахоре должны были демонтировать в целях извлечения из них свинца и других ценных элементов.

В США проблема сбора и утилизации электронного скрапа стоит очень остро. Эта страна экспортирует в развивающиеся страны около 80% отработавшего компьютерного оборудования. По оценке Агентства по охране окружающей среды США, ежегодно на свалки страны попадает свыше 3 млн т отработавшего компьютерного оборудования. Значительно больший объем электронного скрапа вывозится за пределы страны для сжигания или переработки. Если 15 лет тому назад в США средний срок жизни персонального компьютера составлял 4,5 года, то в настоящее время он не превышает 2 лет. Ежегодно в США выбрасывается до 23 млн старых компьютеров. Такая же ситуация сложилась и с телевизорами: жидкокристаллические и плазменные экраны приходят на смену экранам с электронно-лучевой трубкой. Каждые полгода обновляются десятки моделей мобильных телефонов. Вся эта отработавшая бытовая электроника стала динамично растущей фракцией твердых отходов.

Как же американцы решают проблемы накопления электронного мусора? В стране действует система рециклинга, причем она подразумевает не только переработку отдельных фракций ТБО во вторичное сырье, но и их сбор. Достаточно вызвать представителей службы переработки мусора, которые приедут и заберут электронный скрап.

Предотвратить глобальный кризис токсичных электронных отходов активно пытается Базельская сеть действия – общественная организация со штаб-квартирой в американском городе Сиэтле. Рассказывает первый старший координатор этой организации Джим Паккетт: «Таинственные места, куда с глаз долой направляются отходы электроники, нередко расположены в развивающихся странах. Мы сегодня видим, как бурный поток вредоносного мусора направляется из богатых стран в бедные, туда, где дешевый труд. Этот мусор заражает их землю на многие годы вперед. Такковы издержки хайтековской индустрии, олицетворяющей не только технологическую революцию, но и новую угрозу среде обитания. Здесь в одной точке сходятся массовое производство оборудования, его быстрое старение и токсичность его компонентов. При этом каждый стремится избавить себя от природоохранных расходов, перевалить решение проблемы на чужие плечи, в основном путем экспорта» [45].

Джим Паккетт нарисовал картину того, что он увидел несколько лет назад в одном из глухих китайских городков, на территории которого рас-

положено примитивное производство по вторичной переработке устаревшей оргтехники: «В ходе нашего первого исследования, проведенного в 2002 г. в странах Азии, мы проследили путь старых компьютеров, сдаваемых американцами фирмам по утилизации отходов. Мы выяснили, что восемь из десяти компьютеров утилизируются за пределами США. Они загружаются в морские контейнеровозы и доставляются в Китай. Там местное население почти задаром разбирает их на запчасти и ценные материалы с применением чудовищно примитивной технологии. Представьте только: схемную плату плавят на горящих углях в небольшом котелке. Из плавящихся материнских плат извлекают микросхемы. Плавят также токсичную изоляцию проводов, чтобы извлечь из них медь. При открытом сжигании таких материалов образуются опаснейшие для жизни вещества. Кислотосодержащие субстанции сбрасываются в реки. Подземные воды в этом городке и в этой китайской провинции полностью заражены, и население вынуждено пользоваться привозной водой. И весь этот поток отходов просто выходит из-под контроля» [45].

Еще хуже ситуация на африканских компьютерных свалках. «Недавно мы исследовали так называемый процесс вторичного использования деталей старых компьютеров и пришли к выводу, что во многих случаях это благозвучный эвфемизм, а то и просто ложь, – сокрушается Джим Паккетт. Побывав в столице Нигерии Лагосе, мы обнаружили, что 75% содержимого прибывающих туда контейнеров не подлежит ни повторному использованию, ни ремонту, ни перепродаже. Оно моментально поступает на свалки, где его, как правило, поджигают в целях экономии места. Опять же щелочные продукты просачиваются в грунтовые воды города Лагоса. У них нет инфраструктуры для безопасной переработки всего этого потока техномусора» [45].

В последнее десятилетие на территории США существенно ужесточился природоохранный контроль за утилизацией электронных отходов. Но, по словам Джима Паккетта, неизбежное повышение расходов на утилизацию в Соединенных Штатах лишь еще больше стимулирует вывоз мусора за границу, в политически слабые, небогатые страны; этот процесс получил название «путь наименьшего сопротивления». Д. Паккетт вспоминает, как 20 лет назад огромная баржа с предназначенным для захоронения мусором, выйдя из Нью-Йорка, обошла несколько стран Карибского бассейна и вернулась обратно, потому что ее нигде не хотели принимать. Хозяева мусора, очевидно, думали соблазнить эти небогатые страны мизерным вознаграждением за утилизацию мусора. Тогда у них не получилось. Но сегодня проблема с отходами бытовой электроники приобрела глобальные масштабы. Она начала проявляться в конце 1980-х гг. и привела к подписанию международной Базельской конвенции, которая является единственным глобальным договором об утилизации мусора и должна препятствовать экономически мотивированному вывозу токсичного мусора богатыми странами на территорию бедных стран.

К сожалению, Соединенные Штаты до сих пор не ратифицировали эту конвенцию. Более того, они противостоят попыткам запретить этот вид экспорта из богатых стран в бедные. Являясь единственной промышленно развитой страной в мире, не ратифицировавшей Базельскую конвенцию, США до сих пор не располагают единой системой контроля экспорта вредных отходов. Когда речь заходит о затратах на захоронение таких отходов, их направляют туда, где эти затраты ниже.

Вступившая в 1989 г. в действие Базельская конвенция по контролю за трансграничной перевозкой опасных отходов подписана 166 странами. В Российской Федерации она вступила в силу 1 мая 1995 г. Конвенция запрещает экспорт электронного скрапа даже в целях его утилизации. У американской администрации есть свой резон не ратифицировать Базельскую конвенцию: она считает, что в случае ратификации пострадает экономика тех стран-импортеров электронного скрапа, которые освоили его безопасную переработку.

По словам Майкла Шапиро, представителя Управления твердого мусора и экстренного реагирования Агентства по охране окружающей среды США, есть страны, способные регулировать оборот материалов без ущерба для среды обитания и получающие экономическую выгоду от переработки и возврата этих материалов в производство. Ратификация Базельской конвенции Соединенными Штатами означала бы произвольное ограничение таких стран на деятельность в данной сфере.

Китай является страной, принимающей значительные объемы отработавшего электронного и электрического оборудования (примерно 70% мирового объема). Экологическая организация «Гринпис» заявила, что эта страна стремительно превращается в свалку электронных отходов. Если не удастся переломить данную тенденцию, то Китай станет крупнейшей мировой свалкой компьютерного мусора, представляющей опасность для здоровья людей и окружающей среды.

Китайский комитет по международному сотрудничеству в области охраны окружающей среды и развития опубликовал доклад о состоянии внешней среды и ее влиянии на развитие китайской экономики. В докладе отмечается, что больше всего страдают от электронного мусора южно-китайская провинция Гуандун и восточно-китайская провинция Чжэцзян.

По прогнозу специалистов, через 10–15 лет в Китае наступит «бум электронных отходов». Масштабы ущерба среде обитания при этом будут огромными, так как переработка отходов производится методами, вредными для здоровья людей и окружающей среды. Например, в прибрежной провинции Китая Гуандун до 100 тыс. мигрантов ломают и перерабатывают устаревшие компьютеры, поступающие со всего мира. В работе участвуют мужчины, женщины и дети, не знающие о вреде, который причиняет их здоровью и окружающей среде демонтаж такой продукции, включающий в себя сжигание под открытым небом пластиковых частей и проводов, использование кислоты для извлечения золота, переплавку и сжигание ток-

сичных печатных плат, разбивание содержащих свинец катодных лучевых трубок. Загрязнение в этом районе уже настолько велико, что колодезную воду нельзя пить, а питьевую воду приходится привозить на грузовиках.

В России программы по системному сбору и утилизации отработанного электронного и электрического оборудования практически отсутствуют. Однако некоторые довольно кардинальные меры в данном направлении уже начинают предприниматься. Например, в соответствии с распоряжением правительства Москвы «О создании городской системы сбора, переработки и утилизации отходов электроники и электротехники» от 4 апреля 2007 г. № 602-РП в ближайшее время будут выбраны земельные участки, на которых разместятся предприятия по переработке электротехнических отходов.

В Российской Федерации в целом и в Москве в частности не ведется точный учет образования электронных отходов в общем объеме образующихся промышленных отходов. По оценке экспертов, в соответствии с применяемой мировой статистикой в Москве образуется 32–40 тыс. т электронных отходов. Объем их промышленной переработки, например, в 2006 г. составил около 700 т на единственном городском предприятии этого профиля. В 2006 г. в Москве образовался еще ряд частных предприятий, оказывающих услуги в этом секторе рынка. Но их производственных мощностей для Москвы явно недостаточно.

В России, в отличие от промышленно развитых стран, проблема утилизации электронных отходов, образующихся у населения, практически не решается. Как правило, устаревшее оборудование оказывается на полигонах. В странах ЕС, Японии, США и других развитых странах производители электронной техники осуществляют ее утилизацию, но подобной практики нет в России. В московских представительствах некоторых фирм на предложение забрать отслуживший телевизор или телефон ответили отказом.

Основным методом утилизации для большинства предприятий является разборка оборудования с последующим дроблением и захоронением на полигонах остатков, не использующихся как вторичное сырье.

Методы разборки оборудования и необходимый объем работ подробно описаны в утвержденной 19 октября 1999 г. председателем Государственного комитета РФ по телекоммуникациям Методике проведения работ по комплексной утилизации вторичных драгоценных металлов из отработанных средств вычислительной техники. В основном эта методика направлена на сохранение вторичных драгоценных металлов и в ней мало упоминаний о содержащихся в оборудовании токсичных веществах.

Однако научно-технический прогресс значительно изменил материалы и элементы, применяемые для изготовления электронного оборудования. Изменилось и само оборудование, например, все большее применение находят жидкокристаллические и плазменные мониторы и телевизоры.

После появившихся в печати публикаций о наличии в электронном ломе ртутьсодержащих элементов специалисты занялись этим вопросом

и провели ряд исследований в аккредитованной аналитической лаборатории [51]. Некоторые виды оборудования были представлены московским представительством фирмы Samsung.

Проведенные исследования показывают, что несмотря на наличие ртути в различных элементах вакуумных мониторов ее содержание мало и не превышает ее ПДК в почве. Поэтому при утилизации данных видов отходов заметные ртутные загрязнения могут возникать только при больших объемах переработки. Значительно больше ртути содержат жидкокристаллические мониторы персональных компьютеров и бытовых телевизоров, а также копировальная техника (табл. 3.3).

Как видно из табл. 3.3, жидкокристаллические мониторы ПК содержат по 4 лампы массой 6–7 г с содержанием ртути от 15 до 60 мг/кг, что значительно превышает ее ПДК в почве. Таким образом, в среднем один жидкокристаллический монитор содержит 0,9 мг ртути. В случае его разрушения и полного испарения ртути этого количества достаточно для загрязнения помещения объемом 50 м<sup>3</sup> до 60 ПДК (ПДК ртути в воздухе составляет 0,0003 мг/м<sup>3</sup>).

Еще выше содержание ртути в мониторах жидкокристаллических телевизоров. Телевизоры с диагональю 26 дюймов содержат 2–4 U-образные лампы массой по 13 г с содержанием ртути 62,14 мг/кг, что в 29,6 раз более ее допустимого содержания в почве. С увеличением размера экрана растет количество ламп в нем. Телевизоры с диагональю 40 дюймов содержат

Т а б л и ц а 3.3

Содержание ртути в люминесцентных лампах  
копировальной техники, жидкокристаллических мониторов  
персональных компьютеров, телевизоров

| Наименование, тип изделия                              | Содержание ртути в лампе (без цоколей), мг/кг |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <i>Копировальная техника</i>                           |                                               |
| Сканер-копир 062 HAV15801Y0                            | 92,78                                         |
| <i>Персональные компьютеры</i>                         |                                               |
| Жидкокристаллические мониторы персональных компьютеров | 15–60                                         |
| <i>Телевизоры жидкокристаллические Samsung</i>         |                                               |
| Тип лампы 21 CAf                                       | 23,49                                         |
| Тип лампы S39A                                         | 43,42                                         |
| Тип лампы W804D                                        | 29,05                                         |
| Тип лампы EA2h                                         | 62,14                                         |

16–20 ламп. При разрушении такого монитора и полного испарения ртути помещение объемом 50 м<sup>3</sup> загрязняется до 400–500 ПДК.

Таким образом, при применении указанных выше существующих методов переработки отходов электронного лома возможно опасное загрязнение производственных помещений, окружающей среды вывозимыми на полигоны дроблеными отходами, не нашедшими вторичного применения, а также нанесение серьезного ущерба здоровью работников, занимающихся утилизацией электронных отходов.

Основные пути воздействия ртути на человека связаны с воздухом (дыхание). Хроническое отравление ртутью приводит к нарушению нервной системы и характеризуется наличием астеновегетативного синдрома (дрожание рук, языка, век, даже ног и всего тела), неустойчивым пульсом, тахикардией, возбужденным состоянием, психическими нарушениями. Развиваются апатия, эмоциональная неустойчивость (неврастения), головные боли, головокружение, бессонница, нарушается память.

При длительном воздействии низких концентраций паров ртути в воздухе (не более сотых долей мг/м<sup>3</sup>) у людей развивается меркуриализм. Обычно его проявления вначале выражаются в снижении работоспособности, быстрой утомляемости, повышенной возбудимости. Затем указанные явления усиливаются, происходит нарушение памяти, появляются беспокойство, неуверенность в себе, раздражительность и головные боли.

Согласно п. 4.4 Санитарных правил при работе с ртутью, ее соединениями и приборами с ртутным заполнением организация технологических процессов должна исключать возможность непосредственного контакта работника с металлической ртутью или содержащими ртуть реакционными массами, а также уменьшать возможность образования источников вторичного заполнения ртутью воздуха рабочей зоны.

В последнее время вызывает тревогу активная государственная компания по замене ламп накаливания на энергосберегающие. Но ни в одном рекламном проспекте нет ни слова о содержании в них ртути, о методах и местах утилизации перегоревших ламп. Поэтому все возрастающий поток отслуживших энергосберегающих ламп попадает на городские свалки, насыщая массив мусора, почву, воздух ртутью. Если государство и бизнес не примут экстренных мер, нам грозит очередной опасный очаг загрязнения окружающей среды.

В заключение нужно отметить, что ртутьсодержащие отходы относятся к первому классу опасности, поэтому согласно действующим нормативным актам разборкой и извлечением содержащихся в элементах отслужившего электронного оборудования ртутьсодержащих ламп должны заниматься квалифицированные специалисты лицензированных организаций в приспособленных для этого производственных помещениях, максимально приближенных к установке для переработки ламп.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задача человека заключается в том, чтобы не подрывать естественные основы своего существования, не мешать прогрессивным процессам в биосфере, растрачивая на это все возрастающее количество энергии, а постараться разобраться в законах и правилах, движущих этими процессами, и согласовать с ними свои цели и действия. Достигнуть этого непросто как из-за высокой сложности биосферных связей, которые необходимо постоянно изучать и учитывать, так и в связи с неподготовленностью значительной части российского населения к переходу от психологии покорителя природы к психологии ее благодарных детей и союзников.

В представленном обзоре сделана попытка обобщения теоретических, методических и практических сведений об основных видах загрязнения окружающей среды городов России.

Приведены характеристики типовых инженерных решений и новейших технологий, тенденций, оборудования, способных существенно повлиять на оздоровление окружающей среды.

Большая часть обзора посвящена твердым бытовым и промышленным отходам. Это наиболее мощные и опасные загрязнители природы России. Представленные структуры, состав этих загрязнителей, оборудование и технологии для борьбы с ними помогут специалистам более четко и ясно ориентироваться в громадном информационном потоке, нередко тенденциозном и непрофессиональном. По ряду вопросов сформулирована точка зрения, отличная (или широко не распространенная) от существующих в нашем обществе взглядов. Авторы посчитали это возможным исходя из своего многолетнего практического опыта («Практика – критерий истины!»).

Надеемся, что представленный обзор будет полезен широкому кругу читателей, изучающих экологию и работающих в этой непростой области нашей жизни.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Н. Ф. Отходы мегаполиса: морфологический и фракционный состав / Н. Ф. Абрамов, С. В. Архипов, М. В. Карелин, Я. А. Жилинская // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 9. – С. 42–45.
2. Адамович Б. А. Новая технология уничтожения медицинских отходов / Б. А. Адамович, А.-Г. Б. Дербичев, В. И. Дудов // Экология и промышленность России. – 2005. – Март. – С. 10–13.
3. Арсентьев В. А. Переработка отходов: использование ресурсного потенциала / В. А. Арсентьев, Н. В. Михайлова // Твердые бытовые отходы. – 2007. – № 8. – С. 60–63.
4. Багрянцев Г. И. Огневое обезвреживание отходов химических производств / Г. И. Багрянцев, В. Г. Леонтьевский, В. Е. Черников // Энергосбережение в химических производствах : сб. науч. трудов. – Новосибирск : Ин-т теплофизики СО РАН, 1986. – С. 69–81.
5. Багрянцев Г. И. Состав и физико-химические свойства промышленных отходов / Г. И. Багрянцев, О. Н. Душкина // Инновации в системе управления и переработки промышленных отходов : материалы междунар. конгр. (г. Новосибирск, 23–25 сент. 2010 г.) – Новосибирск, 2010. – С. 17–21.
6. Багрянцев Г. И. Термическое обезвреживание и переработка промышленных отходов и бытового мусора / Г. И. Багрянцев, В. М. Малахов, В. Е. Черников // Экология и промышленность России. – 2001. – Март. – С. 35–39.
7. Бернадинер И. М. Концепция термического обезвреживания медицинских отходов в Москве // Экология и промышленность России. – 2004. – Авг. – С. 24–28.
8. Бернадинер М. Н. Концепция термического обезвреживания твердых бытовых отходов в Республике Кипр / М. Н. Бернадинер, А. Г. Гриценко // Экология и промышленность России. – 2005. – Февр. – С. 42–45.
9. Бернадинер М. Н. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов / М. Н. Бернадинер, А. П. Шурыгин. – М. : Химия, 1990. – С. 230.
10. Бернадинер М. Н. Огневое обезвреживание супертоксикантов / М. Н. Бернадинер, И. М. Бернадинер // Экология и промышленность России. – 2004. – Июнь. – С. 12–13.
11. Бессер А. Д. Переработка свинцово-кислотных аккумуляторных батарей // Твердые бытовые отходы. – 2008. – № 2. – С. 22–25.
12. Билитевски Б. Сжигание отходов: опыт Германии / Б. Билитевски, М. Ширмер // Твердые бытовые отходы. – 2007. – № 1. – С. 47–49.
13. Битюкова В. Р. Динамика отраслевой структуры промышленного загрязнения современной России // Экология и промышленность России. – 2007. – Ноябрь. – С. 4–10.

14. Боравская Т. В. Наилучшие доступные технологии в области сжигания отходов: европейский подход // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 3. – С. 69–72; № 4. – С. 60–64.
15. Боравский Б. В. Изношенные автопокрышки: методы переработки // Твердые бытовые отходы. – 2007. – № 4. – С. 4–5.
16. Вирлич Е. М. Швеция: сбережение ресурсов – основной принцип утилизации отходов // Твердые бытовые отходы. – 2010. – № 6. – С. 60–61.
17. Галиев И. С. Установка пиролиза резинотехнических изделий / И. С. Галиев, Т. М. Магсумов, А. Ф. Дрегалин // Экология и промышленность России. – 2010. – Февр. – С. 13–15.
18. Гудим Ю. А. Безотходная технология высокотемпературной утилизации несортированных твердых коммунальных отходов / Ю. А. Гудим, А. А. Голубев // Экология и промышленность России. – 2009. – Февр. – С. 4–7.
19. Дюдин Ю. К. Как ликвидировать свалки и полигоны в Подмосковье за 10 лет / Ю. К. Дюбин, С. И. Капитонов // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 3. – С. 21–24.
20. Знамеровский В. Ю. Проблема отходов в России – пути решения // Экология и промышленность России. – 2007. – Апр. – С. 32–35.
21. Зубков В. М. Переработка изношенных автошин / В. М. Зубков, Ю. М. Штейнберг // Экология и промышленность России. – 2000. – Февр. – С. 37–39.
22. Иванов В. В. Состояние и перспективы термического обезвреживания промышленных отходов Московского региона / В. В. Иванов, М. Н. Бернадинер // Чистый город. – 1999. – № 2 (6). – С. 17–21.
23. Интегрированная система CX. – URL: [http://www.engitec.com/PDF/CX\\_RUSSIAN.pdf](http://www.engitec.com/PDF/CX_RUSSIAN.pdf)
24. Использование отработанных автомобильных покрышек / Е. П. Волюнкина, С. А. Кудашкина, А. В. Незамаев, Н. В. Журавлева // Экология и промышленность России. – 2001. – Янв. – С. 43–45.
25. Кабанова Т. С. Экологические проблемы термической переработки твердых бытовых отходов / Т. С. Кабанова, В. А. Зайцев, Г. А. Ягодин // Экология и промышленность России. – 2010. – Февр. – С. 47–49.
26. Как в Германии решают проблему утилизации бытовых отходов / Л. И. Соколов, С. М. Кибардина, С. Фламме, П. Хазенкамп // Экология и промышленность России. – 2009. – Апр. – С. 38–41.
27. Комплексные районные тепловые станции : концепция / В. Е. Накоряков [и др.]. – Новосибирск : Ин-т теплофизики СО РАН, 1996. – С. 12.
28. Корюков М. А. Завод по переработке нерассортированных твердых бытовых отходов / М. А. Корюков, А. В. Мельников // Экология и промышленность России. – 2004. – Окт. – С. 12–14.
29. Кофман Д. И. Экологические проблемы переработки отходов / Д. И. Кофман, М. М. Востриков // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 1. – С. 31–32.
30. Кривошеин В. Г. Оценка энергетического потенциала ТБО на примере г. Перми // Экология и промышленность России. – 2009. – Янв. – С. 45–47.
31. Лебедев В. Н. «Все на сбор макулатуры» – лозунг эпохи // Твердые бытовые отходы. – 2007. – № 6. – С. 4–6.
32. Лускин Г. Г. Рециклинг шин: технологии и оборудование // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 2. – С. 26–27.
33. Матсуто Т. Япония: методы управления твердыми отходами // Твердые бытовые отходы. – 2007. – № 5. – С. 72–76.

34. Меликов С. В. Энергопредприятие UPPSALA: шведский опыт // Твердые бытовые отходы. – 2010. – № 5. – С. 58–62.
35. Михайлова Н. В. Термическое обезвреживание отходов // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 3. – С. 14–20.
36. НПП ИРИСМАШ – Линия по разделке аккумуляторных батарей КРАБ. – URL: <http://nppiris.ru/ru/oborudovanie/krab/>
37. Обращение с отходами мусоросжигания в Европе / Т. Ван Гервен [и др.] // Твердые бытовые отходы. – 2007. – № 2. – С. 40–50.
38. Очистка и обезвреживание дымовых газов из установок, сжигающих отходы и мусор : сб. науч.-техн. работ. – Новосибирск : Ин-т теплофизики СО РАН, 1999. – С. 238.
39. Падалко О. В. Высокотемпературная газификация отходов // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 3. – С. 25–31.
40. Плазмотермическая переработка твердых отходов / В. П. Лукашов, С. П. Ващенко, Г. И. Багрянцев, Х. С. Пак // Экология и промышленность России. – 2005. – Ноябрь. – С. 4–9.
41. Системный подход к организации полигонов размещения твердых бытовых отходов в отработанных карьерах / Н. Н. Ендураева, Д. Е. Быков, К. Л. Чертес, Н. А. Гарнец // Экология и промышленность России. – 2007. – Февр. – С. 34–37.
42. Проблемы переработки и обезвреживания твердых бытовых и горючих промышленных отходов в городах Сибири / Г. И. Багрянцев [и др.] // Архитектура и строительство Сибири. – 2004. – № 1/2. – С. 32–35.
43. Рихванов Л. П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск, 1997. – 383 с.
44. Сандквист Я. Сжигание отходов: плюсы и минусы / Я. Сандквист, Р. Ванкевич // Твердые бытовые отходы. – 2007. – № 2. – С. 51–52.
45. Свиточ Н. А. Лавина электронного мусора – проблема XXI века // Твердые бытовые отходы. – 2008. – № 2. – С. 8–13.
46. Сжигание отходов в шлаковом расплаве / В. М. Парецкий [и др.] // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 9. – С. 34–39.
47. Систер В. Г. Выбор технологий обезвреживания отходов с учетом их состава и свойств / В. Г. Систер, А. Н. Мирный // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 1. – С. 16–21.
48. Сокращение эмиссии метана : докл. II Междунар. конф. (г. Новосибирск, 18–23 июня 2000г.). – Новосибирск : СО РАН, 2000. – 672 с.
49. Соломин И. А. Выбор оптимальной технологии переработки ТБО / И. А. Соломин, В. Н. Башкин // Экология и промышленность России. – 2005. – Сент. – С. 42–45.
50. Термическая переработка – радикальный способ обезвреживания отходов / С. В. Алексеев [и др.] // Инновационные технологии – 2001 : материалы междунар. науч. семинара (г. Красноярск, 20–22 июня 2001 г.). – Красноярск : Краснояр. гос. ун-т, 2001. – Т. 2. – С. 117–122.
51. Тимошин В. Н. Электронный лом – потенциальный источник ртутных загрязнений / В. Н. Тимошин, С. И. Яковлев, А. В. Кочуров // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 7. – С. 34–37.
52. Тугов А. Н. Европейский опыт решения проблемы отходов в мегаполисах / А. Н. Тугов, В. Ф. Москвичев, Л. Г. Федоров // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 7. – С. 42–48.

53. Тугов А. Н. Отечественные теплоэлектростанции на ТБО. Опыт освоения и пути развития / А. Н. Тугов, В. Ф. Москвичев, А. Н. Смирнов // Экология и промышленность России. – 2009. – Март. – С. 4–7.
54. Тюленев М. А. Переработка покрышек: достоинства и недостатки // Твердые бытовые отходы. – 2007. – № 4. – С. 42–48.
55. Уланова О. В. Развитие «мусорной» отрасли в Европе // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 10. – С. 52–59.
56. Уланова О. В. Управление твердыми бытовыми отходами : европейский опыт : учеб. пособие. – 2009. – Ч. 1. – 136 с.
57. Феоктистов А. Ю. Альтернативное топливо из коммунальных отходов // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 3. – С. 40–45.
58. Чекушина Е. В. Мониторинг свалок и полигонов / Е. В. Чекушина, А. А. Каминская // Твердые бытовые отходы. – 2006. – № 11. – С. 10–11.
59. Чернова Л. Н. Уфимская городская свалка как источник диоксинов / Л. Н. Чернова, Ф. Ф. Хизбуллин, Х. Н. Зайнуллин // Промышленные и бытовые отходы. Проблемы и решения : материалы конф. (г. Уфа, 12–16 нояб. 1996 г.). – Уфа, 1996. – Ч. 1. – С. 66–68.
60. Штойк С. Г. Утилизация отработавших аккумуляторных батарей: практика работы // Экология и промышленность России. – 2008. – Апр. – С. 18–22.
61. Энерготехнологические процессы и аппараты химических производств : сб. науч. работ / Г. И. Багрянцев, Р. В. Котлярова, Л. П. Рябов, В. Е. Черников. – Новосибирск : Ин-т теплофизики СО РАН, 1989. – С. 17–22.
62. Юдин А. Г. Условия образования и полной деструкции диоксинов и фуранов при сжигании галогенсодержащих отходов / А. Г. Юдин, Л. А. Шульц // Экология и промышленность России. – 2009. – Сент.–окт. – С. 33–37, 50–53.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Малахов Виктор Михайлович — кандидат технических наук, академик Российской экологической академии, доцент кафедры экологии и природопользования СГГА (г. Новосибирск),  
тел. (383) 413-07-84,  
e-mail: malahov.m2012@yandex.ru
- Гриценко Анатолий Георгиевич — кандидат географических наук, профессор кафедры экологии и природопользования СГГА (г. Новосибирск)  
e-mail: gricenko54@gmail.com
- Дружинин Сергей Вячеславович — генеральный директор ООО «Спецремонт» (г. Новокузнецк)  
тел. (384) 377-72-16

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                  | 3   |
| 1. ТВЕРДЫЕ БЫТОВЫЕ ОТХОДЫ .....                                                                 | 5   |
| 1.1. История возникновения и развития «мусорного» кризиса.....                                  | 6   |
| 1.1.1. Зарождение городской гигиены в античной Европе .....                                     | 6   |
| 1.1.2. Антисанитария в эпоху средневековья (Европа X–XVI вв.) .....                             | 7   |
| 1.1.3. Раннее индустриальное общество (Европа XVII–XVIII вв.) ...                               | 11  |
| 1.1.4. Индустриальное общество (Европа XIX в.).....                                             | 11  |
| 1.1.5. Индустриальное общество (Европа первой половины XX в.).                                  | 14  |
| 1.1.6. Постиндустриальное общество<br>(Европа второй половины XX в.).....                       | 19  |
| 1.1.7. Современный этап постиндустриального общества<br>(Европа, конец XX – начало XXI в.)..... | 24  |
| 1.2. Современные системы управления ТБО .....                                                   | 28  |
| 1.3. Состав и свойства ТБО крупных городов России.....                                          | 33  |
| 1.4. Термический метод обезвреживания ТБО.<br>Мусоросжигательные заводы .....                   | 41  |
| 2. МЕДИЦИНСКИЕ ОТХОДЫ .....                                                                     | 70  |
| 3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОТХОДЫ .....                                                                    | 76  |
| 3.1. Отработанные автопокрышки .....                                                            | 91  |
| 3.1.1. Способы переработки изношенных автопокрышек .....                                        | 92  |
| 3.2. Отработанные аккумуляторные батареи.....                                                   | 107 |
| 3.3. Электронный скрап .....                                                                    | 111 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                | 120 |
| ЛИТЕРАТУРА .....                                                                                | 121 |
| СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ .....                                                                       | 125 |

Малахов Виктор Михайлович  
Гриценко Анатолий Георгиевич  
Дружинин Сергей Вячеславович

ГОРОДСКИЕ ОТХОДЫ В РОССИИ:  
СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПУТИ РЕШЕНИЯ

Аналитический обзор

Компьютерная верстка выполнена Т.А. Калужной

Лицензия ИД № 04108 от 27.02.01

Подписано в печать 15.03.2012. Формат 60×84/16.  
Бумага писчая. Гарнитура Times. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 7,9. Уч.-изд. л. 7,0. Тираж 200 экз.  
Заказ № 95.

ГПНТБ СО РАН. Новосибирск, ул. Восход, 15, комн. 407, ЛИСА.  
Полиграфический участок ГПНТБ СО РАН. 630200, Новосибирск,  
ул. Восход, 15.