Министерство образования Омской области

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г. К. Борескова
Сибирского отделения Российской академии наук»

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Омский государственный технический университет»

Нефтехимический институт ОмГТУ

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Материалы
10-й Международной научно-технической конференции
(Россия, Омск, 26–29 февраля 2020 года)

При поддержке генерального спонсора – АО «Газпромнефть – ОНПЗ»

Омск
Издательство ОмГТУ
2020

УДК 66
ББК 35.11
Т38

Редакционная коллегия:
В. А. Лихолобов – чл.-кор. РАН, профессор, д.х.н.;
А. В. Мышлявцев – профессор, д.х.н.;
В. Л. Юша – профессор, д.т.н.;
А. С. Белый – профессор, д.х.н.;
Е. Н. Еремин – профессор, д.т.н.;
Л. Г. Варепо – профессор, д.т.н.;
А. С. Фисюк – профессор, д.х.н.;
С. Н. Литунов – профессор, д.т.н.;
В. С. Сердюк – профессор, д.т.н.;
Л. О. Штриплинг – профессор, д.т.н.

Т38 **Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства** : материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф. (Россия, Омск, 26–29 февр. 2020 г.) / М-во образования Ом. обл. [и др.] ; [редкол.: В. А. Лихолобов и др.]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2020. – 372 с. : ил.

ISBN 978-5-8149-2977-8

Рассмотрены актуальные вопросы нефтехимического, нефтегазового производств и смежных с ними тем.

Издание адресовано широкому кругу читателей – ученым, представителям организаций, студентам высших учебных заведений, учащимся старших классов школ, а также всем, кого интересуют проблемы развития нефтегазовой и нефтехимической промышленности.

УДК 66
ББК 35.11

ISBN 978-5-8149-2977-8 © ОмГТУ, 2020

ОРГАНИЗИЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ
Лихолобов Владимир Александрович – д.х.н., член.-корр. РАН;

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ
Юша Владимир Леонидович – д.т.н., профессор;

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Мышлявцев Александр Владимирович – д.х.н., профессор.

Научный комитет конференции

Лихолобов В. А. – чл.-корр. РАН, профессор, д.х.н.

Мышлявцев А. В. – профессор, д.х.н.

Юша В. Л. – профессор, д.т.н.

Косых А. В. – профессор, д.т.н.

Бухтияров В. И. – академик РАН, профессор, д.х.н., директор ФГБУН «Федеральный Исследовательский центр «Институт катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук»

Шайтан О. Б. – заместитель генерального директора АО «Газпромнефть-ОНПЗ»

Лавренов А. В. – д.х.н., директор Центра новых химических технологий ИК СО РАН

Ковачевич А. – профессор, Центр компрессорных технологий Лондонского городского университета, Великобритания

Бараненко А. В. – профессор, д.т.н., председатель Международной академии холода, ИТМО (СПб)

Бондаренко В. И. – профессор, д.х.н., зав. кафедрой Э-4 МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва)

Демихов К. Е. – профессор, д.т.н., зав. кафедрой Э-5 МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва)

Белый А. С. – профессор, д.х.н.

Болотов В. В. – профессор, д.ф.-м.н.

Фисюк А. С. – профессор, д.х.н.

Цой А. П. – к.т.н., председатель представительства Международной Академии Холода в Казахстане

Бурюкин Ф. А. – к.х.н., доцент, директор ИНиГ СФУ

Потапов Ю. А. – доцент, к.т.н., Главный специалист Департамента по развитию и новым технологиям АО «ГК «Титан»

Варепо Л. Г., профессор, д.т.н.

Еремин Е. Н. – профессор, д.т.н.

Литунов С. Н. – профессор, д.т.н.

Сердюк В. С. – профессор, д.т.н.

Штриплинг Л. О. – профессор, д.т.н.

Женатов Б. Д. – доцент, к.т.н.

Фефелов В. Ф. – к.х.н.

Карагусов В. И. – профессор, д.т.н.

Рабочая группа:

Акименко С. С. – к.х.н.
Ваняшов А. Д. – к.т.н.
Гаглоева А. Е. – к.т.н.
Ганиева Н. М.
Горбунов В. А. – к.х.н.
Кан В. Е. – к.ф.-м.н.
Капелюховская А. А.
Каюмова Т. Р.
Трапезникова О. В.
Утюганова В. В.
Фадеева А. И.
Федорова М. А. – к.ф.н.
Филиппов Ю. О. – к.т.н.
Чурилова И. Н. – к.филол.н.
Шляпин Д. А. – к.х.н.
Шубенкова Е. Г. – к.х.н.

Секция 1

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 662.7

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНВЕРСИИ УГЛЕРОДА ВОДЯНЫМ ПАРОМ

Мракин А. Н.[1], Селиванов А. А.[1], Пащенко Д. И.[2], Минервина Т. В.[2], Батраков П. А.[3], Ермолаев Д. В.[4]

[1] *Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., Россия, Саратов, ул. Политехническая, 77*

[2] *Самарский государственный технический университет, Россия, Самара, ул. Молодогвардейская, 244*

[3] *Омский государственный технический университет, Россия, Омск, пр. Мира, 11*

[4] *Институт энергетики и перспективных технологий ФИЦ КазНЦ РАН, Россия, Казань, ул. Лобачевского, 2/31*

РФ обладает более 20% мировых запасов углей [1], что обуславливает высокую долю угольных технологий в промышленности. Современные представления в области использования твердого топлива в основном сводятся к процессам термохимической конверсии различными методами, а затем уже использование чистого газового энергоносителя. При этом с ростом глубины переработки нефти на НПЗ образуется все большее количество высоковязких и твердых углеводородов, которые необходимо использовать для получения ценных видов продукции.

В работе выполнено расчетное исследование установки, в которой газовзвесь углерода в водяном паре подвергается нагреванию и происходит образование синтез-газа. Источником тепловой энергии могут служить отходящие дымовые газы высокотемпературных теплотехнологических установок, металлургических процессов, газоохлаждаемые атомные реакторы и пр. При этом наиболее эффективным, технологически простым и дешевым способом является нагревание газовзвести в режиме косвенного обогрева.

Методами химической термодинамики с привлечением современных программ компьютерного моделирования возможно выполнить оценку физико-химических параметров продуктов реакции. В качестве допущения принимаем, что основная часть органической массы твердого топлива (угля, остатков нефтепереработки и др.) представлена углеродом. Таким образом, при рассмотрении процесса взаимодействия углерода топлива с водяным паром могут протекать реакции, термодинамические параметры которых представлены в [2]. В результате протекания реакция образуется газовая фаза, состоящая из CO, CO_2, H_2 и H_2O.

В расчетах принято: температура исходного углерода 20 ^oC, пара – 100 ^oC, давлении в реакторе – атмосферное, базовый расход пара 1 моль/ч, $h_п = 2675$ кДж/кг. Расчетами установлено, что с повышением температуры объемная доля водорода имеет тенденцию к снижению, однако вместе с этим расчет вклад вторичных процессов в образование оксида углерода. Выполненные расчеты весьма хорошо согласуются с данными [3] – расхождение ±0,5 абс. % и работой [4] – расхождение ±0,4 абс. %.

Анализ полученных составов образующихся продуктов паровой конверсии углерода с внешним обогревом позволяет отметить, что при мольном соотношении вида $\beta = M_C/M_{H2O} = 0{,}25$ мольное соотношение H_2/CO превышает 2, что позволяет использовать продукты реакции как сырье для получения метанола, 1,4-бутандиола, продуктов оксинтеза. Для $\beta = 0{,}50$ и $\beta = 0{,}75$ аналогичная картина наблюдается только до 627–827 ^oC, а в диапазоне более высоких температур продукты пригодны для получения метилметакрилата и диметилового эфира. В зависимости от направления использования продуктов реакции можно подобрать рациональные режимные параметры, обеспечивающие достижение заданных составов газовой фазы.

Установлено, что теплота сгорания продуктов паровой конверсии углерода и их низшая теплота сгорания практически не зависят от температуры, а определяются показателем β. При этом видно, что при увеличении β в два раза с 0,25 до 0,50 низшая теплота сгорания продуктов реакции возрастает на 68% по сравнению с 4322 кДж/м^3, а при постоянном значении β рост температуры с 500 К до 1000 К или с 1000 К до 1500 К приводит к увеличению низшей теплоты сгорания в среднем на 2,2–2,7%.

Показано, что затраты теплоты на эндотермический эффект при ведении процесса паровой конверсии углерода можно рассматривать как составляющую теплотворной способности горючих газов или физическую теплоту, переходящую в продукты конверсии. При этом значения теплоты аллотермического процесса слабо зависят от β, а в большей степени от температуры синтез-газа.

Библиографический список

1. Dubinin A.M., Mavrin S.P. Transformation of coals into electricity and heat // Thermal Engineering. – 2014. – Vol. 61. – № 7. – P. 491–496.

2. Зборщик А.М. Конспект лекций по дисциплине «Теория металлургических процессов». – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2008. – 101 с.

3. Dubinin A.M., Cherepanova E.V., Obozhin O.A. Steam gasification of coals in an excess of water vapor // Solid Fuel Chemistry. – 2015. – Vol. 49. – № 2. – P. 87–90.

4. Кузнецов Ю.С., Качурина О.И. Равновесие водяного газа с углеродом // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. – 2015. – Т. 15. – № 4. – С. 30–41.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта №19-19-00327.

УДК 66-5, 54.03

К ВОПРОСУ О СТАБИЛИЗАЦИИ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛОННЫ РЕКТИФИКАЦИИ БУТАДИЕНА – СЫРЦА ОТ ВЫСОКОКИПЯЩИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПУСКОВЫЕ ПЕРИОДЫ УСТАНОВКИ ВЫДЕЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ БУТАДИЕНА – 1,3

Сутягинский М. А., Потапов Ю. А., Дубок В. Н., Суворов А. П.

Акционерное общество «Группа компаний «Титан» (Россия, г. Омск, пр. Губкина, 22)

Интенсивность протекания массообменных процессов в ректификационной колонне зависит от гидродинамического режима, потоков веществ в технологических аппаратах, а также от тепло- и массообмена между этими потоками.

Основными технологическими параметрами, характеризующими режимы работы, являются: давление и температурный режим в различных сечениях колонны; расходы сырьевых и продуктовых потоков; уровни жидкостей в аппаратах и ёмкостях.

Режимные параметры, особенно в пусковые периоды установок, могут изменяться в более или менее широких пределах, отклоняясь от нормального технологического режима. Их восстановление до требуемых значений, как правило, осуществляется автоматизированной системой регулирования.

Основными регулируемыми технологическими величинами являются составы дистиллята или кубового остатка. На чистоту этих целевых продуктов оказывает влияние ряд возмущающих воздействий процесса – состав, параметры тепло- и хладоносителей, давление в колонне и другие величины.

Основные управляющие воздействия – расходы флегмы в колонну и теплоносителя в кипятильник, причём изменение расхода флегмы относительно быстро приводит к изменению состава дистиллята и в значительно меньшей степени – к изменению состава кубового остатка [1].

Отмечается, что массообменные процессы, происходящие в теплообменных аппаратах, обладают большой инерционностью. В связи с этим эффект воздействия управления проявляется только через временной интервал, т.е. с запаздыванием.

Внесение изменений в систему, даже в случае значительного улучшения показателей работы отдельного аппарата, может привести к неожиданным последствиям вплоть до нарушения работоспособности системы в целом.

В докладе проводится подробный анализ гидродинамических нестационарных процессов, возникающих в системах управления работой ректификационной установки.

На примере установки ректификации бутадиена-сырца, авторы раскрывают причины возникновения колебаний давления и расхода хладоносителя (рис. 1) в гидравлической системе управления охлаждением паров бутадиена, отбираемых с верха колонны в конденсаторе после замены стандартного кожухотрубного на современный вихревой теплообменник с псевдокапельной конденсацией [2]. Период колебаний составлял от 1 до 2 часов (частота колебаний от $2{,}8 \times 10^{-4}$ до $1{,}4 \times 10^{-4}$ Гц).

Рис. 1. График изменения давления нагнетания в сети хладоносителя

При этом колебания подачи и напора насоса, авторы связывают со сменой режима теплообмена и появлением таких нестационарных процессов в гидросистеме как кавитация, помпаж и наложение волн давления [3]. Отмечают, что они были настолько высоки, что привели к резонансу ротора центробежного насоса по форме крутильных колебаний и как следствие, к разрушению вала в месте крепления рабочего колеса.

В докладе рассматриваются различные способы стабилизации процесса конденсации паров с вихревым конденсатором и даются рекомендации установки в схеме питающего насоса байпасной линии.

Библиографический список

1. Каменских И.А., Ведерников В.А., Овчинникова В.А. Процессы и аппараты нефтяной и газовой промышленности: учебное пособие. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2002. − 193 с.

2. Ляндзберг А.Р., Латкин А.С. Вихревые теплообменники и конденсация в закрученном потоке. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2004. – 149 с.

3. Пилипенко В.В., Задонцев В.А., Натанзон М.С. Кавитационные автоколебания и динамика гидросистем. – М.: Машиностроение, 1977. – 352 с.

УДК 546.05

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОРИСТОГО УГЛЕРОДА, ПОЛУЧЕННОГО ТЕМПЛАТНЫМ СИНТЕЗОМ

Горбунова О. В., Бакланова О. Н., Гуляева Т. И., Тренихин М. В.

Центр новых химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (Омский филиал), Россия, г. Омск, ул. Нефтезаводская, 54

Перечень процессов с применением углеродных материалов ежегодно расширяется. Для каждого нового процесса, как правило, разрабатывается углерод со специально подобранной морфологией, пористой структурой, формой и размером гранул. Одним из перспективных направлений получения материалов, с заранее заданными характеристиками, является темплат-синтез углерода в пористом пространстве минеральных матриц. В качестве исходных минеральных матриц обычно используют: кремнеземные материалы, глины, цеолиты.

В данной работе продемонстрирована возможность использования микропористых и мезопористых кремнеземов и фурфурилового спирта (ФС) в качестве углеродного предшественника в темплатном синтезе пористых углеродных материалов с регулируемыми текстурными характеристиками. Показана взаимосвязь между текстурными характеристиками исходного кремнеземного материала и пористых углеродов, синтезированных данным методом.

Углеродные образцы готовили вакуумной пропиткой ФС соответствующих прокаленных кремнеземных материалов. После пропитки проводилась полимеризация ФС и карбонизация при 800 ^{o}C в течение 2 ч. Углеродные материалы получали путём полного или частичного удаления кремнеземной матрицы кипячением в 2М водно-спиртовом растворе гидроксида натрия.

На рисунке 1 представлена изотерма адсорбции-десорбции азота при 77К для пористого углерода (Углерод-1), полученного темплатным синтезом в порах прокаленного мезопористого кремнезема ($A_{БЭТ}$ = 120 м^2/г, V_{Σ} = 0,38 см^3/г). Пористая структура Углерод-1 во многом повторяет исходный кремнезем. Синтезированный Углерод-1 обладает следующими текстурными характеристиками: $A_{БЭТ}$ = 648 м^2/г, V_{Σ} = 1см^3/г, $V_{микро}$ = 0,17 см^3/г.

Согласно данным метода просвечивающей электронной микроскопии, полученный углеродный материал имеет ячеистую структуру, представленную сферическими пустотами со средним размером 8–10 нм (рисунок 2).

Углеродная реплика отражает структуру исходного кремнеземного образца, сферические поры формируются в результате растворения частиц кремнеземного материала. Полученный материал (Углерод-1) можно отнести к относительно новому классу мезоячеистых углеродных материалов.

Также был исследован углеродный образец (Углерод-2), синтезированный в порах прокаленного микропористого кремнезема ($A_{БЭТ}$ = 657 м^2/г, V_{Σ} = 0,28 см^3/г, $V_{микро}$ = 0,26 см^3/г). Текстурные характеристики Углерод-2 ($A_{БЭТ}$ = 555 м^2/г, V_{Σ} = 0,26 см^3/г, $V_{микро}$ = 0,22 см^3/г) повторяют характеристики исходного кремнезема.

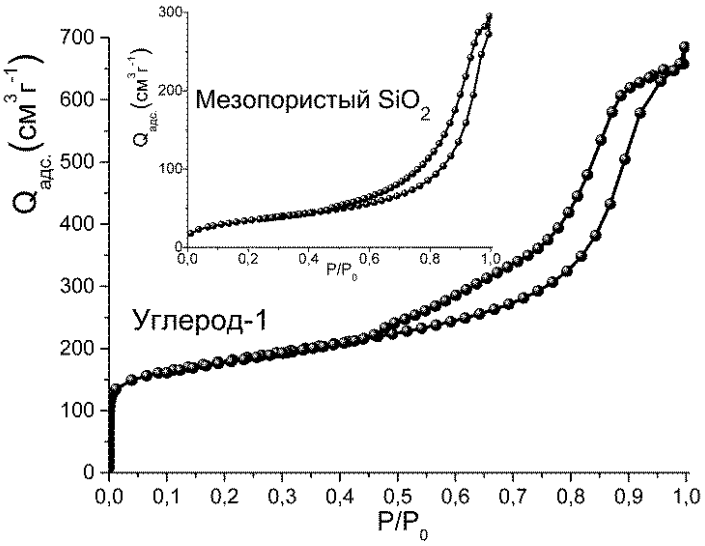


Рис. 1. Изотермы адсорбции-десорбции N_2 при 77 К

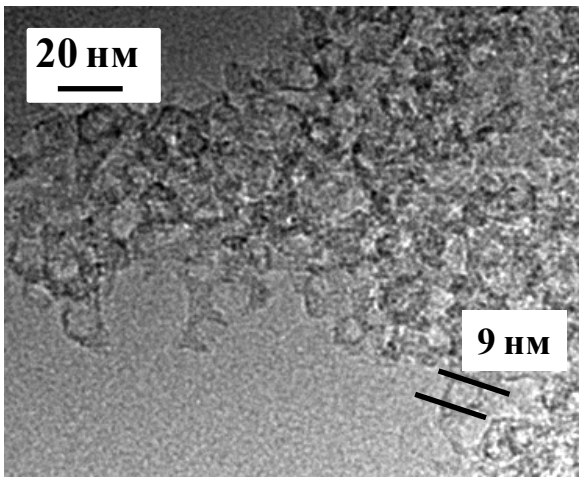


Рис. 2. Электронно-микроскопический снимок: Углерод-1

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦНХТ ИК СО РАН в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы по направлению V.45.2.8 (номер госрегистрации в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА-А19-119050790074-9).

УДК 544.478

СЛОИСТЫЕ ДВОЙНЫЕ ГИДРОКСИДЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ, КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ АЛЬДОЛЬНО-КРОТОНОВОЙ КОНДЕНСАЦИИ ФУРФУРОЛА С КЕТОНАМИ

Мироненко Р. М.[1,2], Степанова Л. Н.[1,2], Кузнецова М. К.[2], Бельская О. Б.[1,3]

[1] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Россия, г. Омск, ул. Нефтезаводская, 54*
[2] *Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, Россия, г. Омск, пр. Мира, 55а*
[3] *Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11*

В последнее время большой интерес вызывают различные процессы вовлечения фурфурола, получаемого из возобновляемого растительного сырья, в синтезы широкого круга ценных химических продуктов. Одним из таких процессов является альдольно-кротоновая конденсация (АКК) фурфурола с кетонами, продукты которой

применяются в качестве ароматизаторов в пищевой промышленности, мономеров в производстве фурановых смол, в производстве пластмасс, как промежуточные звенья в синтезе биологически активных соединений и фармацевтических препаратов. Для проведения данной реакции используют основные катализаторы, как правило, растворы гидроксида натрия. Однако высокая коррозионная активность и возрастающие требования к экологичности новых технологий приводят к необходимости разработки и исследования гетерогенных систем, активных в указанной реакции. Наиболее перспективными соединениями, которые могут быть использованы как катализаторы АКК, являются слоистые двойные гидроксиды (СДГ). Традиционно СДГ получают соосаждением. Недостатки данного метода (многостадийность и наличие загрязнённых щёлочью промывных вод) обусловили поиск новых более совершенных методов синтеза СДГ. Среди них перспективным выглядит метод механохимического синтеза (МХС).

В настоящей работе MgAl-СДГ (Mg/Al = 4) и LiAl-СДГ (Li/Al = 0.5), полученные методом МХС, были исследованы в АКК фурфурола с ацетоном и метилэтилкетоном. Образцы катализаторов различались природой межслоевого аниона (карбонат- или гидроксид-анион) и условиями предобработки. Реакции проводили в водном растворе при температуре 70 °C при постоянном перемешивании в течение 2.5 ч. Во всех экспериментах отношение массы фурфурола и кетона к массе катализатора было одинаковым (около 55). Состав продуктов изучали методом газо-жидкостной хроматографии.

Установлено, что в АКК фурфурола с ацетоном наиболее высокие значения конверсии фурфурола наблюдаются для LiAl-СДГ. Но для них наблюдается меньший выход целевого 4-(2-фурил)-3-бутен-2-она за счет протекания реакции самоконденсации ацетона. В каждой из серий максимальные значения конверсии фурфурола достигаются для смешанных оксидов CO_3-550, полученных прокаливанием карбонатной формы СДГ (табл. 1). Для всех магнийсодержащих образцов селективность образования целевого продукта конденсации довольно высока и достигает 97%.

Таблица 1. Конверсия фурфурола (*X*) и селективность по 4-(2-фурил)-3-бутен-2-ону (*S*) в АКК фурфурола с ацетоном в присутствии MgAl- и LiAl-оксидных катализаторов

	MgAl-4				LiAl-0.5			
	CO_3	CO_3-550	OH	OH-550	CO_3	CO_3-550	OH	OH-550
X, %	33	99	27	93	<1	100	4	72
S, %	97	97	95	97	7	79	84	95

Установлено, что в АКК фурфурола с метилэтилкетоном образуются два основных продукта с высокой селективностью: 4-(2-фурил)-4-метил-3-бутен-2-он и 1-(2-фурил)-1-пентен-3-он (табл. 2). Наиболее высокая степень превращения фурфурола (68%) наблюдается для смешанного оксида OH-550 (прокаленная регидратированная форма).

Таблица 2. Конверсия фурфурола (*X*) и селективности по 1-(2-фурил)-1-пентен-3-ону (S_1) и 4-(2-фурил)-4-метил-3-бутен-2-ону (S_2) в АКК фурфурола с метилэтилкетоном в присутствии MgAl- и LiAl-оксидных катализаторов

	MgAl-4				LiAl-0.5			
	CO_3	CO_3-550	OH	OH-550	CO_3	CO_3-550	OH	OH-550
X, %	21	58	3	68	<1	10	<1	19
S_1, %	45	59	69	57	27	43	31	44
S_2, %	55	41	38	43	73	57	69	56

Таким образом, показано, что MgAl- и LiAl-оксидные системы, полученные методом МХС, являются эффективными (активными и селективными) катализаторами АКК фурфурола с ацетоном и метилэтилкетоном.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-33-00131 (АААА-А18-118121190006-4).

УДК 66.011

ВЛИЯНИЕ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ НА САМОСБОРКУ И ТЕРМИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ МЕТАЛЛОРГАНИЧЕСКОГО СЛОЯ ТЕРЕФТАЛЕВОЙ КИСЛОТЫ И ЖЕЛЕЗА НА ПОВЕРХНОСТИ CU(100)

Фадеева А. И., Горбунов В. А., Стишенко П. В.

ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (Россия, г. Омск, пр. Мира, 11)

Самосборка органических молекул и атомов металла на твердых поверхностях приводит к образованию так называемых поверхностных металлорганических слоев (ПМОС). Физико-химические свойства, которыми обладают такие слои, указывают на их потенциальную возможность применения в различных областях науки и техники [1].

Определяющую роль в самосборке металлорганического адсорбционного слоя на твердой поверхности играет тонкий баланс между взаимодействиями адсорбат–адсорбат и адсорбат–субстрат. На этот ключевой фактор самосборки оказывает большое влияние морфология самого субстрата. Структура реальных металлических поверхностей зачастую не является идеальной. Неоднородность поверхности проявляется в наличии различных дефектов (вакантные места, ступеньки, островки) и примесей, реконструкции поверхности. Такие дефекты могут значительно влиять на свойства поверхности, в том числе на адсорбционные, механические и пр. [2]. Это влияет на сам процесс самосборки, а, следовательно, и на структуру образующегося слоя и его характеристики.

Ранее нами была исследована решеточная модель адсорбционного слоя молекул терефталевой кислоты и железа на поверхности Cu(100) без дефектов [3]. В данной работе с помощью моделирования методом Монте-Карло в программе SuSMoST [4] мы исследовали влияние доли дефектов поверхности на термическую стабильность фаз, образующихся в адсорбционном слое ТРА–Fe/Cu(100).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-71-20053).

Библиографический список

1. L. Dong, Z. Gao, N. Lin, Self-assembly of metal-organic coordination structures on surfaces // Prog. Surf. Sci. – 2016. – № 91. – P. 101–135.

2. L. Vattuone, L. Savio, M. Rocca, Bridging the structure gap: Chemistry of nanostructured surfaces at well-defined defects // Surf. Sci. Rep. – 2008. – № 63. – P. 101–168.

3. A. I. Fadeeva, V. A. Gorbunov, P. V. Stishenko, A. V. Myshlyavtsev, Model of Fe-Terephthalate Ordering on Cu(100) // J. Phys. Chem. C. – 2019. – № 123. – P. 17265−17272.

4. Susmost: Surface science modeling and simulation toolkit, http://susmost.com.

УДК665.6/.7

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПРИ ПОПАДАНИИ ТОПЛИВА

Корнеев С. В.[1,2], Бакулина В. Д.[2], Ярмович Я. В.[2], Пашукевич С. В.[2], Пермяков В. Б.[1]

[1] *ФГБО ВО Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Россия, Омск 644050, пр. Мира, 5*
[2] *ФГБО ВО Омский государственный технический университет, Россия, Омск, пр. Мира, 11*

При эксплуатации автомобильной техники заложенный в нее технический потенциал, может быть реализован при использовании качественных смазочных материалов, которые способны обеспечить необходимые эксплуатационные свойства двигателей, заданные при производстве.

Современное двигателестроение развивается по направлениям: повышение удельной и абсолютной мощности; увеличение экологических и экономических показателей; обеспечение надежности при эксплуатации в реальных условиях [1].

Любая из этих задач находиться в тесной связи с вопросами использования моторных масел. В процессе работы моторные масла подвергаются различным воздействиям, что вызывает образование различных углеводородных соединений и, как следствие, приводит к загрязнению двигателей и нестабильной работе техники.

Таким образом, можно говорить о том, что для обеспечения стабильной работы двигателей автомобилей моторные масла, применяемые в них, должны соответствовать определенным технико-эксплуатационным свойствам.

Зачастую одной из причин изменения свойств моторных масел являются различные виды загрязнений, которые, попадая в масло, наносят вред смазываемым парам трения [2]. Одним из распространенных загрязнителей является топливо, которое попадает в масло, главным образом, из камеры сгорания в картер двигателя при неисправностях топливной системы или цилиндропоршневой группы [3]. Таким образом, исследование изменений качества моторных масел в присутствии топливных углеводородных фракций может послужить толчком к разработке рекомендаций по диагностированию двигателей внутреннего сгорания и увеличению их ресурса в различных условиях эксплуатации.

Целью исследования является оценка сроков работоспособности моторных масел, загрязненных различными концентрациями дизельного топлива на основе изучения влияния высоких температур на эксплуатационные характеристики загрязненных моторных масел.

Для проведения исследования были выбраны масла компании EKOIL: EKOIL TURBO MAX SAE 10W40 API CH-4/SL – полусинтетическое и EKOIL TURBO MAX Plus SAE 5W-40 API CI-4/SL – синтетическое. Загрязнителем было выбрано топливо дизельное летнее гидроочищенное с содержанием серы до 10ppm.

Исследование проводилось методом высокотемпературного окисления. Сущность данного метода заключается в окислении заранее подготовленных проб свежего масла с добавлением различных концентраций дизельного топлива с целью физического моделирования работы масла в системе смазки двигателя внутреннего сгорания. Окисление моторного масла проводится в присутствии катализаторов – меди и железа, при температуре 200 ^{0}C в течение 3 часов.

Из исследованных эксплуатационных характеристик наиболее заметно изменение кислотного и щелочного чисел. И если в случае загрязнения топливом и воздействия высоких температур на синтетическое масло щелочное число уменьшается на 34% от заявленного производителем, то у полусинтетического на 60%.

Снижение температуры вспышки в открытом тигле до значения на 7% меньше допустимого у полусинтетического моторного масла происходит уже при попадании 0,2% дизельного топлива, тогда как у синтетического даже при разбавлении 3,3% топлива этот показатель находится в допустимых пределах.

Таким образом, можно говорить о том, что моторное масло с полусинтетической базовой основой наиболее подвержено изменениям при воздействии высоких температур и попадании топлива.

Библиографический список

1. Свистула А.Е. Двигатели внутреннего сгорания: учебное пособие / А.Е. Свистула; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. – 81 с.

2. Фитч Дж., Тройер Д. Анализ масел. Основы и применение / пер. с англ. 2-го изд.; под ред. Е.А. Новикова, М.В. Кирюхина. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2015. – 176 с., ил.

3. Проблема загрязнения деталей двигателей / С.В. Корнеев, В.Д. Бакулина, Р.В. Буравкин, В.И. Гурдин / ВестникСибАДИ, вып. 1 (53), 2017. – С. 67–72.

УДК 665.753.4

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С ЦЕТАНОПОВЫШАЮЩЕ ПРИСАДКОЙ

Бердникова А. А.[1], Майлин М. В.[1], Франщина Е. В.[1]

[1] *НИТПУ, Россия, Томск, Ленина, 30*

К дизельным топливам (ДТ), соответствующим современным стандартам, предъявляются особые требования по показателю воспламеняемости топлива – цетановому числу (ЦЧ). ЦЧ ДТ не является аддитивной величиной, поскольку ЦЧ смеси углеводородов (УВ) не равно сумме ЦЧ индивидуальных УВ с учетом их массовых долей [1]. В процессе компаундирования между УВ дизельных топлив и присадками возникают межмолекулярные взаимодействия (МВ), что является причиной отклонения от аддитивности [2].

Целью данной работы являлась количественная оценка МВ. Для этого были рассмотрены энергетические и термодинамические свойства групп УВ (парафинов, нафталин производных, циклогексан и бензол производных с суммарным числом атомов углерода от C_{10} до C_{25}) и комплексов УВ-присадка.

Молекулы, радикалы, комплексы «углеводород-присадка» создавались в программном комплексе GaussView5.0.8. Исследование проводилось с помощью программного продукта Gaussian’09 [3].

В качестве цетаноповышающей присадки (ЦПП) использовали изопропилнитрат (ИПН). Механизм действия ЦПП приведен ниже.

$$C_3H_7ONO_2 = C_3H_7O\cdot + \cdot NO_2 \quad (1)$$

$$C_xH_y + C_3H_7O\cdot = C_3H_7OH + \cdot C_xH_{y-1} \quad (2)$$

Энергии взаимодействия между УВ и ИПН рассчитывались как разность между значениями энергий комплекса «УВ-присадка» ($E_{комплекс}$) и значениями энергий УВ ($E_{УВ}$) и присадки ($E_{присадка}$):

$$E^{УВ}_{взаим} = E_{комплекс} - E_{УВ} - E_{присадка} \quad (3)$$

Значение сродства реакции образования УВ радикала при условиях двигателя определялось из следствия закона Гесса для реакции (2):

$$\Delta G_{реак} = \Delta G_{C_3H_7OH} + \Delta G_{радикал} - \Delta G_{УВ} - \Delta G_{C_3H_7O\cdot} \quad (4)$$

Расчеты проводили квантово-химическим методом DFT (базис B3LYP 3-21G) при термобарических условиях дизельного двигателя T = 2273 К и P = 5,0 МПа. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение энергии Гиббса и энергии взаимодействия «углеводород-присадка» для групп углеводородов

Группа углеводородов	E взаимодействия, кДж/моль	dG реакции, кДж/моль
н-парафины	56,73	–3,07
и-парафины	–0,15	–71,70
Нафтен замещенные (заместитель н-алкил)	–0,18	–18,59
Нафтен замещенные (заместитель изо-алкил)	–0,71	–45,06
Нафталин замещенные (заместитель н-алкил)	–0,42	–49,56
Нафталин замещенные (заместитель изо-алкил)	–0,38	–30,47
Бензол замещенные (заместитель н-алкил)	–0,70	–38,98
Бензол замещенные (заместитель изо-алкил)	–0,75	–36,68

Результаты исследований показали, что н-парафины обладают наибольшим положительным значением энергии МВ, что объясняет высокие значения ЦЧ парафиновых УВ. Скорость образования радикалов н-парафинов будет наибольшей по сравнению с другими, ввиду того, что избыточная энергия взаимодействия снижает энергию активации химической реакции.

Для и-парафинов значение энергии Гиббса образования радикалов самое высокое, но, энергия взаимодействия намного меньше, чем для н-парафинов, поэтому скорость образования будет меньше, чем для н-парафинов, что и подтверждается значениями ЦЧ и-парафинов.

Минимальное значение энергии Гиббса и отрицательная энергия взаимодействия УВ-присадка соответствует бензол и нафталин замещенным ароматическим УВ. Для данной группы УВ наблюдается минимальное значение скорости реакции образования радикала, а, следовательно, и низкое значение ЦЧ, что и подтверждается значениями ЦЧ нафталинов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (Проект № 18-79-00095) в Национальном исследовательском Томском политехническом университете.

Библиографический список

1. Пучков Н.Г. Дизельные топлива. – М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1953. – 194 с.

2. Kapustin V. M., Chernyshova E. A., et al. Nonadditive changes in the properties of hydrocarbon systems during mixing // Oil Refining and Petrochemistry. – 2017. – № 4. – P. 3–9.

3. Maylin M.V., Frantsina E.V., Grinko A.A. Development of a Mathematical Model for Calculating the Cetane Number of Diesel Fuel Based on Their Hydrocarbon Composition and Intermolecular Interactions of Mixture Components // Combustion science and technology, 2019. DOI: 10.1080/00102202.2019.1684909.

УДК 665.656 : 542.973

ИЗОМЕРИЗАЦИЯ *н*-ГЕПТАНА И *н*-ГЕКСАНА НА КАТАЛИЗАТОРАХ Pt/WO_3-ZrO_2

Шкуренок В. А.[1], Смоликов М. Д.[1,2], Кирьянов Д. И.[1], Яблокова С. С.[1], Доронин А. О.[2], Белый А. С.[1,2]

[1] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Российская Федерация, Омск, Нефтезаводская, 54*
[2] *Омский государственный технический университет Российская Федерация, Омск, пр. Мира, 11*

Ужесточение требований к качеству моторных топлив приводит к необходимости повышения в их составе доли экологически чистых компонентов. Одним из процессов, позволяющих получать экологичные высокооктановые компоненты товарных бензинов, является процесс изомеризации легких бензиновых фракций.

Процесс изомеризации пентан-гексановой фракции успешно реализован в промышленности, количество установок изомеризации в мире составляет более 300 с общей мощностью около 100 млн. т. в год [1]. Наиболее эффективными катализаторами изомеризации C_5-C_6 алкановых углеводородов являются системы на основе сульфатированного диоксида циркония.

В настоящее время активно проводятся исследования в другом направлении изомеризации – изомеризация гептановой фракции. Поскольку молекулы гептана легче подвергаются реакциям расщепления с образованием газообразных углеводородов, для эффективной изомеризации C_7-углеводородов предлагаются менее кислотные каталитические системы на основе WO_3-ZrO_2 [2, 3]. В связи с этим, изомеризация C_7-алканов рассматривается в качестве отдельного процесса. Однако практический интерес представляет объединение двух процессов – изомеризации C_5-C_6 и C_7-углеводородов в одну технологическую установку с применением одного катализатора.

Поскольку сульфатноциркониевые катализаторы характеризуются высокой кислотностью, приводящей к протеканию побочных реакций крекинга гептанов, в работе для исследования изомеризации C_6-C_7-алканов выбрана каталитическая система на основе вольфраматсодержащего диоксида циркония, наиболее эффективная для изомеризации углеводородов C_7 [2, 3].

Проведены каталитические исследования по изомеризации индивидуальных углеводородов – н-гептана, н-гексана, а также их смеси в присутствии катализаторов Pt/WO_3-ZrO_2. В катализаторах варьировали содержание оксида вольфрама от 15 до 30 мас.%. Для испытания катализаторов Pt/WO_3-ZrO_2 в совместной изомеризации C_6-C_7-углеводородов была приготовлена смесь н-гептан / н-гексан в массовом соотношении 70/30. В табл. 1 представлены основные показатели реакции совместной изомеризации н-гептана и н-гексана.

Таблица 1. Основные показатели реакции изомеризации смеси н-гептан / н-гексан (массовое соотношение 70/30) на катализаторах Pt/WO_3-ZrO_2

Содержание WO_3 в катализаторе, мас.%	15	20	25	30
Температура**, °С	220	220	200	180
Конверсия н-гептана, %	91,4	91,5	90,1	86,4
Выход суммы изомеров гептана, мас.%	41,6 (59,4*)	44,4 (63,4*)	41,6 (59,4*)	45,0 (64,3*)
Выход ДТМЗ[1], мас.%	17,8 (25,4*)	18,8 (26,9*)	16,9 (24,1*)	16,8 (24,0*)
Конверсия н-гексана, мас.%	77,4	76,6	65,8	56,4
Выход суммы изомеров гексана, мас.%	24,3 (81,0*)	24,1 (80,3*)	21,0 (70,0*)	17,7 (59,0*)
Выход ДМБ[2], мас.%	6,1 (20,3*)	5,9 (19,7*)	4,1 (15,7*)	3,1 (10,3*)
Выход C_{5+}, мас.%	79,3	82,2	81,2	86,7

[1] Ди- и триметилзамещенные изомеры гептана
[2] Диметилбутаны
* Расчет на индивидуальный углеводород
** Температура реакции, при которой достигается максимальный выход ДТМЗ

Как видно из табл. 1, наилучшие показатели реакции достигаются на катализаторах Pt/WO_3-ZrO_2 с содержанием оксида вольфрама 15–20 мас.% при 220°С: конверсия н-гептана находится на уровне 91,4–91,5%, конверсия н-гексана – 76,6–77,4% при выходе стабильного катализата 79,3-82,2 мас.%. При этом выходы высокооктановых ди- и триметилзамещенных изомеров гептана (ДТМЗ) и изомеров гексана – диметилбутанов (ДМБ), составляют 25,4–26,9 и 19,7–20,3 мас.% в расчете на индивидуальные компоненты, соответственно.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦНХТ ИК СО РАН в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы по направлению V.46, проект № V.46.2.4 (номер госрегистрации в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА-А17-117021450095-1).

Библиографический список

1. Электронный ресурс. Ссылка доступа: https://www.uop.com.
2. K. Song, H. Zhang, Y. Zhang, Y. Tang, K. Tang, Preparation and characterization of WO_x/ZrO_2 nanosized catalysts with high WO_x dispersion threshold and acidity // J. Catal. – 2013. – Vol. 299. – P. 119–128.
3. M. D. Smolikov, V. A. Shkurenok, D. I. Kir'yanov, A. S. Belyi, Active surface formation of tungstated zirconia catalysts for n-heptane isomerization // Catal. Today. – 2019. – Vol. 329. – P. 63–70.

УДК 553.982

ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ В УГЛЕВОДОРОДНОЙ МАТРИЦЕ

Сальников В. С.[1], Исаев К. А.[1,2], Усова С. В.[2]

[1] *ООО НПЦ «ХромоСиб», РФ, г. Омск, ул. Химиков, 25*

[2] *Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, РФ, г. Омск, ул. Проспект Мира, 55а*

Серосодержащие соединения (ССС) – экологические и технологические яды. Присутствие и содержание таких соединений в природном газе, попутном нефтяном газе, сжиженных углеводородах и нефтепродуктах при их переработке или использовании регламентируется множеством нормативных документов (ASTM, ГОСТ, СТО и проч.). Основным аналитическим методом определения ССС в УВ матрице является газовая хроматография. Существует несколько вариантов инструментально-методического решения ГХ анализа ССС. Основной тип используемого детектора при определении низких концентраций ССС – селективный на серу (пламенно-фотометрический ПФД, хемилюминесцентный ХЛД, электрохимический ЭХД и др.). Для большинства детекторов основным условием для фиксации низких концентраций ССС является условие полного разделения ССС и УВ для исключения наложения сигналов этих соединений и подавления в результате этого отклика детектора на ССС. Наибольшее влияние этого *блокирующего фактора* наблюдается для ПФД, тогда как у ХЛД и пульсирующего ПФД (ППФД) этот эффект либо отсутствует, либо наблюдается в меньшей степени. Но и стоимость последних детекторов в несколько раз выше, чем наиболее распространенного ПФД. При комплектации хроматографа ПФД для исключения влияния УВ на определение ССС как правило используются две капиллярные колонки, на каждой из которых не поделенные пары ССС/УВ разные, что и позволяет в целом определить полный состав ССС. В этом случае при проведении испытаний либо последовательно переустанавливают колонки на одном аналитическом канале, либо используют хроматограф с двумя параллельными аналитическими каналами. Основные типы используемых капиллярных колонок – это колонки с полиметилсилоксаном (ПМС) и PLOT-колонки с окисью кремния или дивинилбензольным сополимером.

Нами проведено комплексное исследование как указанных выше кварцевых капиллярных колонок (ККК), так и ККК с новой полимерной фазой (ноу-хау). Длина колонки 30 м, ID 0.32÷0.53 мм. Серосодержащие соединения – H_2S, COS, CS_2, метил/этил меркаптан, н/изо-пропил меркаптан, н/изо-бутил меркаптан, втор/трет-бутил меркаптан. УВ матрицы – парафиновые и олефиновые газообразные углеводороды C_1-C_4. Для приготовления смеси ССС/УВ использовалась ПГС смеси всех указанных ССС по 100 ppm каждого. Углеводороды брались как в индивидуальном виде, так и их смеси. Комбинированная смесь готовилась в стеклянном шприце с затвором, ввод готовой пробы осуществлялся через кран-дозатор, детектор – ПФД, основные транспортные каналы были выполнены из нерж. стали с Sulf-инертным покрытием.

В комбинированной смеси варьировали концентрацию ССС в диапазоне 1-100 ppm. Суммарная концентрация УВ составляла от 0.1 до 99%. Использовали несколько доз крана-дозатора разного объема – от 0.1 до 1 мл. Варьировали температуру термостата колонок и поток через колонку путем изменения входного давления.

Установлено, что, действительно, практически для всех традиционных ККК имеется пара ССС/УВ, для которой даже небольшое превышение количества одного из углеводородов (в зависимости от концентрации в смеси или объема дозы) вызывает значительное или полное подавление сигнала серосодержащего соединения. Для исследуемой хроматографической колонки лишь при высоком содержании одного из УВ C_{2+} (более 10÷20 % об.) происходит частичное гашение сигнала ССС (Рис. 1).

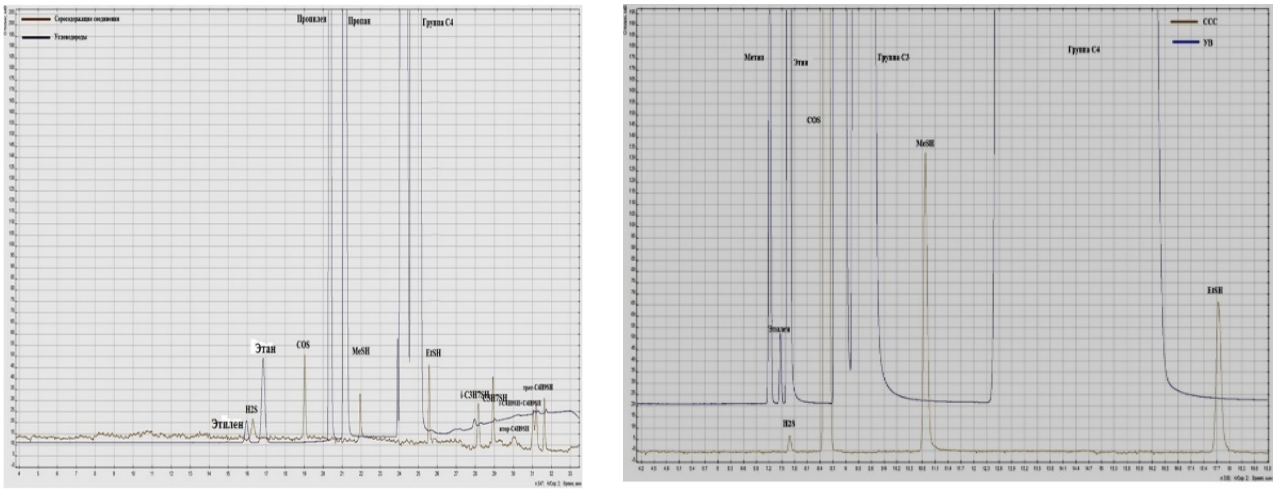


Рис. 1. Данные хроматографического анализа

Данные исследования показали, что разработанная кварцевая капиллярная колонка с внутренним диаметром 0.53 мм может быть использована в сочетании с доступным детектором ПФД при анализе таких объектов как природный и попутный нефтяной газ на содержание ССС до 0.1 ppm.

УДК 661.666:661.715.3

ОКИСЛИТЕЛЬНОЕ ДЕГИДРИРОВАНИЕ ЭТАНА В ЭТИЛЕН НА КАРБОКАТАЛИЗАТОРЕ

Княжева О. А.[1,a], Бакланова О. Н.[1], Сигаева С. С.[1], Лавренов А. В.[1], Шляпин Д. А.[1], Навесова Е. П.[2]

[1] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН (Россия, Омск, ул. Нефтезаводская, 54)*
[2] *Омский государственный технический университет (Россия, Омск, ул. Мира, 11)*

В последнее время в области гетерогенного катализа перспективными направлениями становятся исследования с использованием free metals катализаторов, представляющие собой функционализированные углеродные материалы и называемые «карбокатализатор». Показано, что окислительное дегидрирование углеводородов в присутствии карбокатализатора протекает по механизму Марса-ван-Квервелана, где каталитическая активность катализатора определяется окислительно-восстановительной способностью кислорода на углеродной поверхности.

Целью настоящего исследования является изучение влияния количества и состава кислородсодержащих групп на поверхности механоактивированного технического углерода на его каталитическую активность в реакции окислительного дегидрирования этана (ОДЭ).

В качестве объекта исследования выбран технический углерод (ТУ) П399. Механическая активация (МА) ТУ была проведена в водоохлаждаемой планетарной мельнице АГО-2 (Россия) при ускорении мелющих тел 100g в окислительной среде. В качестве мелющих тел были использованы стальные шары диаметром 8 мм. Масса шаров, загружаемых в барабаны – 170 г, навеска ТУ – 5 г. Время МА для всех образцов составляло 5,10 и 15 мин.

Определение содержания кислотных кислородсодержащих функциональных групп на поверхности ТУ проводили методом кислотно-основного титрования по Боэма. Определение абсорбции дибутилфталата (ДБФ) образцов ТУ до и после МА проводили по ASTM D 2414-04. Удельную поверхность углеродных материалов определяли методом низкотемпературной адсорбции азота при 77.4 K на приборе “СОРБТОМЕТР”.

Показано, что МА технического углерода П399 при ускорении мелющих тел 100g в течение 3 мин способствует увеличению удельной поверхности до 1054 $м^2/г$ и функционализации поверхности ТУ с образованием на его поверхности кислородсодержащих групп в количестве 0,23–0,25 мэкв/г.

Каталитические испытания катализатора были проведены в модельной реакции ОДЭ. Целевым продуктом реакции ОДЭ является этилен. Побочными продуктами реакции ОДЭ являются CO и CO_2, и метан. В табл. представлены результаты испытания углеродных катализаторов в реакции ОДЭ.

Таблица 1. Влияние катализатора и температуры реакции на конверсию этана и кислорода, а также на селективность основных продуктов реакции

Концентрация кислорода, %	Температура, °С	Конверсия, %		Селективность, %		
		C_2H_6	O_2	CH_4	C_2H_4	CO_x
0	400	1,0	–	0,13	0,00	–
	450	1,6	–	0,16	0,00	–
	500	2,5	–	0,22	0,00	–
1	400	0,6	25,2	0,00	0,00	100,00
	450	1,0	41,5	0,08	6,38	93,54
	500	1,9	70,4	0,15	15,65	84,21
2	400	0,3	3,9	0,24	0,00	99,76
	450	0,8	8,8	0,36	15,75	83,89
	500	2,0	21,3	0,45	25,74	73,81

Проведенные каталитические испытания карбокатализатора показали, что введение кислорода в реакционную смесь, способствует протеканию реакции дегидрирования этана. Это обусловлено тем, что с образованием воды реакция становится более экзотермичной и она идет в сторону образования этилена. На первой стадии происходит абсорбция этана на карбокатализаторе, далее протекает реакция дегидрирования этана на активных центрах –C=O последующим их переходом в гидроксильные группы. Присутствующий в реакции свободный кислород диссоциирует на базальную плоскость графитоподобных слоев и взаимодействует с гидрокисльными группами с образованием хиноидных групп и воды, которая в дальнейшем десорбируется. Как видно из табл. увеличение содержания свободного кислорода в реакции с 1 до 2 % способствует повышению селективности по этилену 15,65 и 25,74 % соответственно.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦНХТ ИК СО РАН в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы по направлению .45, проект V.45.2.8 номер государственной регистрации в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА-А19-119050790074-9.

УДК 665.656

ИССЛЕДОВАНИЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТОВ MOR И BEA В РЕАКЦИИ ИЗОМЕРИЗАЦИИ Н-ГЕКСАНА

Джикия О. В.[1], Смоликов М. Д.[1,2], Белопухов Е. А.[1,2], Яблокова С. С.[1], Доронин А. О.[2], Белый А. С.[1,2]

[1] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Российская Федерация, Омск, Нефтезаводска, 54*
[2] *Омский государственный технический университет, Российская Федерация, Омск, пр. Мира, 11*

Реакции скелетной изомеризации алканов имеют большое значение для нефтеперерабатывающей промышленности, поскольку разветвленные алканы, благодаря высоким антидетонационным свойствам, могут быть использованы в качестве экологически чистого компонента высокооктанового топлива [1]. Изомеризация алканов обычно проводится в присутствии бифункциональных катализаторов, состоящих из кислотной матрицы, на которую нанесены благородные металлы [2]. В качестве кислотного носителя используют алюмосиликаты, цеолиты, а также оксиды металлов [2].

Известно, что применение анионных модификаторов (например, галогенов) позволяет изменять кислотные характеристики катализаторов, что в случае кислотно-катализируемых реакций изомеризации алканов имеет большое значение.

Катализаторы были приготовлены на основе цеолитов BEA ($SiO_2/Al_2O_3 = 40$) и MOR ($SiO_2/Al_2O_3 = 20$) с использованием в качестве связующего псевдобемита. Фторированные катализаторы получали при добавлении раствора плавиковой кислоты к гидроксиду алюминия и последующем смешении с цеолитом. Платину наносили из водного раствора H_2PtCl_6. Полученные образцы сушили при 120 °С, затем прокаливали в токе воздуха при 500 °С. Перед испытаниями катализаторы были восстановлены в среде водорода при температуре 350 °С.

Текстурные характеристики синтезированных систем определяли методом низкотемпературной адсорбции азота. Кислотные свойства катализаторов исследовали методом температурно-программируемой десорбции аммиака. Изомеризацию н-гексана проводили на установке с изотермическим реактором проточного типа.

Показано, что ведение фтора в катализаторы приводит к изменению кислотных характеристик катализаторов, которое влияет на каталитические свойства этих систем в реакции изомеризации н-гексана. Установлено, что модифицирование фтором катализаторов на основе цеолитов типа бета и морденит способствует увеличению их селективности и повышению выхода суммы изомеров гексана.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦНХТ ИК СО РАН в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы по направлению V.46, проект № V.46.2.4 (номер госрегистрации в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА- АААА-А17-117021450095-1).

Библиографический список

1. Speight J. G. Handbook of petroleum product analysis. – Taylor & Francis; CRC Press, 2017. – 705 с.
2. Hattori H., Ono Y. Solid acid catalysis: from fundamentals to applications. – Pan Stanford, 2015. – 493 с.

УДК665.656

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАДИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ НАНЕСЕННЫХ НА ОКСИД АЛЮМИНИЯ $Pt/SO_4/ZrO_2$ КАТАЛИЗАТОРОВ ИЗОМЕРИЗАЦИИ Н-ГЕКСАНА

Бикметова Л. И., Казанцев К. В., Затолокина Е. В., Смоликов М. Д., Белый А. С.

ЦНХТ ИК СО РАН, РФ, Омск, ул. Нефтезаводская, 54

Современные требования к качеству автомобильных бензинов уделяют большое внимание экологическим характеристикам компонентов бензинов, ограничивая содержание ароматических и непредельных углеводородов, серы и бензола. Продукт процесса изомеризации полностью соответствует экологическим и эксплуатационным требованиям, предъявляемым к бензинам, благодаря чему процесс изомеризации широко внедряется на современных НПЗ. Катализаторы процесса изомеризации на основе сульфатированного диоксида циркония (SZ) и хлорированного оксида алюминия отличаются высокими показателями активности и стабильности, а также стоимостью. Поэтому поиск альтернативных катализаторов изомеризации легких бензиновых фракций продолжает быть актуальным.

Нанесенные сульфатциркониевые катализаторы могут позволить исключить стадию осаждения и отмывки гидроксида циркония, уменьшить расход дорогостоящих компонентов за счет распределения активного компонента на поверхности оксида алюминия при сохранении высокой активности катализатора [1]. В процессе разработки нанесенного SZ катализатора было изучено влияние на активность катализатора природы носителя, количеств пропитки носителя и природы предшественника активного компонента. Приготовление нанесенного катализатора включает стадии пропитки носителя раствором сульфата циркония, сульфатирования раствором серной кислоты и нанесения платины, все этапы сопровождаются сушкой и прокаливанием при соответствующих температурах. Каждый компонент нанесенного катализатора играет свою роль и влияет на другие компоненты: так использование оксида алюминия кроме увеличения удельной поверхности также способствует стабилизации тетрагональной фазы ZrO_2, а вот сульфат-ионы или продукты их разложения могут отравлять платиновые центры катализатора, снижая активность и стабильность катализатора. Роль отдельного компонента и стадий приготовления можно исследовать изменяя последовательность внесения активных компонентов системы.

Целью данной работы было исследовать влияние последовательности стадий приготовления катализатора на физико-химические и каталитические свойства нанесенных сульфатциркониевых катализаторов.

Были приготовлены две серии катализаторов с одно- и двукратной пропиткой оксида алюминия раствором сульфата циркония. В первом образце на носитель оксид алюминия наносили платину, а затем сульфат циркония (1 пропитка) ($1SZ/Pt/Al_2O_3$); во втором образце на оксид алюминия наносили сульфат циркония (1 пропитка), затем – платину, ($Pt/1SZ/Al_2O_3$); в третьем образце на оксид алюминия наносили сульфат циркония (1 пропитка), затем – платину совместно с 1н. раствором серной кислоты, ($Pt+SO_4/1SZ/Al_2O_3$); в четвертом образце – наносили сульфат циркония (2 пропитки), пропитывали раствором 1 н. серной кислоты и затем наносили платину ($Pt/SO_4/2SZ/Al_2O_3$); в пятом образце – наносили сульфат циркония (2 пропитки), затем наносили платину, а после пропитывали раствором 1 н. серной кислоты ($SO_4/Pt/2SZ/Al_2O_3$); в шестом – наносили сульфат циркония (2 пропитки), затем наносили совместно платину с раствором 1 н. серной кислоты ($Pt+SO_4/2SZ/Al_2O_3$).

Методом низкотемпературной адсорбции азота изучили текстурные характеристики, методом рентгенофазового анализа и атомно-эмиссионном спектрометрии определили фазовый и химический состав

катализаторов. Изомеризацию н-гексана проводили в проточном реакторе с неподвижным слоем катализатора при давлении 1,5 МПа, ОСПС 1 $ч^{-1}$, соотношении водород/сырье равное 3 в интервале температур 140–200 °С.

Было показано, что совместное нанесение платины и сульфатирование катализатора приводит к увеличению каталитической активности как при однократной, так и при двукратной пропитке носителя активным компонентом. Выход суммы изомеров на катализаторе с однократной пропиткой и совместным нанесением платины достигает 60–73 % мас., а на катализаторе с двукратной пропиткой и совместным нанесением – 75–82 % мас. Полученные результаты по влиянию условий приготовления позволили обосновать очередность стадий приготовления активных катализаторов изомеризации.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦНХТ ИК СО РАН в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы по направлению V.46, проект № V.46.2.5 (номер госрегистрации в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА- АААА-А17-117021450095-1).

Библиографический список

1. М.Д. Смоликов, Л.И. Бикметова, Д.И. Кирьянов, Е.В. Затолокина, К.В. Казанцев, И.В. Муромцев, А.С. Белый, Катализаторы изомеризации бензиновых фракций на основе сульфатированного диоксида циркония, нанесенного на γ-Al_2O_3 // Катализ в промышленности. – 2014. – № 5. – С. 44–48.

УДК 665.753.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ДЕПРЕССОРНОЙ ПРИСАДКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ

Павлова А. А.[1], Машнич В. В.[1], Франция Е. В.[1]

[1] *ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Томск, Россия (634050, Томск, проспект Ленина, 30)*

Исследование низкотемпературных свойств топлива в первую очередь связано с холодным климатом Российской Федерации. Так как производство зимнего топлива является ресурсоёмким процессом, в связи с этим, необходимо вводить различные присадки для улучшения низкотемпературных показателей топлива таких как – температура помутнения, застывания и предельная температура фильтруемости.

Целью данной работы являлось нахождение оптимального количества депрессорной присадки, которое необходимо вводить для достижения требуемых низкотемпературных свойств, согласно современным стандартам, предъявляемым к дизельным топливам.

В качестве объекта исследования были выбраны два образца дизельных и один образец газойлевой фракций.

Температура застывания ($Т_з$), температура помутнения ($Т_п$), температура фильтруемости ($Т_ф$) образцов были изучены с помощью измерителя низкотемпературных показателей нефтепродуктов ИНПН SX-800. Температуру помутнения определяли согласно ГОСТ 5066-91 «Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации» [1].

В таблице 1 представлен углеводородный состав исследуемых фракций.

Таблица 1. Углеводородный состав дизельных и газойлевой фракций

Содержание углеводородов, % мас.	Дизельная фракция №1	Дизельная фракция №2	Фракция атмосферного газойля
Парафины	45,58	55,53	62,52
Нафтены	33,14	28,07	8,46
Арены	10,37	13,64	28,51
Смолы	10,91	2,75	0,51
Всего	100	100	100

В ходе исследования образцы различных фракций объёмом 2,5 мл смешивали с депрессорной присадкой на основе винилацетата концентрацией 0,1%. Концентрацию присадки увеличивали от 0,1 до 0,7 %, с шагом 0,1 %. Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2. Значения низкотемпературных показателей дизельных и газойлевой фракций в зависимости от концентрации вводимой присадки

	Дизельная фракция №1			Дизельная фракция №2			Фракция атмосферного газойля		
Концентрация присадки, %об.	Тп, ^{0}C	Тф, ^{0}C	Тз, ^{0}C	Тп, ^{0}C	Тф, ^{0}C	Тз, ^{0}C	Тп, ^{0}C	Тф, ^{0}C	Тз, ^{0}C
0,00	–19,7	–27,0	–34,3	–23,5	–24,7	–28,6	10,6	9,0	11,1
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,40	–21,3	–36,3	–51,3	–22,0	–36,0	–53,5	12,0	–13,0	–35,2
0,50	–21,7	–38,6	–53,3	–22,2	–36,2	–53	11,8	–15,6	–38,8
0,60	–23,0	<–28	<–60				12,2	–12,0	–33,7

Наибольший депрессорный эффект присадки наблюдается при добавлении ее в концентрации 0,6 % к дизельной фракции №1. $T_з$ достигает значений ниже минус 60 ^{0}C, что говорит о хорошей приемистости присадки к данной фракции. Данный эффект можно объяснить низким содержанием парафинов и высоким содержанием нафтенов, по сравнению с другими фракциями.

Для образца дизельной фракции №2 максимальное снижение низкотемпературных характеристик наблюдается уже при концентрации присадки 0,4%: $T_з$ достигает значения минус 53,5 ^{0}C, $T_ф$ – минус 36,0 ^{0}C.

Фракция атмосферного газойля обладает наихудшими низкотемпературными характеристиками, что можно объяснить высоким содержанием парафинов и аренов, которые отрицательно влияют на данные свойства. Однако, наибольшее влияние присадки на $T_з$ наблюдается при добавлении ее к данной фракции. $T_з$ снижается на 49,9 ^{0}C, $T_ф$ на 24,6 ^{0}C. При этом, добавление присадки концентрацией выше 0,5 % приводит к обратному эффекту – повышению низкотемпературных свойств. Это говорит о том, что использование присадки большей концентрации – нецелесообразно.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно заключить, что депрессорная присадка на основе винилацетата показала хорошую приемистость к прямогонным дизельным фракциям, снижая $T_з$ и $T_ф$ уже при малых концентрациях до 0,5 %об, а также, о влиянии углеводородного состава на эффективность их действия.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (Проект № 18-79-00095) в Национальном исследовательском Томском политехническом университете.

Библиографический список

1. ГОСТ 5066-91 (ИСО 3013-74). Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации. Введ. 28.12.91 N 2261.

УДК 544.016.5; 544.034.54; 544.473

СТРОЕНИЕ, ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ В КАТАЛИЗЕ АКТИВИРОВАННЫХ БИНАРНЫХ СПЛАВОВ Al-Cu

Арбузов А. Б., Дроздов В. А.

Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Россия, г. Омск, ул. Нефтезаводская, д. 54

Металлический алюминий, активированный галлием и его сплавами с другими легкоплавкими металлами, получил широкое распространение как материал для получения водорода из воды [1] и каталитических алюмохлоридных комплексов, активных в низкотемпературных превращения углеводородов [2]. В таких практически важных каталитических реакциях как алкилирование изобутана бутенами или бензола олефинами к алюмохлоридным комплексам добавляют хлориды переходных металлов (железо, медь, никель и др.) [3]. Ранее нами было показано, что активированные сплавы Al-Fe взаимодействуют с CCl_4 в реакционной среде бензол–этилен, образуя каталитические металл–хлоридные комплексы [4]. В связи с этим научный интерес представляет активирование бинарных сплавов Al-Cu в реакционной среде бензол–этилен, формирование металл–хлоридных комплексов, исследование их каталитических свойств.

В работе использовали сплавы Al-Cu, содержащие от 5 до 75 % масс. Cu, в качестве активатора – жидкую эвтектику Ga-In (76 % масс. Ga, $T_{пл}$ = 16 ºC). Процесс активирования исследовали методами сканирующей

электронной микроскопии (СЭМ) и рентгеновской энергодисперсионной спектроскопией (ЭДС) непосредственно в камере микроскопа. Активирование сплавов Al-Cu выполняли при температуре 150 ºС в течение 2-х часов в вакууме. Химические свойства активированных сплавов Al-Cu изучали в реакционных средах бензол–этилен и толуол–этилен, содержащих хлорирующую добавку CCl_4. Каталитические свойства металл–хлоридных комплексов, сформированных *in situ*, оценивали в реакции алкилирования бензола и толуола этиленом при температуре 80 ºС и давлениях этилена 0.2–0.3 МПа.

Методами СЭМ и ЭДС показано, что исследуемые сплавы Al-Cu по-разному активируются жидкой эвтектикой Ga-In. Так, компоненты эвтектики неравномерно распространяются по поверхности сплава Al-5.7 % масс. Cu, проникают вглубь материала по границам зерен твердого раствора замещения меди в алюминии. Галлий дальше взаимодействует с твердым раствором замещения меди в алюминии, образуя твердый раствор Ga в Al, индий локализуется на границах зерен.

Активирование жидкой эвтектикой Ga-In бинарных сплавов Al-52.0 % масс. Cu и Al-73.4 % масс. Cu преимущественно протекает локально. В месте контакта наблюдали образование хорошо ограненных кристаллов. Элементный состав данных частиц соответствует интерметаллиду состава $CuGa_2$.

Установлено, что из активированного сплава Al-5.7 % масс. Cu и CCl_4 с высокой скоростью формируются соответствующие металл–хлоридные комплексы в реакционной среде толуол–этилен. По данным ИК спектроскопии и спектрофотометрии сформированные *in situ* в разных средах металл–хлоридные комплексы представлены тетраэдрическими ионами $[AlCl_4]^-$ и линейными ионами $[CuCl_2]^-$, разделенные трифенилметильными $(C_6H_5)_3C^+$ или *n*-метилтрифенильными $(CH_3C_6H_4)_3C^+$ карбокатионами.

Каталитические свойства полученных *in situ* металл–хлоридных комплексов в реакциях алкилирования бензола и толуола этиленом разные. Так, в реакции алкилирования бензола этиленом активность медь-алюмохлоридных комплексов уменьшается в 3 раза по сравнению с алюмохлоридными комплексами, селективность увеличивается в 1.8 раза. Отличий в каталитических свойствах медь-алюмохлоридных и алюмохлоридных комплексов в реакции алкилирования толуола этиленом не выявлено. Различие в каталитических свойствах медь-алюмохлоридных комплексов, полученных в разных реакционных средах, обусловлено разными механизмами реакций алкилирования бензола и толуола этиленом.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦНХТ ИК СО РАН в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы по направлению V. 46, проект V.46.2.5 (номер госрегистрации в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА-А17-117021450096-8).

Библиографический список

1. S. Xu, X. Zhao, J. Liu, Liquid metal activated aluminum-water reaction for direct hydrogen generation at room temperature // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – V. 92. – P. 17–37.

2. А. Б. Арбузов, В. А. Дроздов, М. О. Казаков, А. В. Лавренов, М. В. Тренихин, В. А. Лихолобов, Алкилирование изобутана бутенами в жидкой фазе на алюмохлоридных комплексах, полученных *in situ* из активированного алюминия и *трет*-бутилхлорида // Кинетика и катализ. – 2012. – № 3. – С. 372–376.

3. М. Ф. Полубенцева, В. В. Дуганова, Г. А. Михайленко, Каталитические системы на основе хлорида алюминия в реакции алкилирования бензола олефинами // Журнал общей химии. – 1996. – № 4. – С. 630–634.

4. A. B. Arbuzov, V. A. Drozdov, V. P. Talsi, A. V. Babenko, R. R. Izmailov, V. L. Yurpalov, Alkylation of benzene and toluene with ethylene on metal chloride Al(Fe)/Cl complexes forming *in situ* from an Al-Fe alloy activated by a Ga-In liquid eutectic // AIP Conference Proceedings. – 2019. – V. 2143. – P. 020044-1– 020044-5.

УДК 620.197.3

РАЗРАБОТКА СОСТАВА МОЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ, С ВВЕДЕНИЕМ ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ НАГАРА С ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Пятанова П. А., Алексеева А. А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского», (Россия, г. Омск, пр. Мира, 55 А)

В настоящее время на предприятиях нефтехимического синтеза используют алюминий как основной металл для производства формовых изделий, в особенности изделий из резин на основе натурального и изопренового каучука. К стадиям технологического процесса производства резинотехнических изделий относится механическая и термическая обработка методами горячего прессования и литья резины. Во время

процесса происходит загрязнение пресс-форм веществами, образующимися при повышенных температурах. Такие виды загрязнений приводят к преждевременному износу оборудования, поэтому одной из важных процедур является качественная очистка форм от образующегося нагара резины. Для очистки металлических поверхностей от отложений применяются щелочные моющие составы, которые, при этом вызывают коррозию изделий из алюминиевых сплавов.

Целью данной работы является разработка моющего состава для удаления нагара с поверхности алюминиевых пресс-форм и подбор подходящего ингибитора коррозии. Большинство синтетических моющих составов содержат в себе такие компоненты, как: щелочь в качестве активной добавки, комплексообразователь – уменьшающий жесткость воды, антиресорбенты, обеспечивающие моющую способность, поверхностно-активные вещества, обуславливающие моющую способность раствора за счет снижения поверхностного натяжения воды и явления солюбилизации загрязнений в мицеллах ПАВ.

В результате проведенных испытаний был разработан состав, который обладает достаточной моющей способностью для удаления сложных загрязнений с поверхности пресс-форм, используемых при производстве резинотехнических изделий. Основными компонентами разработанного состава являются: NaOH (8%), карбонат натрия (54%), полифосфат натрия (15.6%), карбоксиметилцеллюлоза (1.6%), силикат натрия (4.8%), неионогенный ПАВ «Неонол АФ 9-12» (11.2%) и катионный ПАВ «Катамин АБ» (4.8%), в процентном содержании от массы всех компонентов моющего средства. Для удаления загрязнений использовались водные растворы данного моющего средства с концентрацией 0.5, 1.5 и 5 масс.%.

Так как при щелочной очистке наблюдается коррозия, в состав моющего средства необходимо было ввести ингибитор, который обеспечит высокое защитное действие. На основании литературных данных [1–3] были выбраны три различных ингибитора, каждый из которых обладает отличным от других действием. Нитрит натрия ($NaNO_2$) – неорганический анодный ингибитор, обладающий пассивирующим действием. Бензоат натрия (C_6H_5COONa) – органический ингибитор смешанного действия. Желатин – органический ингибитор адсорбционного действия.

Для оценки показателей коррозии был выбран гравиметрический метод анализа. Метод основан на определении изменения веса образца на единицу поверхности за единицу времени после воздействия на него агрессивной среды. Гравиметрические испытания проводились в стационарном режиме. Образцы помещали в емкость с агрессивной средой (раствор разработанного состава) и оставляли на установленное время. В ходе эксперимента использовались образцы, изготовленные в виде пластин из алюминия марки АЛ-7 в соответствии с требованиями ГОСТ 9.502-82. По результатам опытов были рассчитаны значения степени защиты алюминиевых образцов для различных ингибиторов.

Таблица 1. Степень защиты (Z,%) алюминиевого сплава от коррозии в зависимости от концентрации ингибитора (C,%)

Ингибитор	C ингибитора, %	Степень защиты Z, %			
		z_1	z_2	z_3	$z\pm\Delta$
C_6H_5COONa	0.3	77.2	77.4	75.0	76.2±0.8
	0.5	82.0	83.2	81.2	82.1±0.7
	0.7	84.3	85.5	85.4	85.1±1.1
	0.9	84.1	83.7	84.2	84.0±0.4
	1.1	81.5	80.9	81.3	81.2±0.5

Установлено, что для предотвращения коррозии алюминиевого сплава в процессе щелочной очистки из выбранных ингибиторов лучший результат показал бензоат натрия – ингибитор смешанного типа действия. Оптимальная концентрация бензоата натрия составила 0.7% от массы раствора моющего средства, степень защиты 85.1% (Таблица 1).

Библиографический список

1. Н.Л. Федосова, В.Е. Румянцева, К.Е. Румянцева, А.В. Балмасов, М.Д. Чекунова, Антикоррозионная защита металлов. – Иваново, 2009. – 187 с.

2. С.В. Олейник, В.С. Руднев, Ю.А. Кузенков, Ингибиторы коррозии в ПЭО-покрытиях на алюминиевых сплавах // Коррозия: материалы, защита. – 2013. – № 11. – С. 35–39.

3. Н.В. Данякин., А.А. Сигида, Способы и механизмы применения ингибиторов коррозии металлов и сплавов // Электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2017. – № 2 (14). – С. 67–75.

УДК 665.64.097.3:542.973

ПРЕВРАЩЕНИЕ МЕТАНА С УГЛЕВОДОРОДАМИ РАЗНЫХ КЛАССОВ НА АЛЮМОПЛАТИНОВОМ КАТАЛИЗАТОРЕ В НЕОКИСЛИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Казакова О. А.[1], Виниченко Н. В.[1], Кроль О. В.[1], Федоров А. Е.[2], Белый А. С.[1]

[1] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Российская Федерация, 644040 Омск, ул. Нефтезаводская, 54*
[2] *Омский государственный технический университет, Российская Федерация, 644050 Омск, пр. Мира, 11*

Метан – основной компонент природного (ПГ) и попутного нефтяного газов (ПНГ). На сегодняшний день показано, что большие запасы метана сосредоточены в так называемых нетрадиционных ресурсах метана – газе угольных пластов, сланцевом газе, гидратах метана [1–4]. Сжигание ПГ и ПНГ газов крайне нерационально, а разработка новых эффективных технологий превращения CH_4 в ценные продукты является актуальной задачей. Реализованные в промышленности технологии окислительной конверсии метана предусматривают большие капитальные и энергетические затраты. Неокислительная дегидроароматизация метана [4] в ароматические углеводороды на цеолитных катализаторах на сегодняшний день не нашла практического применения из-за низких выходов целевого продукта, сложной технологии синтеза и быстрой дезактивации цеолитсодержащих катализаторов при достаточно высоких температурах реакции (>973 К). Другое направление получения ароматических углеводородов из метана в неокислительных условиях – активация метана в присутствии алюмоплатинового катализатора (748–823 К) и совместная конверсия активированного метана (CH_x-частиц, где x = 1–3) с C_5-углеводородом [5].

Целью данной работы является изучение направлений превращения активированных форм метана с *н*-пентаном, пентеном-1, циклопентаном в присутствии алюмоплатиновой системы в неокислительных условиях.

Для исследования был синтезирован катализатор $Pt/\gamma\text{-}Al_2O_3$ с содержанием платины 0,50 %мас. Образец был охарактеризован следующими физико-химическими методами анализа: АЭС, ТПВ, ПЭМ, ИКС, ИКС ДО и др. Установлено, что на поверхности катализатора присутствует 4 типа кислотных центров Льюиса (ЛКЦ), имеется металлическая платина и ее заряженные формы.

Адсорбционные и каталитические испытания проводили в автоклаве в диапазоне температур 293–823 К. Для изучения адсорбционных свойств катализатора в автоклав подавали смесь метана и аргона в расчете на мольное соотношение $CH_4/Pt = 10/1$. Установлено, что диссоциативная адсорбция CH_4 на $Pt/\gamma\text{-}Al_2O_3$ с образованием водорододефицитных CH_x-фрагментов и выделением в реакционную среду водорода начинается при температуре 748 К и с ростом температуры количество химически адсорбированного метана увеличивается (0,45 моль CH_4/моль Pt при 748 К и 1,7 моль CH_4/моль Pt при 823 К). На основании данных адсорбционных испытаний $Pt/\gamma\text{-}Al_2O_3$ катализатора в отношении метана был рассчитан усредненный состав CH_x-частиц (отношение H/C, ат./ат.). С ростом температуры от 748 до 823 К отношение H/C изменяется от 2,9 до 1,0.

После изучения адсорбционных свойств $Pt/\gamma\text{-}Al_2O_3$ в реактор при температурах 748, 773, 798, 823 К подавали один из модельных углеводородов (C_5): *н*-пентан, пентен-1, циклопентан при мольном соотношении $C_5/Pt = 1/1$. Качественный и количественный состав продуктов превращения определяли газохроматографическим методом. Установлены основные направления совместной конверсии активированного метана с C_5-углеводородами разных классов в присутствии $Pt/\gamma\text{-}Al_2O_3$ катализатора в диапазоне 748–823 К. Показано, что при превращении активированного метана с циклопентаном выход ароматических углеводородов меньше (16,1 %мас. при 823 К), чем при превращении с *н*-пентаном (22,2 %мас. при 823 К). При совместной конверсии метана с пентеном-1 зафиксировано наибольшее количество ароматических углеводородов (35,2 %мас. при 823 К). Таким образом, образование бензола и толуола вероятно при взаимодействии CH_x-фрагментов с пентенами и пентадиенами.

Библиографический список

1. B. Wang, S. Albarracín-Suazo, Y. Pagán-Torres, E. Nikolla, Advances in methane conversion processes // Catalysis Today. – 2017. – V. 285. – P. 147–158.

2. R. M. Flores, Coalbed methane: From hazard to resource // International Journal of Coal Geology. – 1998. – V. 35. – P. 3–26.

3. S.-Y. Lee, G. D. Holder, Methane hydrates potential as a future energy source // Fuel processing Technology. – 2001. – V. 71. – P. 181–186.

4. C. Karakaya, R. J. Kee, Progress in the direct catalytic conversion of methane to fuels and chemicals // Progress in Energy and Combustion Science. – 2016. – V. 55. – P. 60–97.

5. D. V. Golinskii, N. V. Vinichenko, V. V. Pashkov, I. E. Udras, O. V. Krol', V. P. Talzi, A. S. Belyi, Nonoxidative conversion of methane and n-pentane over a platinum/alumina catalyst // Kinetics and Catalysis. – 2016. – V. 57. – P. 504–510.

УДК 665.64.097.3:542.973

НЕОКИСЛИТЕЛЬНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ МЕТАНА НА МОДИФИЦИРОВАННОМ ЗОЛОТОМ АЛЮМОПЛАТИНОВОМ КАТАЛИЗАТОРЕ

Казакова О. А.[1,2], Виниченко Н. В.[1], Голинский Д. В.[1], Затолокина Е. В.[1], Гуляева Т. И.[1], Федоров А. Е.[1,2], Белый А. С.[1]

[1] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Российская Федерация, 644040 Омск, ул. Нефтезаводская, 54*
[2] *Омский государственный технический университет, Российская Федерация, 644050 Омск, пр. Мира, 11*

Одним из наиболее распространенных газов на нашей планете является метан. Содержание метана в природном газе достигает 98 %об., а в попутном нефтяном газе – 65 %об. В условиях ограниченных запасов сырой нефти и роста ее стоимости задачи рационального использования невозобновляемых природных ресурсов приобретают большое значение [1]. Одно из направлений химической переработки метана – неокислительная конверсия в ароматические углеводороды. Основной проблемой неокислительной каталитической конверсии метана является сложность активации термодинамически стабильной молекулы CH_4. Наш подход заключается в активации метана на алюмоплатиновом катализаторе при 748–823 К с получением водорододефицитных CH_x-частиц (x = 1–3) и совместном превращении активированного метана с *н*-пентаном в бензол и толуол [2]. Однако с повышением температуры от 748 до 823 К возрастает степень дегидрирования CH_4. Обедненные водородом CH_x-фрагменты теряют активность и не способны образовывать ароматические углеводороды. Один из путей контроля степени дегидрирования метана – модифицирование катализатора $Pt/\gamma\text{-}Al_2O_3$ металлами, что влияет на состояние платины. В соответствие с литературными данными [3–5] модификатором $Pt/\gamma\text{-}Al_2O_3$ может быть золото.

Целью данной работы является исследование физико-химических свойств модифицированного золотом алюмоплатинового катализатора, активации метана и совместного неокислительного превращения активированных форм метана с *н*-пентаном в ароматические углеводороды в присутствии $Au\text{-}Pt/\gamma\text{-}Al_2O_3$ катализаторов.

Для исследования была синтезирована серия $Au\text{-}Pt/\gamma\text{-}Al_2O_3$ катализаторов. Мольное отношение Au/Pt составило 0,23–0,58. Синтезированные образцы были охарактеризованы следующими физико-химическими методами: АЭС, ИКС, ИКС ДО, ПЭМ. Показано, что введение золота в $Pt/\gamma\text{-}Al_2O_3$ приводит к уменьшению дисперсности и электронодефицитности платины, качественный и количественный состав кислотных центров Льюиса при этом изменяется незначительно.

Адсорбционные испытания катализаторов проводили в автоклаве (V = const) в диапазоне температур 298–823 К при мольном соотношении $CH_4/Pt = 10/1$. Для изучения каталитических характеристик образцов при 823 К в систему к активированному CH_4 подавали *н*-пентан при мольном соотношении $н\text{-}C_5H_{10}/Pt = 1/1$. Время контакта составляло 1 минуту, после чего отбирали пробу и анализировали газохроматографическим методом. Установлено, что в присутствии $Au\text{-}Pt/\gamma\text{-}Al_2O_3$ систем количество химически адсорбированного CH_4 уменьшается ~2 раза. Исследование $Au\text{-}Pt/\gamma\text{-}Al_2O_3$ систем в реакции совместной неокислительной конверсии активированного метана с *н*-пентаном показало, что введение золота в $Pt/\gamma\text{-}Al_2O_3$ катализатор в количестве 0,13–0,30 %мас. совместной пропиткой $\gamma\text{-}Al_2O_3$ растворами предшественников Pt и Au (H_2PtCl_6 и $HAuCl_4$ соответственно) приводит к уменьшению выхода ароматических углеводородов от 22,2 до 16,4 %мас., что связано с уменьшением дисперсности и электронодефицитности платины.

Библиографический список

1. В. В. Пашков, Е. В. Затолокина, В. А. Лихолобов, А. С. Белый, Реакции спряженной конверсии метана и высших алканов // Нефтехимия. – 2010. – Т. 50. – № 5. – С. 356–358.

2. D. V. Golinskii, N. V. Vinichenko, V. V. Pashkov, I. E. Udras, O. V. Krol', V. P. Talzi, A. S. Belyi, Nonoxidative conversion of methane and *n*-pentane over a platinum/alumina catalyst // Kinetics and Catalysis. – 2016. – V. 57. – P. 504–510.

3. D. Rouabah, J. Fraissard, Pt–Au/Al2O3 catalysts: preparation, characterization, and dehydrogenation activity // Journal of Catalysis. – 1993. – V. 144. – P. 30–37.

4. Z. Kianpoor, C. Falamaki, M. R. Parvizi, Exceptional catalytic performance of Au-Pt/γ‑ Al2O3 in naphtha reforming at very low Au dosing levels // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. – 2019. – V. 128. – P. 427–441.

5. K.-J. Kim, Su-II Boo, H.-G. Ahn, Preparation and characterization of the bimetallic Pt–Au/ZnO/Al2O3 catalysts: Influence of Pt–Au molar ratio on the catalytic activity for toluene oxidation // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2009. – V. 15. – P. 92–97.

УДК544.478

ИССЛЕДОВАНИЕ Pt/In-BEA-Al_2O_3 КАТАЛИЗАТОРОВ В ИЗОМЕРИЗАЦИИ Н-ГЕПТАНА

Трегубенко В. Ю.[1], Белопухов Е. А.[1], Калашников И. М.[1,2], Белый А. С.[1]

[1] *Институт проблем переработки углеводородов СО РАН (Российская Федерация, Омск, Нефтезаводская, 54)*
[2] *Омский государственный технический университет (Российская Федерация, Омск, Мира, 11)*

Востребованность технологии изомеризации C_{7+} н-алканов до их разветвленных изомеров с высоким октановым числом многократно возрастает в связи с переходом мировой нефтепереработки на стандарты Евро-6 [1]. Изомеризация является одним из наиболее эффективных путей компенсации потери октанового числа, вызванной удалением ароматических соединений. Основными каталитическими системами для процесса изомеризации C_{7+} парафинов рассматриваются два типа катализаторов: Pt/цеолит и Pt/WO_3/ZrO_2 [2, 3]. Модифицирование индием позволяет улучшить активность, селективность и стабильность подобных систем в реакциях изомеризации C_4-C_7 углеводородов [2–4].

Были синтезированы катализаторы Pt/In-BEA-Al_2O_3 с содержанием от 0 до 1 %мас. In. Введение индия из $In(NO_3)_3$ осуществляли на стадии пептизации композитного носителя уксусной кислотой. Прокаленные при 500°C носители пропитывали H_2PtCl_6, чтобы получить 0.3 %мас. Pt в составе катализатора. Прошедшие сушку при 120 °C катализаторы были охарактеризованы с помощью элементного анализа, рентгенофазового анализа, низкотемпературной адсорбции-десорбции азота. Каталитические испытания проводили на микрокаталитической установке проточного типа в изотермическом реакторе при условиях: давление 1.5 МПа, объемная скорость подачи сырья (ОСПС) $2ч^{-1}$, H_2/сырье = 3/1 (моль) и температуре 260°C.

В работе изучено модифицирующее действие и сопоставлены каталитические свойства Pt/xIn-BEA-Al_2O_3 систем в реакции изомеризации н-гептана с кислотностью поверхности и степенью взаимодействия платины и индия в катализаторах. Показано, что оптимальное содержание индия в составе Pt/BEA-Al_2O_3 катализатора изомеризации н-гептана находится в диапазоне 0.1–0.3 %мас.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы по направлению V.46, проект № V.46.2.4 (Номер госрегистрации в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА-А17-117021450095-1).

Библиографический список

1. А.Н. Шакун, ИЗОМАЛК – опережая глобальные тренды // Oil Market. – 2018. – № 1. – С. 26–33.
2. Патент РФ № 2162012 Опубл. Январь 20, 2001.
3. Y. Nie, S. Shang, X. Xu, W. Hua, Y. Yue, Z. Gao, In_2O_3-doped Pt/WO_3/ZrO_2 as a novel efficient catalyst for hydroisomerization of n-heptane //Appl. Cat. – 2012. – V. 69. – P. 433–434.
4. F.B. Passos, D.A.G. Aranda, M. Schmal, Characterization and Catalytic Activity of Bimetallic Pt-In/Al_2O_3 and Pt-Sn/Al_2O_3 Catalysts // J. of Catal. – 1998. – V. 178. – P. 478–488.

УДК 661.482; 661.488; 661.862; 661.865

ВОЗМОЖНОСТИ ИОНООБМЕННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЗЭ ИЗ КОНЦЕНТРАТА ПОСЛЕ ФТОРИДНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ КАТАЛИЗАТОРА КРЕКИНГА

Погодаева М. А.[1], Богданова А. О.[1], Горбулич Л. А.[1], Борисов В. А.[2,3], Адеева Л. Н.[1]

[1] *Омский государственный университет им Ф. М. Достоевского, Россия, Омск, проспект Мира, 55 «а»*
[2] *Омский государственный технический университет, Россия, Омск, проспект Мира, 11*
[3] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, 644065, Россия, Омск, Нефтезаводская улица, 54*

Переработка промышленных отходов, содержащих редкоземельные элементы (РЗЭ) с каждым годом приобретает все большее промышленное значение. В качестве сырьевого источника может быть использован отработанный катализатор крекинга нефти, имеющий в своем составе до 1,0 % (масс.) РЗЭ. Для получения концентрата РЗЭ в качестве «вскрывающего» реагента было решено использовать фторид аммония. При

температуре 190 °С, времени спекания 45 минут и избытке фторида аммония 1,25 степень фторирования достигает 81 %. Удаление соединений кремния и алюминия проводили с помощью водного выщелачивания хорошо растворимых гексафтораммонийных комплексов. Получили остаток с концентрацией РЗЭ 3,75 % (масс.), включающий мешающие примеси железа – 8,6 % (масс.) и алюминия – 23,3 % масс. в виде NH_4AlF_4, растворяющегося значительно хуже, чем $(NH_4)_3AlF_6$ [1].

В качестве метода извлечения ионов РЗЭ из получаемого концентрата был изучен ионный обмен на катионите Purolite C-100H, содержащий сульфогруппы и хелатная смола Purolite S-957 [2,3] на примере модельных растворов хлорида лантана. Величина сорбционной емкости смолы Purolite C-100H по ионам лантана составляет 1,28 ммоль/г, а хелатной смолы Purolite S-957 0,733 ммоль/г.

Для определения возможности селективного извлечения редкоземельных элементов в присутствии соединений алюминия и железа были рассчитаны коэффициенты распределения и разделения ионов для обеих смол. Данные представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Значения коэффициентов распределения и разделения для ионов лантана, железа и алюминия на смолах Purolite S-957 и Purolite C-100-H

Ионообменная смола	Коэффициент распределения	Коэффициент разделения			
	La(III)	Fe(III)	Al(III)	Fe(III)	Al(III)
Purolite C-100-H	847	59	372	14	2
Purolite S-957	792	1850	51	0,4	15

Из данных по коэффициентам распределения можно сделать вывод о том, что обе смолы эффективно извлекают РЗЭ из растворов, содержащих алюминий и железо ($К_{распр}$ = 847 для Purolite C-100H, $К_{распр}$ = 792 для Purolite S-957). Коэффициенты разделения, величина которых больше единицы, свидетельствуют о том, что катионит Purolite C-100H может быть использован для извлечения ионов лантана из растворов, содержащих алюминий и железо.

Библиографический список

1. А.О. Богданова А.О, Л.А. Горбулич, В.А. Борисов, Л.Н. Адеева, Фторирование катализатора крекинга, содержащего редкоземельные элементы // XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. В 6 т. Т. 2b: тез. докл. – Санкт-Петербург, 2019. – С. 98.

2. Херинг Р. Хелатообразующие ионообменники: пер. с нем. – М.: Издательство «Мир», 1971. – 263 с.

3. А.В. Гоголев, М.В. Никонов, И.Г. Тананаев, Б.Ф. Мясоедов. Отделение трехвалентных актиноидов и редкоземельных элементов от примесей железа с применением некоторых комплексных соединений // Радиохимия. – 2005. – Т. 47. – № 6. – С. 534–535.

УДК 544.478

ПОЛУЧЕНИЕ КОНЦЕНТРАТА РЗЭ ИЗ ОТРАБОТАННОГО КАТАЛИЗАТОРА КРЕКИНГА СУЛЬФАТНО-ФТОРИДНЫМ СПОСОБОМ

Лосева Е. А.[1], Борисов В. А.[1,2], Богданова А. О.[3], Адеева Л. Н.[3]

[1] *Омский государственный технический университет*
[2] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН*
[3] *Омский Государственный университет им. Ф. М. Достоевского*
г. Омск

Всё большую ценность в промышленности приобретают редкоземельные металлы (РЗЭ), которые применяются во многих отраслях промышленности: чёрной металлургии (как добавки для стали), радиоэлектронике, электротехнике, лазерах, ЭВМ, светотехнике и так далее [1]. В отработанном катализаторе крекинга (ОКК), марки «Авангард-2», производимого на Омском НПЗ, содержится 1% La и Ce [2], что сопоставимо с их содержанием в промышленно перерабатываемых рудах. Рассмотрена методика выделения РЗЭ из ОКК с использованием вскрывающих агентов H_2SO_4 и NH_4F. В результате взаимодействия SiO_2 удаляется из ОКК, а Al_2O_3 превращается в сульфат. Соединения La, Ce, Mg переходят в нерастворимые фториды. После отмывки остатка получен фторидный концентрат La и Ce с примесью Mg. В основе методики лежит полный факторный эксперимент 2^4. Варьировались масса NH_4F (1.24÷1.46 г), объём H_2SO_4 (1.06÷1.21 мл),

длительность (20÷40 мин) и температура (150÷200 °С) обработки [3]. Была взята навеска ОКК – 0.5 г. Наибольшая степень удаления мешающих компонентов – 98.5 %, наименьшая – 72.2 %. Получена зависимость, согласно которой на остаток в большей степени влияют объём H_2SO_4 и время обработки, в меньшей степени – температура обработки и масса NH_4F. Методами ИК-спектроскопии [4] и РФА было определено, что основные фазы в концентрате – $Al_2F_2SiO_4$ (топаз), SiO_2, фториды La и Ce. Методом СЭМ с энергодисперсионным анализом подтверждено равномерное распределение топаза по концентрату [5]. Также заметны остатки непрореагировавшего Al_2O_3.

Библиографический список

1. Постолатьева А.А. Редкоземельные месторождения – особенности, сложности и перспективы // Золото и технологии. – 2013. – С. 32–36.

2. Пат. 2 300 420 (опубл. 2007). Способ приготовления микросферического катализатора для крекинга нефтяных фракций.

3. Montgomery D. // Design and analysis of experiments. – 2012. – С. 757.

4. Пентина Ю. А. “Мир”, М., 1991 (К. Nakamoto – Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds. New York: J.Wiley & Sons, Ink.)

5. Астахова И.С. Геммологическая экспертиза коллекции ограненного топаза // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – Т. 8. – С. 78–81 .

УДК 621.892.26/.274

УМЕНЬШЕНИЕ ВЫМЫВАЕМОСТИ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

Корнеев С. В.[1,2], Чуденкова В. Н.[1], Смолоногов Д. С.[1], Пашукевич С. В.[1]

[1] *Омский государственный технический университет (Россия, г. Омск, Пр. Мира, д. 11)*

[2] *Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ) (Россия, г. Омск, Пр. Мира, д. 5)*

Пластичная смазка – это продукт диспергирования загустителя в жидком смазывающем материале, который обладает свойствами от жидкой до твердой консистенции [1].

Основное назначение пластичной смазки – это уменьшение износа поверхностей узлов трения для увеличения срока службы деталей машин и механизмов. Также помимо уменьшения износа пластичная смазка выполняет другие немало важные функции, например, защищает поверхность трения, герметизирует зазоры, предохраняет механизмы от коррозии и т. д. [2].

В связи с недостаточной стабильностью работы смазок в присутствии воды целью данной работы является уменьшение вымываемости пластичной смазки за счет введения в состав дополнительных загустителей. Как известно, повысить адгезионные свойства пластичных смазок можно путём введения твёрдых углеводородов церезина и озокерита [3].

В данной работе оценка вымываемости производится по разработанному внутреннему стандарту СТО 05728315-001-2018. Сущность данного метода заключается в следующем: испытуемой пластичной смазкой заполняют шарикоподшипник, взвешивают, затем закрепляют на вращающийся вал, который погружен в резервуар с водой. Далее подготовленные шарикоподшипники оставляют погруженными в воду в течение 24 часов. По истечению 24 часов начинают испытание. Испытание проводят в течение 360±5 мин., скорость вращения вала 63±3 рад/с. По завершению испытания шарикоподшипники снимают с вала, достают и просушивают. Стойкость смазки к вымыванию водой оценивают путём повторного взвешивания по количеству вымытой смазки из шарикоподшипника.

Церезин представляет собой смесь предельных углеводородов, состоящую преимущественно из слаборазветвленных изоалканов. Озокерит, в свою очередь, имеет немного иной состав, он состоит из смеси углеводородов нафтенового ряда, минеральных масел и смолисто-асфальтеновых веществ.

Присутствие церезина и озокерита в составе обеспечивает уменьшение вымываемости пластичной смазки за счет того, что эти компоненты образуют комплекс с литиевым мылом 12-оксистеариновой кислоты (загуститель Литол-24). Хорошим примером является то, что у церезина и озокерита низкая температура плавления, порядка 80 °С (зависит от марки, которые делятся в основном по температуре плавления), но, смешиваясь с литиевым мылом, средняя температура каплепадения которого составляет 200 °С, эта проблема полностью исчезает, а пластичная смазка на литиевом загустителе, которая изначально обладает гораздо более низкой вымываемостью, приобретает повышенную стойкость к вымыванию водой.

Для испытания были подготовлены два вида образцов. Первый – это смесь основы, под которой подразумевается пластичная смазка Литол – 24 и 3 % церезина. Второй образец состоял из основы (Литол-24) и 3 % озокерита. Результаты вымываемости двух выше приведенных образцов были сопоставлены с результатом пластичной смазки Литол-24. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты испытаний

Образец	Вымываемость, %
Смазка №1	9,64
Смазка №2	10,96
Литол – 24	15,27

Из таблицы 1 отчетливо видно, как отличаются массы вымытой смазки по сравнению со смазкой Литол-24, сами же образцы смазки с церезином и озокеритом имеют минимальные отличия.

Библиографический список

1. Васильева Л.С. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1996. – 521 с.

2. Ваванов В.В., Вайншток В.В., Гуреев Л.А. Автомобильные пластичные смазки. – М.: Транспорт, 1986. – 144 с.

3. Гриб В.В., Буяновский И.А. Смазочные материалы и смазка деталей машин : учебное пособие / МАДИ (ГТУ). – М., 2008. – 80 с.

УДК 004.85 : 544.22

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПРОЧНОСТИ АЛЮМООКСИДНЫХ НОСИТЕЛЕЙ КАТАЛИЗАТОРОВ

Белопухов Е. А.[1,2], Трегубенко В. Ю.[1,2]

[1] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Россия, Омск, ул. Нефтезаводская, 54*
[2] *Омский государственный технический университет, Россия, Омск пр. Мира, 11*

Присутствие методов машинного обучения в широком спектре академических исследований, разнообразных отраслях бизнеса и в промышленных технологиях возрастает с каждым годом. Несмотря на часто завышенные ожидания относительно возможностей данных методов, они прекрасно справляются со своей основной задачей: анализом опытных данных и извлечением из них смысловой информации.

Деревья решений и случайный лес являются методами машинного обучения для изучения статистической взаимосвязи между одной зависимой переменной (в нашем случае механической прочностью) и несколькими независимыми переменными – предикторами. Сегодня эти методы широко используется для задач прогнозирования и классификации в маркетинге, банковском деле, биологии и медицине. Деревья решений эффективны, когда взаимосвязи между предикторами и зависимой переменной нелинейны, а пременные имеют несимметричные распределения. Деревья устойчивы к выбросам и пропущенным значениям и по всем своим параметрам подходят для моделирования прочности тонкодисперсных тел.

Целью данной работы является исследование прочностных характеристик композиционных носителей для катализаторов на основе γ-Al_2O_3, приготовленных с использованием отходов в виде помола отсева сушеного либо прокаленного носителя, исследование связи этих характеристик с текстурными параметрами носителей и способами их приготовления, а также построение статистической модели прочности алюмооксидных носителей катализаторов на основе полученных зависимостей.

Измерение прочности носителей проводили на прочномере катализаторов «Линтел» ПК-21, в статических условиях методом поперечного разреза. Количество испытаний одного образца – 48. Статистическая обработка результатов измерения прочности с определением мер центральной тенденции и мер изменчивости проводились в среде программирования R. Предварительная подготовка данных, включающих прочностные характеристики, текстурные параметры, условия синтеза и состав катализаторов, а также прогнозное моделирование методом деревьев решений и случайного леса проводились преимущественно с использованием библиотек pandas и scikit-learn на языке Python.

При построении модели дерева решений и случайного леса в качестве зависимой переменной рассматривали среднюю механическую прочность носителей. В качестве независимых переменных использовали массовые доли помола сушеного и прокаленного носителя, текстурные характеристики носителей, состав катализатора и условия синтеза.

Построенный в данной работе случайный лес состоит из 300 решающих деревьев. Визуализация одного из деревьев решений приведена на рисунке 1.

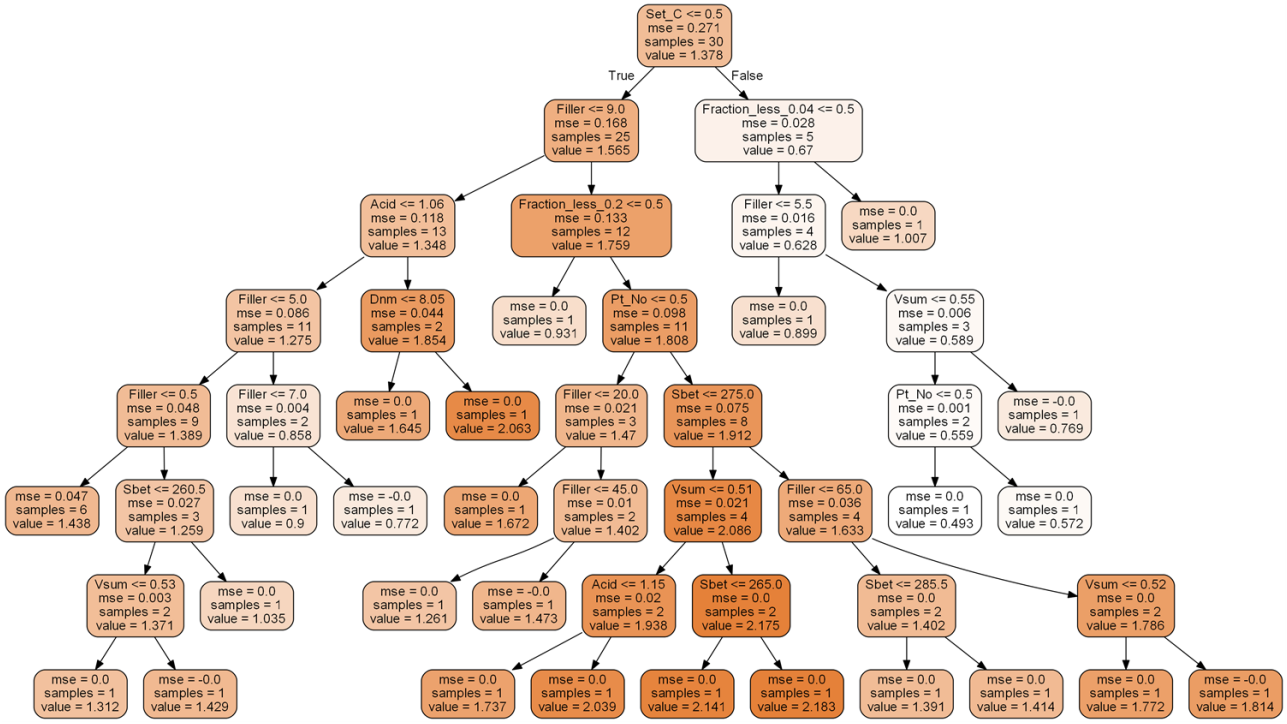


Рис. 1. Одно из трехсот решающих деревьев случайного леса модели предсказания прочности катализаторов

Проведена оценка важности независимых переменных, на основе которой становятся очевидными основные возможные способы регулирования механической прочности алюмооксидных носителей катализаторов.

Построенная модель предсказания прочности катализатора методом случайного леса согласуются с экспериментальными данными и хорошо прогнозирует значение независимой переменной.

Финансирование. Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (Проект № 18-33-00791).

УДК 662.767.1

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА МЕТОДОМ ГАЗОГИДРАТНОГО ОБОГАЩЕНИЯ

Николаев А. И.[1,2], Портнягин А. С.[1], Калачева Л. П.[1], Соловьёва С. А.[1]

[1] *«Институт проблем нефти и газа СО РАН» ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН» (Россия, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1)*

[2] *Якутский газоперерабатывающий завод АО «Сахатранснефтегаз» (Россия, г. Якутск, ул. Кирова, 18 блок «В»)*

В работе изучена возможность применения гидратообразования для обогащения природного газа гомологами метана С2-С4.

Ранее, в Институте проблем нефти и газа СО РАН, была предложена технология получения газовых гидратов изо льда и природного газа [1]. Также в работе [2] было показано, что при образовании гидратов природного газа происходит повышение «жирности» вовлеченного в гидрат газа за счет концентрирования компонентов С2-С4. Объединив эти знания, можно предложить метод первичной обработки газового сырья

непосредственно на месторождениях с целью концентрирования и хранения компонентов газа С2-С4 в газогидратной форме.

С этой целью было проведено исследование образования и разложения газовых гидратов, полученных из дистиллированной воды и природного газа Отраднинского газоконденсатного месторождения (ГКМ). В работе также были исследованы гидраты, полученные из 5% раствора хлорида натрия, имитирующего морскую воду, так как данный метод предполагается применять и на месторождениях углеводородов, расположенных на шельфе Арктических морей.

В ходе проведения эксперимента по образованию гидратов природного газа, были построены кривые зависимости газопоглощения от времени, нормированные на начальное давление газа. Кривые газопоглощения в дистиллированной воде и в растворе хлорида натрия различаются, что, возможно, свидетельствует о разных механизмах гидратообразования. Установлено, что при образовании гидрата в 5% растворе хлорида натрия поглощается на 8% больше газа по сравнению с дистиллированной водой.

После разложения гидратов были построены кривые зависимости объёмов, выделившихся при разложении гидратов, газа от времени. При разложении гидратов, полученных в растворе хлорида натрия, выделилось на 52% больше газа по сравнению с гидратами, полученными в дистиллированной воде. По объёму газов была рассчитана степень разложения гидратов, так как эта величина является основным показетелем их устойчивости при хранении.

Для хранения гидратов основным показателем является их устойчивость, которая оценивается как время разложения 50% полученных гидратов $\tau_{0,5}$. Так $\tau_{0,5}$ гидратов, полученных в дистиллированной воде (60 сек.), меньше $\tau_{0,5}$ гидратов, синтезированных в растворе NaCl (75 сек.). Это свидетельствует о том, что гидраты, образованные в растворе хлорида натрия, более устойчивы.

Анализ компонентного состава газа до и после гидратообразования показал, что относительная плотность газа, связанного в гидрат, выросла на 5,5%, а теплоты сгорания – на 16–28% в зависимости от используемой среды гидратообразования. Показано, что в процессе гидратообразования происходит увеличение концентрации компонентов С2-С4 в 2,5 раза по сравнению с исходным природным газом. Причем, в гидрате образованном в растворе хлорида натрия, содержание этих компонентов больше на 57,5% по сравнению с гидратом, синтезированным в дистиллированной воде. Такое концентрирование углеводородов С2-С4 приводит к повышению коэффициента эффективности обогащения газа в гидратах, полученных в растворе хлорида натрия на 10% по сравнению с гидратами, полученными в дистиллированной воде.

Таким образом гидратообразование является достаточно эффективным методом обогащения природного газа более тяжелыми гомологами метана для повышения его теплотворной способности с дальнейшим хранением в газогидратной форме.

Библиографический список

1. Семенов М.Е., Шиц Е.Ю., Портнягин А.С. Способ получения гидратов природного газа и разработка на его основе концептуальной технологической схемы процесса их производства // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2016. – № 3 – С. 53–58.

2. Калачева Л.П. Влияние состава вод хлоридно-кальциевого типа на свойства гидратов природного газа / Л.П. Калачева, И.И. Рожин // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2017. – Т-12. – № 3. – http://www.ngtp.ru/rub/9/25_2017.pdf.

УДК66.011

САМОСБОРКА МОНОСЛОЕВ 1,3,5-ТРИСПИРИДИЛ-БЕНЗОЛА И ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ Au(111): РЕШЕТОЧНАЯ МОДЕЛЬ

Горбунов В. А., Соловьева О. С., Стишенко П. В., Фадеева А. И.

ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр. Мира, д. 11

Молекулярная самосборка позволяет создавать двумерные металлоорганические монослои на поверхности твердого тела с уникальными химическими и физическими свойствами [1, 2]. В данной работе рассмотрена самосборка металлорганического слоя 1,3,5-триспиридил-бензола (TPyB) и нескольких переходных металлов на поверхности Au (111). Несмотря на ряд исследований, связанных с этими самоорганизующимися структурами, до сих пор не ясна зависимость структуры адсорбционного слоя от его состава [2–5].

На основе экспериментальных данных была разработана простая решеточная модель TPyB/Me на поверхности Au (111). Она включает в себя двойные и тройные координационные взаимодействия: две

молекулы с одним атомом металла (ω_d) и три молекулы с одним атомом металла (ω_t) соответственно. Относительная энергия этих координационных взаимодействий и, как следствие, фазовое поведение адсорбционного слоя, очевидно, зависит от типа металлического центра. В связи с этим, анализ влияния типа металлического центра на самосборку в рассматриваемой системе проводился нами для ряда переходных металлов: Cu, Fe, Ag, Co, Ni. Соотношение ω_t/ω_d и заряд металлов на поверхности Au (111) рассчитывались с помощью методов теория функционала электронной плотности (GGA/PBE). Использованы два подхода для поиска возможных структур металлоорганических монослоев и построения фазовой диаграммы основного состояния этой модели. Первый метод является детерминированным и исходит из условия минимума большого термодинамического потенциала для экспериментально полученных фаз, второй метод – эволюционные алгоритмы.

Анализ основного состояния модели показал наличие гомологического ряда «цветочных» фаз, образованных в результате двух- и трехкратных координационных взаимодействий. Для проверки существования предсказанных металлорганических структур при ненулевых температурах и изучения влияния парциальных давлений компонентов на фазовое поведение монослоя использовано моделирование методом Монте-Карло в большом каноническом ансамбле, реализованное с помощью программы SuSMoST [6]. Замена атомов меди другими переходными атомами металлов показала, что количество образующихся фаз и области их существования меняются, так как соотношение ω_t/ω_d различно в зависимости от выбора металла.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-71-20053).

Библиографический список

1. L. Dong, Z. Gao, N. Lin, Self-assembly of metal–organic coordination structures on surfaces // Progress in Surface Science. – 2016. – № 91. – С. 101–135.

2. J. Zhang, B. Zhao, C. Ma, Z. Yang, Prediction of intrinsic two-dimensional non-Dirac topological insulators in triangular metal-organic frameworks // Applied Physics Letters. – 2019. – № 114. – С. 043102.

3. J. Liu, T. Lin, Z. Shi, F. Xia, L. Dong, P.N. Liu, N. Lin, Structural transformation of two-dimensional metalorganic coordination networks driven by intrinsic in-plane compression // Journal of the American Chemical Society. – 2011. – № 133. – С. 18760–18766.

4. Z. Shi, J. Liu, T. Lin, F. Xia, P.N. Liu, N. Lin, Thermodynamics and Selectivity of Two-Dimensional Metallo-supramolecular Self-Assembly Resolved at Molecular Scale // Journal of the American Chemical Society. – 2011. – № 133. – С. 6150–6153.

5. J. Zhang, B. Zhao, T. Zhou, Y. Xue, Y. Fang, C. Ma, Z. Yang, Topologically trivial states induced by strong spin-orbit coupling and Chern insulators in doped $X(C_{21}N_3H_{15})$ (X=Ta, Hf) metal-organic frameworks // Physical Review B. – 2019. – № 99. – С. 035409.

6. SuSMoST: Surface science modeling and simulation toolkit. – URL: http://susmost.com.

УДК546.26: 542.97: 547.21: 546.72

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Канева О. Н.[1], Райская Е. А.[2], Шарун И. В.[1], Кривонос О. И.[2], Бельская О. Б.[1,2]

[1] *Омский государственный технический университет, Российская Федерация, 644050 Омск, просп. Мира, 11*
[2] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Российская Федерация, 644040 Омск, ул. Нефтезаводская, 54*

Благодаря своим уникальным физико-химическим и геометрическим свойствам углеродные материалы пенной структуры являются перспективными для применения в различных областях науки и техники [1–2].

В ЦНХТ ИК СО РАН предложен синтез ячеистого пеноуглерода с использованием пиролиза пропан-бутановой смеси [3]. Данный метод является двухстадийным – на первой стадии получаются жидкие продукты пиролиза, на второй стадии осуществляется их высокотемпературный (850 °С) нагрев (вспенивание) с образованием ячеистого пеноуглерода.

Установлено [4], что данные жидкие продукты (ЖП), представляют собой сложную многокомпонентную смесь, а информация о ее составе важна для оптимизации выхода целевого пеноуглерода, а также для его дальнейшего получения как из модельных, так и из технических продуктов.

Для преобразования имеющегося массива данных о компонентном составе ЖП (полученных на хромато-масс-спектрометре 6890/5973N фирмы «Agilent Technologies») в структурированный формат, пригодный для автоматической обработки, было разработано и реализовано программное обеспечение, позволяющее переводить данные в формат, удобный для машинной обработки (Парсер). Предобработанные с помощью

парсера результаты экспериментов были проанализированы: найдены все вхождения соединений в результаты и найдены средние значения наблюдений. Таким образом были установлены наиболее часто встречающие 13 компонентов (нафталин, 1,1’-бифенил, аценафтилен, 9Н-флуорен, антрацен, фенантрен, флуорантен, пирен, ацепирен, трифенилен, бенз[е]ацефенантрилен, бензопирен, бензо[ghi]перилен) присутствующие во всех хроматограммах и вероятно необходимые для получения пеноуглерода ячеистой структуры.

Проанализирован примерный состав ЖП по трем газовым средам (аргон, азот, гелий) и установлено, что наибольшее количество тяжелых (высококипящих) компонентов содержащих 4-х и 5-и цикловые соединения наблюдается в среде азота. Показано, что доля 2–3 цикловых соединений, которые имеют более низкую температуру кипения в среде аргона выше по сравнению с азотом и гелием.

Данные расчетов хорошо согласуются с результатами других аналитических методик. Так, с использованием метода последовательной экстракции было установлено, что основная доля ЖП представлена асфальтенами и мальтенами, при этом наибольшее количество асфальтенов, для которых характерна полиароматическая структура, получены в среде азота, а наибольшее количество мальтенов обладающих более низкой молекулярной массой получены в среде аргона.

Таким образом, показано, предложенный метод математической обработки может быть применен для упрощения исследовательской работы, в частности сокращения времени анализа сложных многокомпонентных смесей.

Работа выполнена в рамках государственного ЦНХТ ИК СО РАН в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы по направлению V.45, проект № V.45.2.8 (номер гос. регистрации в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА-А19-119050790074-9).

Исследование проведены с использованием оборудования ЦКП «Национальный центр исследования катализаторов» ИК СО РАН.

Библиографический список

1. R. Pastore, A. Delfini, D. Micheli, A. Vricella, M. Marchetti, F. Santoni, F. Piergentili. Carbon foam electromagnetic mm-wave absorption in reverberation chamber // Carbon. Volume 144, April 2019. – P. 63–71.

2. Jiang-ying Qu, Qing Han, Feng Gao, Jie-shan Qiu. Carbon foams produced from lignin-phenol-formaldehyde resin for oil/water separation // New Carbon Materials. Volume 32, I. 1, February 2017. – P. 86–91.

3. Патент РФ № 2674201C1. Е.А. Райская, О.Б. Бельская, В.А. Лихолобов, А.В. Лавренов. Способ получения ячеистого пеноуглерода. 2018.

4. E.A. Rayskaya, O.B. Belskaya, V.A. Likholobov. Synthesis of carbon foam with cellular structure by pyrolysis of light alkanes // Materials Today: Proceedings. 2018. V. 5. N 12. – P. 25962–25965.

УДК66.001

ФАЗОВОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТЕРМИНИРОВАННОГО КИСЛОРОДА НА ЛИСТЕ MXENES V_2C

Каюмова Т. Р.[1], Стишенко П. В.[1]

[1] *ФГБОУ «Омский государственный технический университет», 644050, Россия, Омск, пр. Мира, 11*

MXen-ы – это новый класс двумерных материалов. При нормальных условиях поверхности обычно функциализируются окончаниями –O, -OH [1].

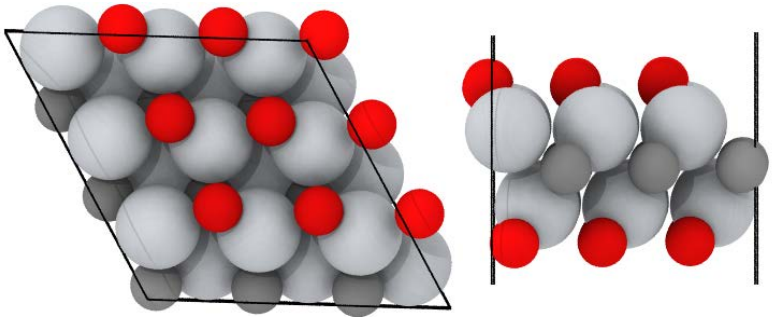


Рис. 1. Лист MXen-а Ti_2C терминированный кислородом

Мы исследовали систему MXen-а V_2CO_2 методом теории функционала плотности. Рассчитали свободную энергию кислорода в газовой фазе на широком диапазоне температур и давлений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-90243.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова [3].

Библиографический список

1. B. Anasori, M.R. Lukatskaya, Y. Gogotsi. 2D metal carbides and nitrides (MXenes) for energy storage // Nature Reviews. – 2017. – № 2. 16098(1)-16098(17).

2. Воеводин Вл.В., Жуматий С.А., Соболев С.И., Антонов А.С., Брызгалов П.А., Никитенко Д.А., Стефанов К.С., Воеводин Вад. В. Практика суперкомпьютера "Ломоносов" // Открытые системы. – Москва: Издательский дом "Открытые системы". – № 7. – 2012. – С. 36–39.

УДК 54.061:662.73

ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ СОСТАВА ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ ОЖИЖЕНИЯ САПРОПЕЛЯ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА ЭТАНОЛОМ В СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Кривонос О. И.[1], Копытов М. А.[2], Бельская О. Б.[1]

[1] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Омск, Россия*
[2] *Институт химии нефти СО РАН, Томск, Россия*

В последние годы активно ведутся работы по применению высокотехнологичных современных подходов в переработке природного углеродсодержащего сырья для получения искусственного жидкого топлива, так называемой бионефти, и продуктов для химической промышленности [1]. Все большую популярность набирает технология, использующая сверхкритические флюиды. Растворители, находящиеся в сверхкритических условиях, характеризуются, с одной стороны, низкой вязкостью, низкой диэлектрической проницаемостью, а с другой – высокой плотностью. Таким образом, при проведении в них ожижения углеродсодержащего сырья, происходит разрушение водородных связей, т.е. он ведет себя не только как растворитель, но и участвует в окислительно-восстановительных реакциях [2, 3]. Известны работы по превращению асфальтита, липтобиолитовых, каменных и бурых углей в среде сверхкритической воды и низших алифатических спиртах, горючих сланцев в сверхкритическом бензоле.

При этом анализ жидких продуктов термохимической переработки природного органического сырья до сих пор представляет сложную задачу в виду многокомпонентного состава. Таким образом, использование физико-химических методов разделения сложных смесей совместно с применением современных методов анализа, позволяет более детально исследовать состав продуктов.

Целью данной работы являлось исследование состава жидких продуктов ожижения сапропеля в сверхкритическом этаноле с применением различных инструментальных и химических методик.

Первоначально получены данные о влиянии условий ожижения сапропеля на конверсию и выход жидких и легколетучих продуктов. Методами ГХ-МС, ИК, ЯМР-спектрометрии показано, что основная доля жидких продуктов ожижения приходится на сложные эфиры (41.81−46.50%), алкилпроизводные фенола (9.51−21.56%) и азотсодержащие соединения (12.92−20.30%). Добавление водорода и катализатора позволяет снизить содержание гетероатомных соединений в жидких продуктах при одновременном увеличении содержания водорода с 7.26 до 8.86 (%). Методом, разработанным в ИХН СО РАН, изучен компонентный состав жидких продуктов ожижения в сверхкритическом этаноле. Показано, что введение катализатора и газообразного водорода увеличивает выход масел в мальтеновой фракции в 1,5 раза. На основе данных ПМР-спектроскопии, элементного состава и средней молекулярной массы жидких продуктов изучен структурно-групповой анализ (СГА) [4]. СГА жидких продуктов показал, что усредненная молекула представляет собой 5-6 членный цикл ароматической структуры, содержащей 11 атомов углерода, а также гетероатом в α-положении и линейные заместители алкильной природы.

Библиографический список

1. Sunggyu Lee, Shah Y.T. Biofuels and bioenergy: processes and technologies. Taylor & Francis Group, 2012. – 341 p.

2. E. Stahl, K.-W. Quirin and D. Gerard. Verdichtete Gase zur Extraktion und Raffination.Berlin: Akademie-Verlag. 1987. – 260 p.

3. John R. Kershaw. // J. Supercritical Fluids. 1989. Vol. 2. – P. 35−45. https://doi.org/10.1016/0896-8446(89)90008-9
4. Камьянов В.Ф., Филимонова Т.А., Горбунова Л.В., Лебедев А.К., Сивирилов П.П. и др. Химический состав нефтей Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1988. – 288 с.

УДК 543.42

УТИЛИЗАЦИЯ ИОНОВ-ХЛОРА В ВОДНОЙ ВЫТЯЖКЕ БУРОВОГО ШЛАМА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Белявская О. Ш., Двойникова А. В., Слуцкая К. А.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Россия, г. Тюмень

Многолетняя разработка месторождений углеводородного сырья в условиях Западной Сибири привела к нарушению естественного равновесия компонентов природных сред в результате загрязнения, что требует поиска эффективных путей решения в данной области. Особые сложности при утилизации отходов добычи углеводородного сырья на севере Тюменской области связаны с длительным периодом с отрицательными температурами и образованием большого объема отходов бурения.

Экологическая опасность буровых шламов заключается в химическом загрязнении всех природных сред. Следует отметить, что химический состав отходов бурения различен и зависит от геолого-технических особенностей месторождения, принятой технологии бурения, системы водоснабжения и т.д.

Правильно подобранный состав и соответствующие ему свойства буровых растворов позволяют обеспечивать безопасное и безаварийное ведение работ при высокой скорости бурения и добиваться высокого качества вскрытия пластов [1]. Состав буровых растворов разнообразен и в зависимости от назначения, методов приготовления и регулирования свойств, применяемых при бурении скважин в различных геологических условиях, меняется содержание веществ, которые могут представлять опасность для окружающей среды.

Для анализа были отобраны образцы шлама из шламового амбара Нивагальского месторождения Ханты-Мансийского АО. Химический состав бурового шлама определен методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии (XRF). На рисунке 1 представлены результаты исследования образцов бурового шлама.

12.11.2019 2:24:53 PM
Calculated by UniQuant
Thermo Fisher Scientific

ARL OPT-2148 Rh 50kV LiF200 InSb AX06
Method : X_UQ_He
Kappa List : GLINY AnySample
Shapes & : Teflon
Calculated as : Oxides + C02
Case Number : 0 = All known

Measured on : 12.10.2019 2:21:28 PM
X-ray Path: : Helium
Film Type : PP 6mu
Collimator : 29 mm
Viewed = 7.18 mm
Viewed Area = 40.54 mm
Viewed Mass = 600.00 mg

Reporting Level > 10 ppm and wt% > Est.Err.

Sample Height = 3.38 mm

Compound	Wt%	Est.Error	Element	Wt%	Est.Error
BaO	53.07	0.63	Ba	47.53	0.56
P2O5	13.71	0.51	P	5.98	0.22
Cl	13.09	0.37	Cl	13.09	0.37
CaO	4.61	0.17	Ca	3.30	0.12
K2O	3.58	0.14	K	2.97	0.11
SO3	3.50	0.21	Sx	1.40	0.08
MoO3	1.78	0.51	Mo	1.18	0.34
SiO2	1.59	0.16	Si	0.743	0.07
Fe2O3	1.09	0.13	Fe	0.759	0.09
Al2O3	0.375	0.18	Al	0.199	0.10

Sum Weight% before normalization to 100% = 109.6 %
Total Weight% Oxygen
3.62 %CO2 was added for BaO.CO2, SrO.CO2, CaO.CO2 and MgO.CO2

Рис. 1. Результаты рентгенофлуоресцентной спектрометрии образцов бурового шлама

Наибольшее содержание в буровом шламе имеет барий (Ba)-47,53%, далее идет хлор (Cl)-13,09%, фосфор (P)-5,98%, кальций (Ca)-3,30%, калий (K)-2,97%, сера (S)-1,40%, молибден (Mo)-1,18%, железо (Fe)-0,759%, кремний (Si)-0,743%, алюминий (Al)-0,199%. Наибольшую опасность для экосистем представляет хлор [2, 3].

Для целей бурения в условиях вечной мерзлоты разработан специальный раствор – к хорошо прогидратированному бентонитовому раствору добавляют 2–3 кг/м3 NaCl. Именно этим объясняется высокое хлоридное загрязнение отходов добычи углеводородов в условиях Севера Тюменской области.

Классическим методом осаждения хлорид-ионов в анализируемом растворе [4] является протекание реакции в щелочной среде при добавлении соли серебра.

Минусом данного способа осаждения хлор-иона является получение кислой среды в очищенном растворе (pH = 3). При таком способе очищения от хлора сброс очищенной воды на рельеф невозможен.

Для решения данной проблемы предлагается следующий метод: в анализируемый раствор прибавляют раствор NH_4OH 25% и раствор с массовой долей $AgNO_3$ 2%. В результате выпадает белый творожистый осадок хлорида серебра (AgCl), а очищенная вода имеет щелочную среду (диапазон pH = 7–8).

На основании исследовательского поиска была разработана методика утилизации ионов-хлора из водной вытяжки бурового шлама севера Тюменской области.

Библиографический список

1. Булатов, А.И. Буровые промывочные и тампонажные растворы: учеб. пособие для вузов / А. И. Булатов, П. П. Макаренко, Ю. М. Проселков. – М.: Изд-во Недра, 1999. – 424 с.

2. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов / И. М. Гаджиев, В. М. Курачев, Ф. К. Рагим-заде [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. – 305 с.

3. Поведение химических загрязнителей в окружающей среде / И. Тинсли; перевод с англ. Л. А. Мазитова. – М. : Мир, 1982. – 280 с.

4. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I–IV групп / под ред. В. А. Филова и др. – Л.: Химия, 1988. – 512 с.

УДК 661.525.3 : 661.522.1

ПОЛУЧЕНИЕ УДОБРЕНИЙ ИЗ ОТРАБОТАННОЙ КИСЛОТНОЙ СМЕСИ ПРОИЗВОДСТВА НИТРАТОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Фазуллин Р. Х., Халитов Р. А., Хузиахметов Р. Х.

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, Казань, К. Маркса, 68

В условиях обострения экологической ситуации существенно возрастает роль создания безотходных производств и снижение вредных выбросов в атмосферу. На предприятиях, использующих в качестве нитрующего агента смесь азотной и серной кислот образуется большое количество отработанных кислотных смесей. Эти отходы производства невозможно отправить на слив. Предприятия несмотря на высокие расходы (в 5–6 раз выше стоимости новых кислот), вынуждены регенерировать смесь до концентрированных азотной и серной кислот, и отправлять их обратно в производственный цикл. Однако регенерация отработанных кислотных смесей сопровождается значительными кислотными газовыми выбросами в атмосферу виде NO_X, SO_2, тумана H_2SO_4 и HNO_3, [1]. С учетом того, что многие производства нитратов целлюлозы находятся в черте города (в частности Казанский пороховой завод находится на территории г. Казань), это приводит к ухудшению и без того тяжелой экологической ситуации. С экологической точки зрения существенным шагом является решение полного отказа от регенерации отработанных кислотных смесей.

Состав отработанной смеси кислот производства нитратов целлюлозы зависит от вида получаемой нитроцеллюлозы и содержит, масс. %: HNO_3 – 10÷18, H_2SO_4 – 23÷39, нитраты целлюлозы – не более 0,5%, H_2O – остальное [2].

Наиболее перспективным является решение переработки отходов производства в конечный целевой продукт – азотное и азотно-калийное минеральное удобрение с содержанием серы (N(S) и NK(S) удобрение).

Разработан простой и недорогой способ переработки отработанной кислотной смеси в сульфатонитрат аммония, представляющий собой N(S)-удобрение с соотношением N:S ≈ 1:(0,23-0,69) мас. (Соотношение N:S ≈ 1:0,23 соответствует требованиям ТУ 2181-036-00205311-08 «Селитра аммиачная серосодержащая») [3,4]. Сульфат и нитрат аммония в N(S) удобрении находится в виде двойной соли с избытком сульфата или нитрата аммония в зависимости от полученного соотношения N:S.

Недостатком предложенного способа получения сульфатонитрата аммония является необходимость улавливания паров аммиака. Для уменьшения использования аммиачной воды в качестве нейтрализатора кислотной смеси предложено использовать совместно с аммиачной водой некоторое количество чКОН. В результате образуется комплексное NK(S) удобрение с оптимальным для большинства растений содержанием главных элементов питания $N:K_2O:S=1:(0,5\text{-}2):(0,5\text{-}1)$ мас. При этом, за счет увеличения главных элементов питания в удобрении, уменьшается количество серы по отношению к главным элементам питания.

Внедрение предложенного способа утилизации смеси отработанных кислот приведет к уменьшению затрат на восстановление и возврат в цикл чистых кислот и затрат на очистку газовых выбросов в атмосферу.

Библиографический список

1. Л.В. Забелин, Р.В. Гафиятуллин, Г.Э. Кузьмицкий**.** Защита окружающей среды в производстве порохов и твердых ракетных топлив. – М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2002. – 174 с.

2. В.И. Гиндич, Л.В. Забелин, Г.Н. Марченко, Производство нитратов целлюлозы. Регенерация отработанных и рекуперированных нитрационных кислотных смесей. – М.: НПО «Информ ТЭИ», 1991. – 216 с.

3. Халитов Р.А., Махоткин А.Ф., Мадьяров Р.Р., Хайруллин Р.Р., Валеев И.И. Патент 2602097 РФ, 2016.

4. Р.А. Халитов, А.Ф. Махоткин, Р.Р. Хайруллин, Р.Р. Мадьяров, И.И. Валеев, Утилизация отработанной кислотной смеси производства нитратов целлюлозы // Вестник технологического университета. – 2015. – № 8. – С. 239–241.

УДК 661.521

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ СИБУНИТА НА АКТИВНОСТЬ Ru-Cs/Sib КАТАЛИЗАТОРОВ СИНТЕЗА АММИАКА

Борисов В. А.[1,2], Федотова П. А.[2], Иост К. Н.[1], Шляпин Д. А.[1]

[1] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Омск*
[2] *Омский государственный технический университет, Омск*

Синтез аммиака является одним из важных процессов в современной мировой промышленности. В данном производстве используют катализаторы на железе из-за дешевизны и широкой распространенности, но процесс идет при высокой температуре и давлении (500 °С и 30 МПа, соответственно). Использование нанесенного рутения вместо железа позволяет значительно снизить температуру (до 350 °С) и давление (до 7 МПа). В данной работе была подготовлена серия катализаторов Cs-Ru и Ba-Ru на Сибунитах с различной структурой пор и степенью графитизации для синтеза аммиака в мягких условиях (300–400 °С и 0,6 МПа). Целью данной работы является установление зависимости термической обработки Сибунита в системе Ru/Сибунит с различными промоторами и активностью катализатора в синтезе аммиака.

В качестве носителя был использован углеродный мезопористый материал Сибунит, с удельной поверхностью 303 $м^2/г$ и размером гранул в диапазоне 0,4–0,8 мм.

Размер частиц рутения у образца 4%Ru-13.7%Ba/Sib1400 составляет 3 нм, а у 4%Ru-13.6%Cs/Sib1400 – 5 нм. По данным локального элементного анализа нескольких областей катализаторов содержание рутения в образцах 4%Ru-13.7%Ba/Sib1400, 4%Ru-13.6%Cs/Sib1400 и 4%Ru-13.7%Ba/Sib20 составляет порядка 4 мас. %, что близко к расчётному значению.

Удельная активность для Cs-Ru/Sib1800 и Cs-Ru/Sib2000 составили 0,26 и 0,42 ммоль NH_3/(г Ru*час), соответственно. Наихудшие результаты показали Ru-Cs/Sib1600 и Ru-Cs/Sib20, их активность составила 0,068 и 0,028 ммоль NH_3/(г Ru*час).

Если сравнить величину потерь углерода в цезий содержащих катализаторах на основе носителя прокаленного при 1600–2000 °С с катализатором Ru-Cs/Sib1400, то количество углерода, прореагировавшего с образованием метана снижается до 70%. Вместе с тем, при сопоставлении образцов, содержащих цезий, в которых носитель был предварительно прокален при температурах 1600–2000 °С, с соответствующими немодифицированными системами, наблюдается противоречивый эффект возрастания количества потерь углерода.

Из данной работы можно сделать следующие выводы. Предварительная высокотемпературная обработка приводит к упорядочению структуры исходного углеродного носителя Сибунита. С ростом температуры предварительной обработки возрастает активность для всех образцов вне зависимости от используемого модификатора катализаторов. Так же с ростом температур высокотемпературной обработки Сибунита увеличивается термическая стабильность катализатора в восстановительной атмосфере.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 18-73-00255.

УДК 661.521

ОСНОВЫ ЗАМКНУТЫХ ХЛОРАММОНИЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Борисов В. А.[1], Крайденко Р. И.[2].

[1] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, ул. Нефтезаводская, 54, Омск, 644040, Россия*
[2] *ООО "Институт легких материалов и технологий" Ленинский проспект 6/21, Москва, 119049, Россия*

На современных химических предприятиях, перерабатывающих минеральное сырье, часто выделяют один ценный компонент, а остальные, сопутствующие элементы отправляют в отвал. В результате в России образуется порядка 7 млрд. тонн техногенных минеральных отходов в год. Отходы переработки руд, цветной металлургии, зола от сжигания углей содержат много ценных компонентов, которые вместо пользы приносят вред окружающей среде. Часто содержание многих редких, рассеянных и радиоактивных элементов в техногенном сырье превышает их содержание в рудах. Методам выделения ценных компонентов из техногенного сырья посвящено много исследований [1, 2]. Одним из перспективных методов является фтораммонийная технология, позволяющая комплексно перерабатывать даже алюмосиликатные руды. Однако, при значительном содержании алюмосиликатной матрицы, или при её отсутствии рациональнее использовать более мягкие, легко регенерируемые вскрывающие агенты, такие как NH_4Cl или $(NH_4)_2SO_4$. Выделение из сырья Fe, Mn, Ca, Co, Ni, Cu, Zn, РЗЭ и других элементов можно производить с помощью NH_4Cl, однако, для этого необходимо знать как NH_4Cl реагирует с их соединениями.

В нашей работе проведено исследование взаимодействия оксидов элементов 4 периода с хлоридом аммония и выявлены общие закономерности. Согласно термодинамическим расчетам CaO, MnO, MnO_2, CoO, NiO, CuO и ZnO реагируют с NH_4Cl при температуре ниже 550 K. Оксиды Sc_2O_3, Ga_2O_3 и GeO_2 реагируют с HCl. Оксиды TiO_2, V_2O_4 и Cr_2O_3 не реагируют ни с NH_4Cl, ни с хлороводородом, который образуется при разложении NH_4Cl, в исследуемом интервале температур. Оксид Fe_2O_3 может реагировать с NH_4Cl при температуре 672 K.

Согласно данным ТГА оксиды Fe_2O_3, NiO и CuO начинают реагировать с NH_4Cl при 200 °C, MnO и MnO_2 – при 190 °C, CoO – при 181 °C, Ga_2O_3 – при 164 °C, а CaO и ZnO – при 150 °C. Оксиды Sc_2O_3, TiO_2, V_2O_4, Cr_2O_3 и GeO_2 не реагируют с NH_4Cl. Оксиды CaO, MnO, MnO_2, Fe_2O_3, CoO, NiO, CuO, Ga_2O_3 и ZnO реагируют с образованием хлоридов металлов. Реакции протекают через образование промежуточных хлорометаллатов аммония. При взаимодействии MnO_2 с NH_4Cl происходит восстановление Mn^{4+} до Mn^{2+} – конечный продукт $MnCl_2$.

Согласно кинетическим исследованиям взаимодействие CaO, MnO, Fe_2O_3, NiO, CuO, ZnO и Ga_2O_3 лимитируется скоростью химической реакции – энергии активации 56,1; 53,3; 41,6; 47,6; 51,9; 42,5; 43,7 кДж/моль соответственно. Способ ускорения процессов – увеличение температуры. Согласно кинетическим исследованиям взаимодействие MnO_2 и CoO протекает в переходной области взаимодействия – энергии активации 27,0; 30,1 кДж/моль соответственно. Способ ускорения процессов – увеличение температуры и перемешивание.

В силу того, что различные стадии взаимодействия наблюдаются при различных температурах есть возможность селективно проводить вскрытие минерального сырья и селективно возгонять хлориды, таким образом можно легко разделять минеральное сырье на индивидуальные составляющие.

Термодинамические и термогравиметрические данные часто расходятся, что свидетельствует в пользу более сложной последовательности реакций взаимодействия – смесь, хлорометаллаты аммония, хлориды металлов. Так же об этом свидетельствуют и данные ИК-спектроскопии и РФА – так в продуктах взаимодействия оксидов металлов 4 периода с NH_4Cl иногда присутствуют нитриды. Однако для более полного анализа взаимодействия оксидов металлов 4 периода с NH_4Cl требуются более детальные исследования.

Библиографический список

1. В. И. Отмахов. Термодинамическое моделирование методик атомно-эмиссонного анализа промышленных отходов с оксидной основой // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 2. – С. 97–100.

2. М. В. Русаков, Б. С. Белосельский, А. Н. Зайцев. Экстрагирование соединений ванадия из ванадийсодержащих шламов ТЭС // Теплоэнергетика. – 2003. – № 5. – С. 71–75.

УДК 665.656 : 542.973

ГИДРОИЗОМЕРИЗАЦИЯ БЕНЗОЛСОДЕРЖАЩЕЙ БЕНЗИНОВОЙ ФРАКЦИИ

Калашников И. М.[1,2], Белопухов Е. А.[1,2], Смоликов М. Д.[1,2], Кирьянов Д. И.[1], Белый А. С.[1,2]

[1] *Институт проблем переработки углеводородов СО РАН (Россия, Омск, 644040, Нефтезаводская, 54)*
[2] *ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (Россия, Омск, 644050, Пр. Мира, 11)*

Любое нефтеперерабатывающее предприятие должно постоянно внедрять и развивать на своей территории облагораживающие процессы. Связано это как с желанием улучшить качество товарных бензинов и дизельных топлив и увеличить их стоимость, так и с постоянным ужесточением экологических требований. Одним из таких процессов является гидроизомеризация бензолсодержащей бензиновой фракции. Интерес к нему появился из-за постоянного ужесточения технологических и экологических требований к топливам, а именно к ограничению содержания бензола в товарном бензине. Так, в России, на данный момент, содержание бензола ограничивается до 1 % об., который является среднемировым показателем [1].

Сам процесс гидроизомеризации позволяет превращать бензол в менее вредный с экологической точки зрения метилциклопентан. Одновременно с этим увеличивается глубина изомеризации н-парафинов состава C_5–C_7, доля которых в бензолсодержащих фракциях может достигать 70–80 %

Катализаторами процесса гидроизомеризации бензолсодержащих фракций являются бифункциональные системы, которые обеспечивают полное гидрирование бензола до циклогексана за счет используемых металлических центров (Pt или Pd), а также эффективно проводят изомеризацию последнего в метилциклопентан на кислотных центрах.

Наиболее трудной задачей в процессе гидроизомеризации БСФ является изомеризация циклогексана и парафинов нормального строения, особенно C_{7+}. Необходим правильный подбор кислотного компонента: его структуры, силы и концентрации кислотных центров; для увеличения выхода целевых продуктов и снижения вклада побочных реакций раскрытия циклов нафтенов и гидрокрекинга алканов. В качестве кислотных компонентов в катализаторах гидроизомеризации бензолсодержащих фракций часто исследуются различные цеолиты.

В предыдущих работах нашего коллектива авторов рассматривался вопрос по оптимизации состава носителя на основе различных цеолитов и оксида алюминия (Al_2O_3). На основании данных работ были сделаны заключения о влиянии поровой структуры цеолита и его количества на селективность в реакциях гидроизомеризации бензола и изомеризации н-гептана, и был подобран оптимальный состав катализатора.

Так же были проведены работы по оптимизации условий активации катализаторов и рабочих параметров процесса на модельном сырье.

Целью данной работы является исследование лабораторных образцов на реальном сырье.

Каталитические испытания проводили на установке с изотермическим реактором проточного типа. Масса загрузки фракции катализатора 0,2–0,7 мм составляла 1 г. В качестве сырья использовали смесь бензола и н-гептана в массовом отношении 20/80. Условия испытаний: ОСПС = 2 $ч^{-1}$, H_2/сырье = 3/1 моль, давление = 1,5 МПа и температура = 220–300 °С. Состав продуктов определяли на газовом хроматографе Цвет-800 с капиллярной колонкой PONA/PIONA (J&W Scientific).

Библиографический список

1. Технический регламент таможенного союза (ТР ТС 013/2011). 2011.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке проекта «УМНИК-2018», проводимого Фондом содействия инноваций в соответствии с договором №13933ГУ/2019 от 25.04.2019.

УДК 544.433.3

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭТАНА С МЕТАНОМ И ПРОДУКТАМИ ЕГО ПИРОЛИЗА НА РЕЗИСТИВНОМ ФЕХРАЛЕВОМ КАТАЛИЗАТОРЕ В ПРИСУТСВИИ НЕБОЛЬШИХ КОЛИЧЕСТВ КИСЛОРОДА

Сигаева С. С.[1], Осипов А. Р.[1], Шляпин Д. А.[1]

[1] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, ул. Нефтезаводская, 54, Омск, 644040, Россия*

В последние годы большое внимание уделяется получению высших углеводородов из метансодержащего сырья. Основная проблема переработки метана заключается в активации связей С-Н в молекуле, которая является наиболее стабильным углеводородом благодаря своей идеальной симметрии. Все наиболее

эффективные подходы для получения ценных продуктов из CH_4 ограничены низкими конверсиями или высокими температурами. При вовлечении метана в превращения с другими углеводородами снижение температуры реакции становится еще более значимым в связи с их низкой термостабильностью [1]. Другим подходом при создании подобных технологий является проведение процесса либо в две стадии, либо в двухсекционных реакторах [2–4]. В основе способов лежит идея физического разделения и раздельного осуществления различных стадий химического процесса. Целью данной работы было исследование совместного превращения метана и этана в двухсекционном реакторе с активацией метана на поверхности, нагретой электрическим током фехралевой спирали в присутствии небольших добавок кислорода.

Процесс протекает в Т-образном реакторе, где в подводящей трубке на стыке с основной секцией расположена фехралевая спираль, нагреваемая электрическим током. На спираль, разогретую до 700–1100 ^oC, подаётся холодная газовая смесь, состоящая из метана в азоте с небольшими добавками кислорода. В основную секцию подаётся смесь этана в азоте. Показана принципиальная возможность получения C_3 и C_4 углеводородов в этих условиях. В условиях совместного превращения и отсутствия кислорода в газовой смеси максимальная селективность по C_3 углеводородам (3,8%) достигается при температуре спирали 1000 ^oC, и превышает в 3 раза селективность, полученную в условиях отсутствия метана в газовой смеси. Показано, что введение малых порций кислорода к исходной реакционной смеси, подаваемой в подводящую трубку двухсекционного реактора, приводит к увеличению конверсий всех углеводородов независимо от состава смесей. При этом основное превращение дополнительных порций этана и метана идет в направлении окисления углеводорода, но не сказывается на концентрации основных продуктов реакции в выходящей смеси: этилена, ацетилена, С3 и С4 углеводородов. Положительным фактом добавления кислорода в газовую смесь является отсутствие зауглероживания спирали катализатора в данной реакции.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИППУ СО РАН в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы по направлению V. 46, проект V.46.2.5 (номер госрегистрации в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА-А17-117021450096-8).

Библиографический список

1. X. C. Shen, H. Lou, K. Hu, X. M. Zheng, Non-oxidative aromatization of C1 to C3 hydrocarbons over Pd-promoted Ga/HZSM-5 catalyst under mild conditions // Chinese Chemical Letters 18. – 2007. – С. 479–482

2. Д.В. Голинский, Н.В. Виниченко, В.В. Пашков, И.Е. Удрас, О.В. Кроль, В.П. Талзи, А.С. Белый, НЕОКИСЛИТЕЛЬНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ МЕТАНА И Н-ПЕНТАНА НА АЛЮМОПЛАТИНОВОМ КАТАЛИЗАТОРЕ // Кинетика и катализ. – 2016. – № 57(4). – С. 508–515.

3. И. Секине, К. Фуджимото, Новый метод прямой конверсии метана // Кинетика и катализ. – 1999. – № 3. – С. 327–333.

4. V. Arutyunov, N. Pogosyan, M. Pogosyan, L. Tavadyan, O. Shapovalova, L. Strekova, Production of olefins by the conjugated oxidation of light hydrocarbons // Chemical Engineering Journal. – 2017. – № 329. – С. 231–237.

УДК 549.461, 546.654

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ФТОРИРОВАНИЯ ОКСИДА ИТТЕРБИЯ ФТОРИДОМ АММОНИЯ

Войтов И. А.[1], Рожков Н. Н.[1], Мельникова В. В.[1], Осипов А. Р.[2], Борисов В. А.[1,2], Сигаева С. С.[2], Шляпин Д. А.[2]

[1] *Омский государственный технический университет, проспект Мира, 11, Омск, 644050, Россия*
[2] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, ул. Нефтезаводская, 54, Омск, 644040, Россия*

С развитием рынка химической продукции и информационных технологий с каждым годом спрос на редкоземельные элементы (РЗЭ) только растёт. Применение РЗЭ не ограничивается производством лазеров и компонентов сильных магнитов, их применение затронуло атомную промышленность, производство люминофоров, стекла, каталитическую промышленность и др.

РЗЭ как в свободном, так и в оксидном состоянии, активно исследуются в качестве структурных и электронных промоторов для улучшения активности, селективности и термической стабильности катализаторов.

Как отмечается в статье [1], оксид иттербия может выступать в качестве эффективного стабилизатора для циркониевого активного компонента катализатора переэтерификации триглицеридов для получения конкурентоспособного биодизельного топлива.

Применение катализаторов, содержащих драгоценные и редкие элементы, осложняется их дезактивацией в процессе эксплуатации: уносом активного компонента, зауглероживанием, отравлением. Некоторые процессы дезактивации развиваются таким образом, что не позволяют регенерировать катализатор, поэтому для извлечения РЗЭ из отработанных катализаторов требуется подбор и изучение различных методов их переработки.

На сегодняшний день довольно актуальным является вопрос о поиске источников сырьевых баз для получения РЗЭ. Мировой рынок соединений РЗЭ монополизирован Китаем, что вынуждает другие страны создавать и развивать собственные источники добычи и производства этих редких элементов. В качестве перспективных источников могут быть рассмотрены чуктуконская руда, содержащая в своём составе до 6 масс. % оксидов РЗЭ, и отработанные катализаторы нефтепереработки.

Существуют различные методы для обработки сырья, содержащего достаточно большое количество РЗЭ (≥ 3 масс. %), в том числе обработка серной кислотой при 155–230°C [2], щелочное вскрытие с гидроксидом натрия при 140°C [3], обжиг с карбонатом натрия при 900°C и с фторидом натрия в 800–825°C [4]. Для поиска оптимальной технологии переработки необходимо понимание химизма взаимодействия отдельных компонентов и смеси в целом с перерабатывающим материалом. По большей части, концентраты РЗЭ в руде содержатся в форме их оксидов. В качестве одного из материалов для извлечения редкоземельных элементов, в частности, иттербия, из сырья перспективно использовать фторид аммония. NH_4F является коммерчески доступным, а также не особо опасным для окружающей среды веществом.

Цель настоящей работы – исследование кинетики процесса взаимодействия оксида иттербия с фторидом аммония (NH_4F) с целью получения чистого компонента для последующего использования в качестве стабилизирующего компонента катализатора облагораживания бионефти.

Было проведено исследование процесса фторирования оксида иттербия фторидом аммония в целях определения особенностей кинетики их взаимодействия. В ходе описания кинетики процесса фторирования было определено, что кинетическая зависимость протекаемого процесса описывается уравнением «сокращающейся сферы». Также была определена зависимость степени превращения от времени в диапазоне температур от 100 до 130 °C. Проведённый рентгенофазовый анализ конечной смеси позволил установить наличие в кристаллической фазе комплексны фторид $(NH4)_3Yb_2F_9$, а также YbF_3.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦНХТ ИК СО РАН в соответствии с программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы по направлению V. 46, номер госрегистрации в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА-А19-119061490025-0, исследования проведены с использованием оборудования ЦКП «Национальный центр исследования катализаторов» Института катализа СО РАН.

Библиографический список

1. M. S. Yahaya, A. A. Peter, A.R. Abdul Aziz, Acidity and catalytic performance of Yb-doped SO_4^{2-}/Zr in comparison with SO_4^{2-}/Zr catalysts synthesized via different preparatory conditions for biodiesel production // Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. – 2016. – № 59. – С. 195–204.

2. M. A. Welt, M. Smutz, Processing methods of monazie sands // JOM. – 1960. – № 19. – С. 321–328.

3. A. M. Abdel-Rehim, An innovative method for processing Egyptian monazite // Hydrometallurgy. – 2002. – № 67. – С. 9–17.

4. F. M. Doyle, S. Duyvesteyn, Aqueous processing of minerals, metals and materials // Miner. Met. Mater. Soc. – 1992. – № 45(4). – С. 46–54.

УДК 66.011

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОРЕАКТОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

Сорокина И. А.[1], Фефелов В. Ф.[1]

[1] *Омский государственный технический университет (Российская Федерация, Омск, проспект Мира, 11)*

Водородное топливо является многообещающей альтернативой в будущей замене жидкого топлива на основе нефти, поскольку оно предлагает такие преимущества, как низкие выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду, высокую эффективность преобразования энергии [1].

Наибольший интерес представляет получение водорода из этанола с использованием микроканальных реакторов (рис. 1). Это связано с рядом преимуществ таких, как высокие скорости тепломассопереноса,

позволяющие проводить реакции с более высокими выходами целевых продуктов и с наименьшими побочных, а время контакта, форму и размер границы раздела между потоками можно легко и точно контролировать. Эти свойства делают микрореакторы идеальными для экзотермических реакций. Малые размеры такого оборудования позволяют эффективно разрабатывать более сложные непрерывные реакции с непрерывным потоком на все более сложных молекулярных моделях, поскольку они значительно сокращают количество материалов, необходимых для оптимизации условий реакции [2–4].

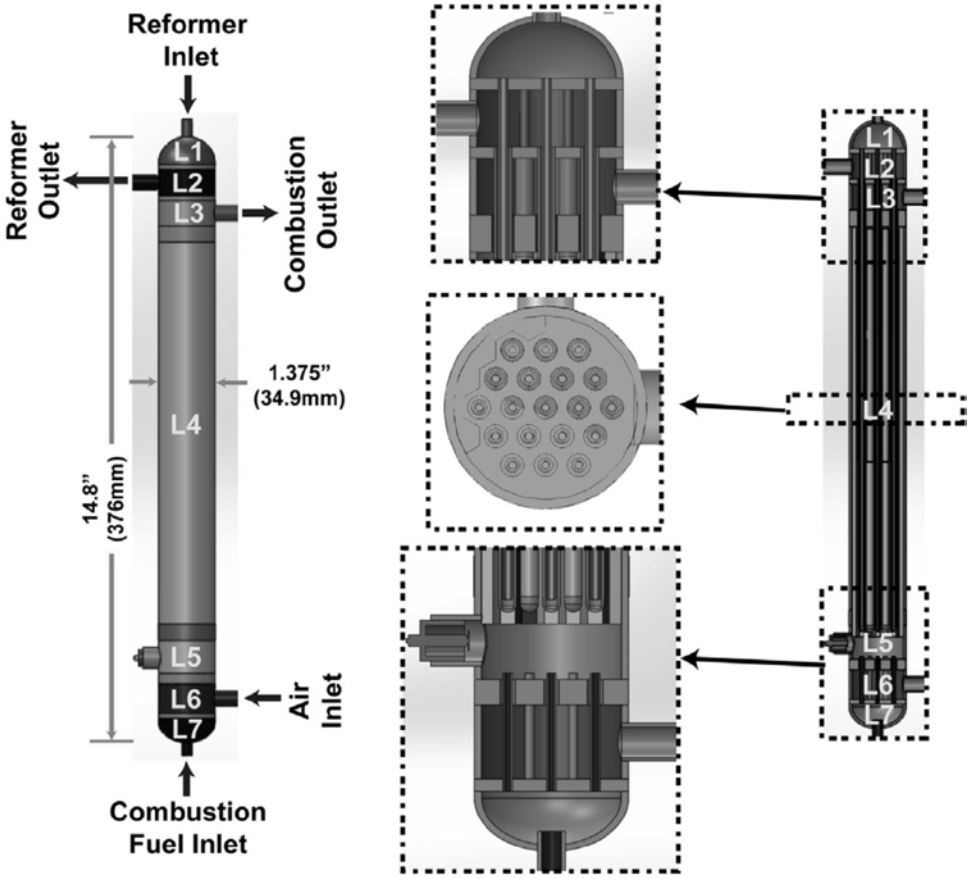


Рис. 1. Вариант исполнения микроканального реактора

Использование микрореакторов в лабораториях химической промышленности дает возможность проводить быстрый анализ катализаторов и синтез продуктов. Эксперименты в обычных лабораторных масштабах ограничены высокой стоимостью реагентов и проблемами безопасности, которые могли бы эффективно устранить небольшие объемы. Внедрение новых химикатов также ограничены риском и высокими капитальными затратами на масштабирование от лаборатории до производственного цеха. Расширение производства за счет тиражирования микрореакторого оборудования, используемых в лаборатории, исключит дорогостоящую модернизацию, что сократит время разработки от лабораторного до коммерческого производства. Этот подход был бы особенно выгоден для химической и фармацевтической промышленности, где объемы производства часто бывают небольшими менее нескольких метрических тонн в год.

Таким образом, получение водорода из этанола в микроканальных реакторах позволит добиться наибольшего выхода целевого продукта с наименьшими затратами на производство.

Библиографический список

1. R. Moliner, M.J. Lazaro, I. Suelves, Analysis of the strategies for bridging the gap towards the Hydrogen Economy // International Journal of Hydrogen Energy. – 2016. – № 41(43). – С. 19500–19508.

2. Dong Chen, Wenju Wang, Chenlong Liu, Ni-encapsulated graphene chainmail catalyst for ethanol steam reforming // International Journal of Hydrogen Energy. – 2019. – № 44. – С. 6560–6572.

3. R.C.R. Wootton, R. Fortt, A.J. de Mello, On-chip generation and reaction of unstable intermediates-monolithic nanoreactors for diazonium chemistry: azo dyes // Lab Chip. – 2002. – № 2. – С. 5–7.

4. X.N. Zhang, S. Stefanick, F.J. Villani, Application of microreactor technology in process development // Organic Process Research and Development. – 2004. – № 8. – С. 455–460.

УДК 691.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК БИТУМА, АРМИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ ННОТРУБКАМИ

Запороцкова И. В., Бахрачева Ю. С., Борознина Н. П.

Волгоградский государственный университет, Россия, г. Волгоград, пр. Университетский, 100

Битумы – это органические вяжущие вещества, состоящие из высоко молекулярных углеводородов: нафтенового, метанового и ароматического, а так же кислородных, сернистых и азотистых производных. Битум нефтяной получают на нефтеперерабатывающих заводах. Он представляет собой сложные смеси высокомолекулярных углеводородов. Наибольшее применение битум нашел в дорожном строительстве.

В ходе исследований к данной работе были сделаны теоретические расчеты и экспериментальные подтверждения изменений свойств битума марки БНД 60/90 при добавлении углеродных нанотрубок.

Установлено, что основным механизм, обеспечивающим изменение свойств смеси на основе битума, армированного углеродным наноматериалом, является адсорбционное взаимодействие основных компонентов битума (нафтена и антрацена) с внешней поверхностью углеродной нанотрубки при перпендикулярном расположении молекулы компонента относительно поверхности.

Практические эксперименты по исследованию физико-механических свойств композита на основе битума с добавлением УНТ выполнены на базе лаборатории по контролю качества выпускаемой продукции ООО «Волгоградское ДСУ» по установленным ГОСТам. Битум тестировался по трем параметрам:

1) Растяжение (при 25℃). ГОСТ 11505-75
2) Вязкость. ГОСТ 11501-78
3) Температура размягчения. ГОСТ 11506-73

Тестировалось три концентрации УНТ: 0,1%, 0,01%, 0,001% в смеси битума, а так же эталонный образец без добавления УНТ для сравнения изменения показателей. Результаты измерения представлены в Таблице 1. Для каждого параметра выполнено по 3 измерения и определено среднеквадратичное отклонение. Результаты тестов.

Таблица 1. Значения исследуемых параметров смеси битума в зависимости от содержания УНТ, σ – среднеквадратичное отклонение

Содержание УНТ	Пенетрация (Вязкость)$\pm\sigma$	Температура размягчения, $\pm\sigma$ ℃	Растяжение, $\pm\sigma$ см
0,001%	51,25±1,299	46,25±0,2559	78±4
0,01%	58±1,581	45,75±0,2559	133,5±7,5
0,1%	66,75±2,680	43,125±0,125	148
Эталон	68±1,224	42,5±0,5	131,5±8,5

На основании исследований, проведенных в ходе данной работы, можно утверждать, что предложенный способ упрочнения асфальтобетонного покрытии путем армирования основного компонента покрытия – битума – улучшает его физико-механические свойства и, соответственно, увеличивает срок службы дорожного полотна.

Библиографический список

1. Запороцкова, И.В. Углеродные и неуглеродные наноматериалы и композитные структуры на их основе: строение и электронные свойства. / Гос. образоват. учреждение высш. проф. Образования «Волгогр. гос. ун-т». – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2009. – С. 490.

2. Koch W., Holthausen M. C. A Chemist’s Guide to Density Functional Theory. – ed. 2. – Weinheim: Wiley-VCH, 2002.

УДК66.09

РАЗРАБОТКА ФОРМАЛИЗОВАННОЙ СХЕМЫ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРОЦЕССЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО СОСТАВА ГАЗОВ

Назарова Г. Ю.[1], Ивашкина Е. Н.[1], Орешина А. А.[1], Калиев Т. А.[2,3], Аркенова С. Б.[1], Антонов А. В.[1]

[1] *Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, Томск, пр. Ленина, 30)*
[2] *ТОО Павлодарский нефтехимический (Казахстан, Павлодар, ул. Химкомбинатовская, 1)*
[3] *Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова (Казахстан, Павлодар, ул. Ломова, 64)*

Растущая потребность в газах крекинга как нефтехимическом сырье при расширении использования их для производства алкилатов, эфиров, полимеризатов, высококачественных бензинов и др. обуславливает актуальность прогнозирования состава газов крекинга в зависимости от состава сырья и параметров технологического режима работы аппаратов, а также оптимизации процессов компаундирования бензинов и нефтехимической обработки сырья. Особенно остро эта проблема стоит для установок, интегрированных с нефтехимическими заводами.

Вместе с тем, в литературе ограничены исследования по моделированию процесса каталитического крекинга на основе схемы превращений углеводородов, ориентированной на прогнозирование индивидуального состава газов крекинга, группового состава бензиновой фракции и кокса.

Для создания такой модели требуется формализация схемы превращений углеводородов по групповому признаку в соответствии с их молекулярной массой с учетом образования индивидуальных соединений газов крекинга. На этапе формирования схемы превращений углеводородов с применением Теории функционала плотности (DFT (B3LYP, базис 3-21G)) установлено, что при крекинге н-алканов (–60,17 кДж/моль), изоалканов (–54,94 кДж/моль) и алкенов (–40,83 кДж/моль) наиболее вероятно образование компонентов сухого газа – метана, этана и этилена соответственно. Для реакций образования пропана и пропилена наиболее отрицательное изменение энергии Гиббса реакций крекинга алканов (–68,13 и –64,97 кДж/моль). Образование компонентов бутан-бутиленовой фракции – н-бутана, изобутана, изобутилена и бутиленов, термодинамически наиболее вероятно при крекинге алканов (–66,20 кДж/моль), изоалканов (–57,90 и –61,20 кДж/моль) и алкенов (–78,58 кДж/моль). Высокой термодинамической вероятностью характеризуются реакции деалкилирования циклоалканов и аренов с образованием пропилена (–62,15 и –45,00 кДж/моль) и бутилена (–76,64 и – 56,55 кДж/моль), а также перенос водорода с образованием изобутанов и аренов (–146,67 кДж/моль).

На основании установленных термодинамических закономерностей, формализованная схема превращений углеводородов в процессе каталитического крекинга [1] дополнена реакциями образования индивидуаль-ных компонентов газов крекинга (выделены синим цветом) (рисунок 1).

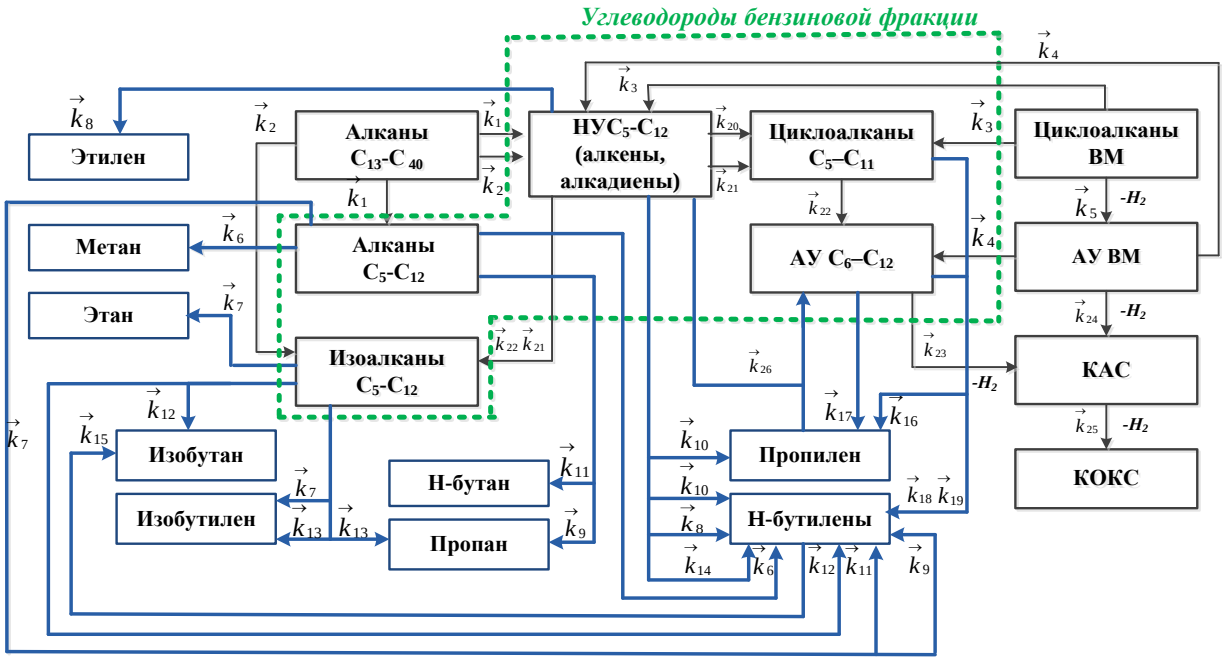


Рис. 1. Формализованная схема превращений углеводородов в процессе каталитического крекинга температуре начала реакции (810 °С)

Разработка и применение математической модели с расширенной схемой превращений углеводородов до газов крекинга обеспечит прогнозирование выхода и состава продуктов крекинга (бензиновой фракции и газов) в зависимости от состава сырья, технологических режимов работы аппаратов и активности катализатора. В дальнейшем это позволит оптимизировать работу сопряженных многоступенчатых процессов нефтепереработки и нефтехимии, в частности процессов алкилирования.

Библиографический список

1. V. Chuzlov, G. Nazarova, E. Ivanchina, E. Ivashkina, I. Dolganova, A. Solopova Increasing the economic efficiency of gasoline production: Reducing the quality giveaway and simulation of catalytic cracking and compounding // Fuel Processing Technology. – 2019. – Vol. 196. – № 106139.

УДК 665.642.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТАНОВКИ ВИСБРЕКИНГА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО ВЫХОДА СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Пантелеев А. С.[1], Гусева Т. А.[1], Калашникова О. В.[1]

[1] *РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Россия, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1*

В рамках статьи ведется анализ существующих ныне подходов к интенсификации процесса висбрекинга, анализ возможных упущений в предлагаемых схемах и исследование, направленное на выявление методики проведения процесса, охватывающее все указанные аспекты.

Современные технологии, которые применяют зарубежные лицензиары, позволяют повысить качество целевого продукта, но выход светлых фракций остается незначительным. При этом следует отметить, что в условиях тенденции к углублению нефтепереработки в Российской Федерации и на данном этапе ее экономического развития, наиболее целесообразным считается подход, который позволит увеличить выход более востребованного продукта – светлых фракций [3].

На основании мирового опыта проектирования процесса висбрекинга, а также научных испытаний институтов, исследующих данную проблематику, в данной работе были выявлены осложнения, которые затрудняют бесперебойную работу установки [1–2]. При оценке существующих методов нивелирования обозначенных рисков, был сделан вывод, что новый подход к технологическому оформлению процесса поможет существенно снизить большинство из них.

Была разработана схема, которая коррелируется с Энергетической Стратегией РФ 2035 и дополняет ее в области углубления вторичной переработки нефти, а также совершенствует требования безопасности и экономической эффективности.

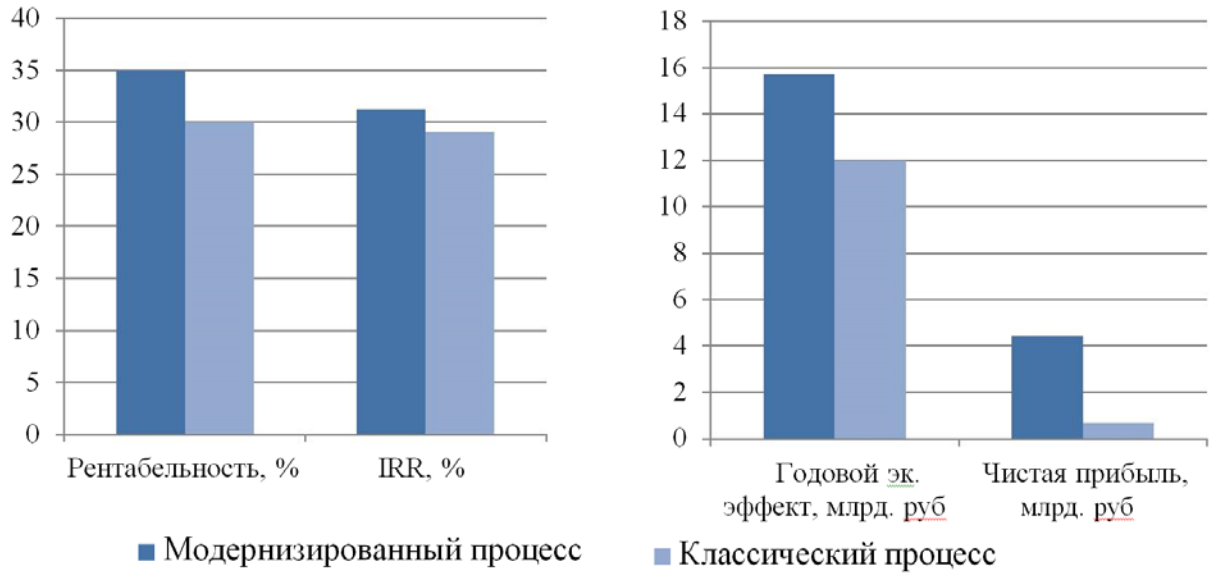


Рис. 1. Сравнительный анализ экономических показателей технологий

В работе представлено обоснование целесообразности реализации инвестиционного проекта, подкрепленное показателями экономической эффективности (рис. 1). В расчете учтены капитальные вложения, затраты на реализацию и эксплуатационные затраты модернизированной установки висбрекинга. Следует отметить, что средний период окупаемости установок, оборудованных по классической схеме, составляет 1 год и 10 месяцев в отличие от 1 года и 5 месяцев по модернизированной технологии.

Библиографический список

1. Ashley Z., Arno de Klerk Thermal Conversion Regimes for Oilsands Bitumen // Energy Fuels. – 2016. – № 30. – С. 239–248.

2. Tannous J. H., Arno de Klerk Asphaltenes formation during thermal conversion of deasphalted oil // Fuel. – 2019. – № 255. – С. 1–10.

3. Официальный сайт Минэнерго РФ // Проект Энергостратегии Российской Федерации на период до 2035 года (редакция от 21.10.2019) [Электронный ресурс]. – URL: https://minenergo.gov.ru/node/1920 (Дата обращения: 01.11.2019).

УДК 628.3:504:606

ПРОБЛЕМА БИООБРАСТАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Чеснокова М. Г.[1,2], Шалай В. В.[1], Шевлякова А. А., Мулькеев Е. Н.[3], Никитин С. В.[1]

[1] *Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*
[2] *Омский государственный медицинский университет Минздрава РФ, г. Омск, Россия*
[3] *ПАО "Омский каучук", г. Омск, Россия*

Особенностями системы оборотного водоснабжения нефтехимических производств являются высокие тепловые нагрузки, наличие коррозионно-агрессивных и биологически активных продуктов – кислых или щелочных реагентов, углеводородов, сульфидов, органических хлорсодержащих соединений. Данные факторы приводят к дальнейшему развитию коррозии, солевых отложений и роста условно-патогенной микрофлоры [1, 2].

Биообрастания на поверхности теплообменника могут негативно влияют на процессы теплообмена между хладоносителем и охлаждаемой жидкостью. приводят к неизбежным осложнениям в технологическом процессе, увеличению затрат, снижению качества товарной продукции [3, 4]. Под слоем отложений формируются при этом благоприятные условия для протекания коррозионных процессов за счёт появления областей с различными потенциалами и создания анаэробных условий, способствующих развитию бугристых отложений [5, 6]. Сульфатвосстанавливающие бактерии наиболее часто участвуют в коррозионном разрушении металлических конструкций [7–8]. Распространенными методами борьбы с коррозией и биообрастаниями теплообменных аппаратов на химических предприятиях являются применение различных биоцидов [3, 7].

Целью исследования являлось проведение анализа мониторинга микробного содержания в оборотной воде водоблоков химического предприятия за отдельные периоды.

Материал и методы исследования. Содержание микрофлоры оборотной воды измеряли на приборе люминометре (тест-система) в относительных световых единицах (RLU), определяющих интенсивность свечения и прямо пропорционально степени микробного уровня воды. Для оценки степени общего микробного числа применяли прибор люминометр *EnSURE* и АТФ-тесты *Ultrasnap*.

Результаты исследований. Результаты изучения микробиологического содержания в оборотной воде водоблоков с измерением на приборе люминометре позволили установить различные уровни содержания микроорганизмов. В весенний период среднее значение количества микробных клеток, определяемых в пробах оборотной воды составило 291.78, медиана – 303.0. процентиль 10.0 – 220.0, процентиль 90.0 – 365.0 RLU. При исследовании оборотной воды водоблоков в зимний период установили среднее значение 175.19, медиана – 153.0. процентиль 10.0 – 113.0, процентиль 90.0 – 271.0 RLU (при временной норме для качественной обработки воды не более 250 RLU). Выявленные уровни присутствия микроорганизмов в оборотной воде.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить выраженное сезонное увеличение микробной обсеменённости оборотной воды водоблоков. Изменение температурного и водно-солевого баланса оборотной воды могут привести к интенсивному росту микроорганизмов при наличии оптимальной питательной среды для микроорганизмов.

Библиографический список

1. С.В. Давыдова, А.О. Кирнос, Биохимические процессы в системах производственного водоснабжения // Методы науки. – 2017. – № 1. – С. 95–97.

2. Л.С. Моисеева, А.Е. Айсин, Исследование причин неэффективности ингибиторной защиты системы оборотного водоснабжения НПЗ // Практика противокоррозионной защиты. – 2013. – № 1 (67). – С. 24–32.

3. Н.В. Ляшенко, А.И. Ажгиревич, А.В. Денисова, Ресурсо-энергосбережение при хлор-биоцидной обработке воды // Юг России: экология, развитие. – 2008. – 3 (№ 4). – С. 33–41.

4. Е.К. Казимиров, О.Е. Казимиров, Применение электрохимического способа водоподготовки для систем оборотного водоснабжения // Вода magazine. – 2016. – № 1 (101). – С. 24–26.

5. В.Ю.Колотов, Исследование характеристик воды оборотного водоснабжения нефтеперерабатывающего завода // Нефтепереработка и нефтехимия. научно-технические достижения и передовой опыт. – 2008. – № 1. – С. 39–42.

6. Н.В. Бурдиян, С.И. Рубцова, О.И. Беляева, Тионовые и сульфатредуцирующие бактерии в прибрежных наносах региона Севастополя (Черное море) // Морской экологический журнал. – 2005. – № 1. – С. 7–12.

7. M.G. Chesnokova, A.V. Myshlyavtsev, A.S. Kriga, V.V. Markelov., A.P. Shaporenko, Determination of the priority indexes for the oil refinery wastewater treatment process. Aip conference proceedings "Oil and Gas Engineering, OGE 2017" 2017. P. 020018.

8. M.G. Chesnokova, V.V. Shalay, A.S. Kriga, A.P. Shaporenko, The flocculants applied in the oil refining plant wastewater treatment. Aip Conference Proceedings "Oil and Gas Engineering, OGE 2017" 2017. P. 020017.

Секция 2

ТОНКИЙ ОРГАНИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ

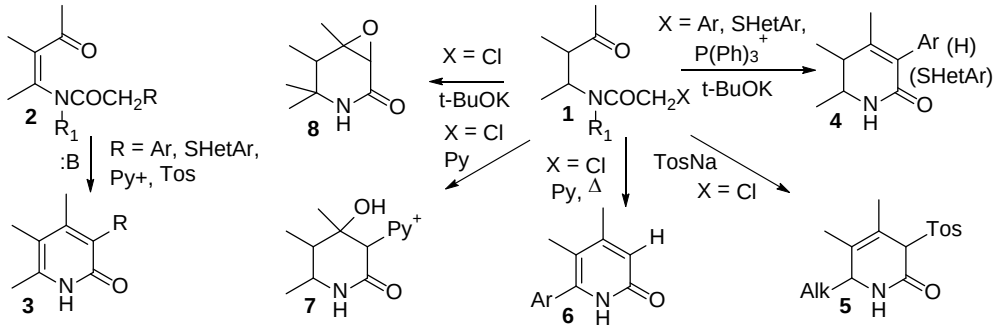
УДК 547.824

N-(3-ОКСОАЛКИЛ)- и N-(3-ОКСОАЛКЕНИЛ)АМИДЫ В СИНТЕЗЕ ПИРИДИН-2(1H)-ОНОВ И ИХ ГИДРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

Фисюк А. С.[1,2]

[1] *Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, Россия, Омск, 644077, пр. Мира, 55а*
[2] *Омский государственный технический университет, Россия, Омск, 644050, пр. Мира, 11*

До недавнего времени основно-катализируемая циклизация N-(3-оксоалкил)- и *N*-(3-оксоалкенил)амидов **1**,**2** приводящая к образованию пиридин-2(1*H*)-онов была представлена лишь единичными примерами. Исходя из соединений **1**,**2** мы разработали способы получения пиридин-(1*H*)-онов **3**,**6** и их производных **4**,**5**,**7** содержащих при C(3) атом водорода, арильный заместитель, пиридиниевый цикл, тозильную группу, атом серы связанный с гетероциклом или амино- и меркапто группы. Изучено влияние электронных и структурных факторов на процесс циклизации.



Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №19-13-00273).

УДК 544.12:66.095.11

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ ЭНАНТИОМЕРНО ЧИСТЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ

Краснов В. П., Левит Г. Л.

Институт органического синтеза им. И. Я. Постовского УрО РАН,
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 22/20)

Применение лекарственных средств в энантиомерно чистом виде позволяет существенно повысить эффективность и безопасность их использования по сравнению с рацематами.

Целью исследовательских работ Лаборатории асимметрического синтеза ИОС им. И.Я. Постовского УрО РАН является дизайн оригинальных лекарственных препаратов и реагентов асимметрического синтеза на основе аминокислот как хиральных синтетических блоков. Природные аминокислоты разнообразны по строению, коммерчески доступны, обладают высокой оптической чистотой и представляют собой уникальное сырье для создания на их основе новых лекарственных средств.

Нами разработаны методы синтеза нитрозоуреидо производных диаминокарбоновых кислот и исследованы их свойства. Выявлена группа соединений, обладающих значительной противоопухолевой активностью. Результатом исследований явилось создание, совместно с РОНЦ им. Н.Н. Блохина МЗ РФ оригинального противоопухолевого препарата Лизомустин, клинически используемого в настоящее время для лечения рака легкого и меланомы кожи.

Изучены процессы кинетического разделения рацемических аминов под действием диастереоселективных ацилирующих реагентов – производных хиральных кислот таких, как хлорангидриды N-защищенных аминокислот, 2-арилпропионовых и 2-оксикислот, позволившие получить энантиомеры гетероциклических аминов высокой оптической чистоты (*ее* >99,5%), полупродукты в производстве современных антибиотиков. На основе указанных аминов синтезирована большая группа конъюгатов производных пурина, обладающих значительной противовирусной активностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект 19-13-00231).

УДК 547.824

СИНТЕЗ ХИНОЛИЗИДИНОНОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ 1,3,3-ТРИМЕТИЛ-3,4-ДИГИДРОИЗОХИНОЛИНОВ С АЗЛАКТОНАМИ

Шувалов В. Ю.[1,2], Цыбукова Т. А.[2], Фисюк А. С.[1,2]

[1] *Омский государственный технический университет, пр. Мира 11, Омск, 644050, Россия, e-mail: fisyuk@chemomsu.ru*
[2] *Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, пр. Мира 55-а, Омск, 644077, Россия*

Азлактоны[1] нашли широкое применение в качестве «строительных блоков» для получения многих биологически активных гетероциклических систем: пиридонов-2, пиранонов, пиримидинонов, индолизидинонов, хинолизидинонов[2-4]. В ряду этих соединений обнаружены противоопухолевые препараты[2,3], некоторые из них показали себя как эффективные неседативные снотворные (Рис. 1)[4].

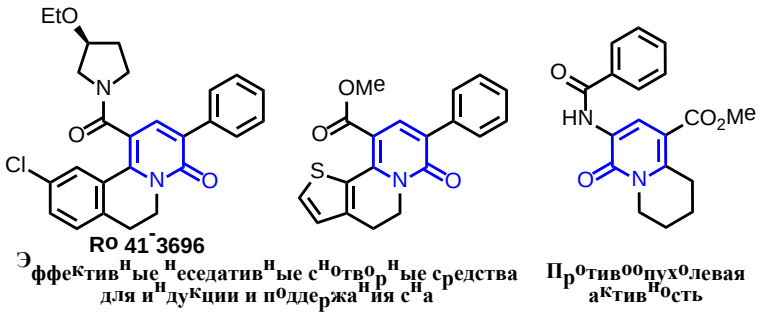


Рис. 1. Биологически активные производные пиридонов-2

Показано, что взаимодействие доступных 1,3,3-триметил-3,4-дигидроизохинолинов[5] **1** с азлактонами **2** и **4** приводит к образованию ранее неизвестных производных хинолизидинонов **3** и **5**, соответственно (Схема 1).

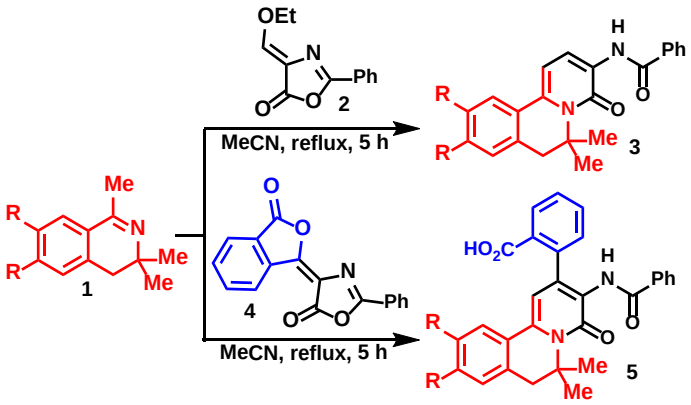


Схема 1. Синтез хинолизидинонов

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ (проект №19-13-00273).

Библиографический список

1. I. F. S. Marra, P. P. de Castro, G. W. Amarante, Recent Advances in Azlactone Transformations // Eur. J. Org. Chem. – 2019. – № 34. – P. 5830–5855.

2. Y. Cheng, H-B. Yang, M.-X. Wang, D. J. Williams, Unexpected ring size effect of the annulation reaction of heterocyclic secondary enamines with dicarboxylic acid dichlorides // Tetrahedron. – 2002. – Vol. 58. – №. 14. – P. 2821–2829.

3. X.-P. Jiang, Y. Cheng, G.-F. Shi, Z.-M. Kang, A versatile strategy for divergent and diastereoselective synthesis of natural product-like polyhydroxylated indolizidines // J. Org. Chem. – 2007. – Vol. 72. – №. 6. – P. 2212–2215.

4. Benovsky P., Stille J. R. Aza-annulation as a versatile approach to the synthesis of non-benzodiazepene compounds for the treatment of sleep disorders // Tetrahedron Lett. – 1997. – Vol. 38. – №. 49. – P. 8475–8478.

5. Yu. V. Shklyaev, M. A. Yeltsov, Yu. S. Rozhkova, A. G. Tolstikov, V. M. Dembitsky, A New Approach to Synthesis of 3,3-Dialkyl-3,4-dihydroisoquinoline Derivatives // Heteroatom Chem. – 2004. – № 15. – P. 486–493.

УДК 547.816.9

ФОТОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ 4*H*-ТИЕНО[3,2-*c*]ХРОМЕНА

Ульянкин Е. Б.[1], Костюченко А. С.[1,2], Черненко С. А.[1], Фисюк А. С.[1,2]

[1] *ФГБОУ ВО «Омский государственный Технический университет» (Россия, г. Омск, пр. Мира, 11)*
[2] *ФГБОУ ВО «Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского» (Россия, г. Омск, пр. Мира, 55а)*

Ярко выраженные флуоресцентные свойства хроменов позволяют использовать эти соединения для получения длинноволновых красителей [1,2] и, полупроводниковых материалов [3]. Известно, что 4*H*-тиено[3,2-*c*]хромены демонстрируют аномально большой Стоксов сдвиг, по всей видимости, вследствие внутримолекулярного переноса заряда и, как следствие, значительного изменения геометрии молекулы (Рис. 1) [4].

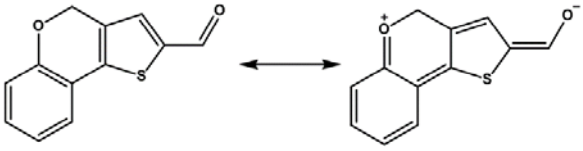


Рис. 1. Внутримолекулярный перенос заряда в 4H-тиено[3,2-c]хроменах

Ранее подобные структуры были получены с использованием палладий-катализируемого кросс-сочетания [4]. В данной работе изучено протекание внутримолекулярного фотосинтеза тиенохроменов **4** из иод-производных 4-(феноксиметил)тиофен-2-карбальдегидов **3**, полученных алкилированием соответствующих фенолов различными 4-(хлорметил)тиофенкарбальдегидами **2** (Рис. 2).

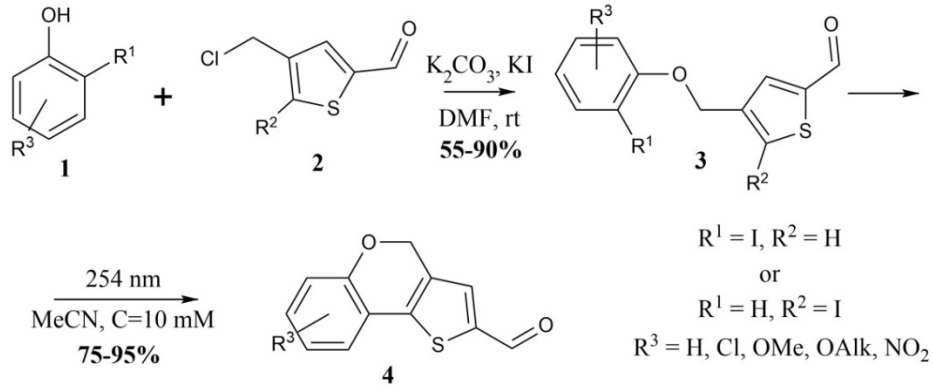


Рис. 2. Синтез 4H-тиено[3,2-c]хроменов

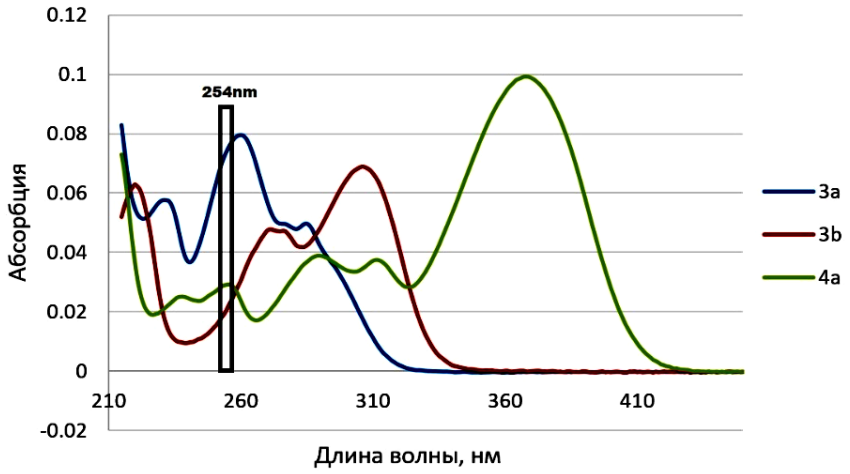


Рис. 3. Спектры поглощения растворов соединений 3a (R^1 = I, R^2 = H, R^3 = H), 3b (R^1 = H, R^2 = I, R^3 = H) и тиенохромена 4a (R^3 = H)

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 19-13-00273).

Библиографический список

1. J. Liu, Zh. Diwu, W.-Y. Leung, Y. Lu, B. Patch, R. P. Haugland, Rational design and synthesis of a novel class of highly fluorescent rhodamine dyes that have strong absorption at long wavelengths // Tetrahedron Lett. – 2003. – Vol. 44. – P. 4355–4359.

2. Z. Diwu, J. Liu, R. P. Haugland, Derivatives of 1,2-dihydro-7-hydroxyquinolines containing fused rings // Pat. US 20020059684. – 23.05.2002. (Pat. WO 0212195. – 14.02.2002.)

3. J. Wigglesworth, Yi. Wu, P. Liu, N.-X. Hu, Xanthene based semiconductor compositions // Pat. US8742403 B2. – 03.06.2014.

4. Y. P. Bogza, A. A. Rastrepin, V. V. Nider, T. Yu. Zheleznova, A. J. Stasyuk, A. Kurowska, K. Laba, E. B. Ulyankin, W. Domagala, A. S. Fisyuk, Synthesis and optical properties of 2-functionally substituted 4,5-dihydrothieno[3,2-c]quinolones // Dyes and Pigments. – 2018. – V. 159. – P. 419–428.

УДК 547.852.7

СИНТЕЗ ПИРИДО[3,4-*c*]ЦИННОЛИНОВ И ПИРИДО[3,2-*c*]ЦИННОЛИНОВ РЕАКЦИЕЙ АЗОСОЧЕТАНИЯ

Фисенко А. Ю.[1], Шувалов В. Ю.[2], Сагитуллина Г. П.[1]

[1] *Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, пр. Мира 55-а, Омск, 644077, Россия, e-mail: sagitullina@chemomsu.ru*

[2] *Омский государственный технический университет, пр. Мира 11, Омск, 644050, Россия*

Циклическая система пиридо[3,4-*c*]циннолинов и пиридо[3,2-*c*]циннолинов, а также их производных является фактически неизученной. В результате поиска по базам данных Reaxys и SciFinder было найдено три статьи, в которых выполнен синтез производных пиридо[3,4-*c*]циннолинов статическим пиролизом замещенных 3-арилазопиридинов на единичных примерах [1-3]. В работе [4] была выявлена противоопухолевая активность производных пиридо[3,2-*c*]циннолинов. Другая информация по синтезу этих соединений и их биологической активности в литературе отсутствует.

В этом году мы разработали новый метод синтеза производных пиридоциннолинов внутримолекулярной реакцией азосочетания. В качестве исходных соединений использовали доступные 4,6-диарил-5-нитропиридины Ганча **3a-h**, полученные в две стадии [5]. Двухкомпонентной циклоконденсацией нитроенонов **1a-h** с енамином ацетоуксусного эфира или 3-аминокротононитрилом в уксусной кислоте была получена серия ранее неизвестных 5-нитро-1,4-дигидропиридинов Ганча, которые окисляли нитритом натрия в уксусной кислоте с получением ароматических пиридинов **3a-h** с препаративными выходами. Восстановление нитрогруппы нитропиридинов **3a-h** проводили $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ кипячением в этаноле (Схема 1).

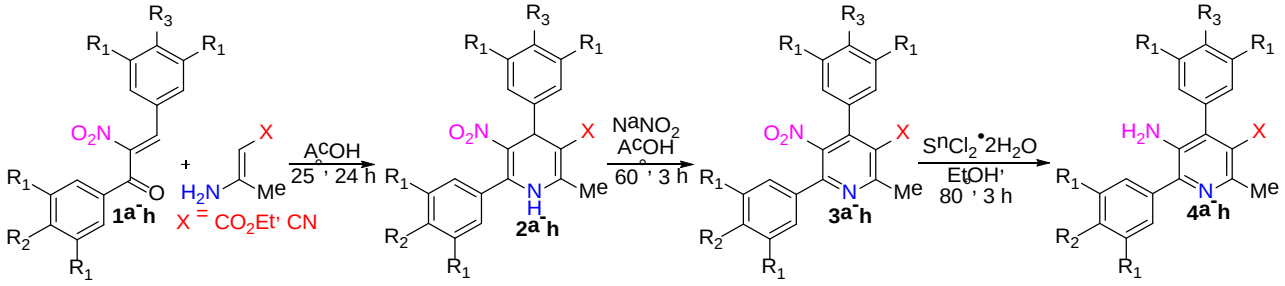


Схема 1. Синтез 5-аминопиридинов

Ключевыми соединениями в синтезе пиридо[3,4-*c*]циннолинов и изомерных им пиридо[3,2-*c*]циннолинов являются тетрафторбораты пиридил-диазония **3a-h**, которые получали реакцией диазотирования 5-аминопиридинов с нитритом натрия в смеси тетрафторборной и уксусной кислот. Реакцией внутримолекулярного азосочетания солей пиридил-диазоний с триметокси-арильным заместителем были получены пиридоциннолины **5a,b** и **6a-f** при комнатной температуре с выходом 50–96% (Схема 2).

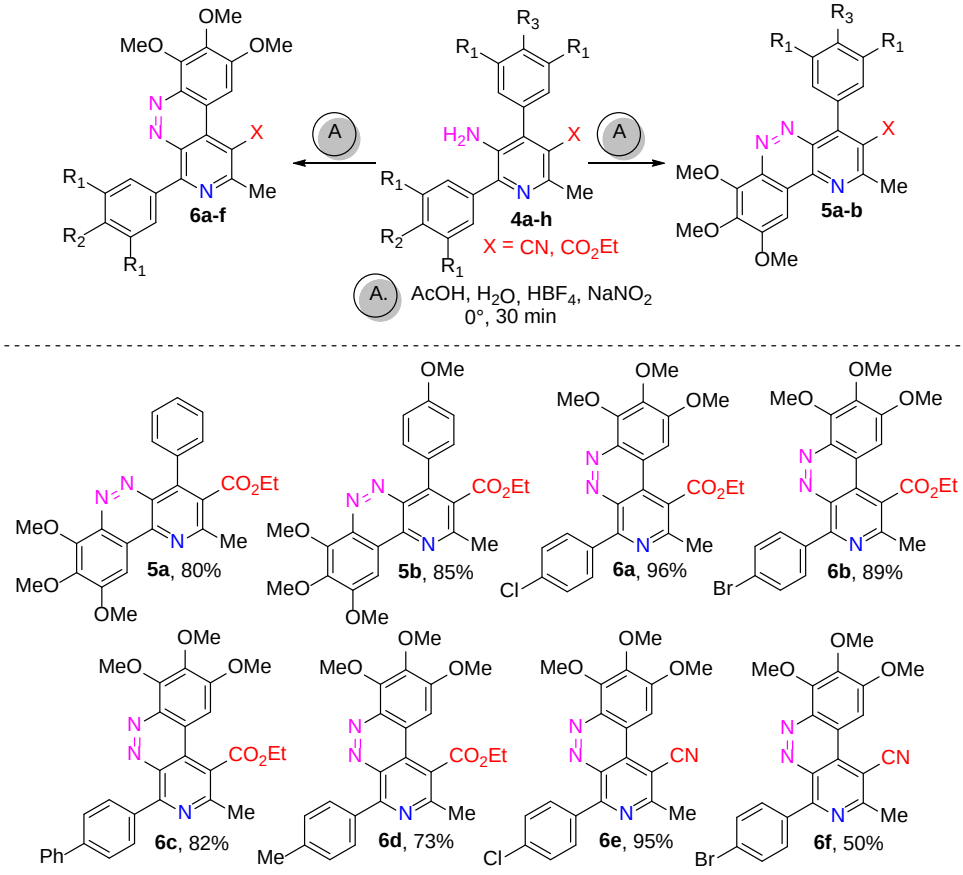


Схема 2. Синтез пиридо[3,4-c]циннолинов и пиридо[3,2-c]циннолинов

Библиографический список

1. N. A. Al-Awadi, Y. A. Ibrahim, M. H. Elnagdi, A. Y. Adam, E. John, Gas-phase pyrolysis of arylazonicotinates and nicotinonitriles: Routes towards new aminopyridine and pyrido[3,4-*c*]cinnoline derivatives // J. Ann. Appl. Pyrolysis. – 2017. – № 124. – P. 602–609.

2. J. Iqbal, A. Gupta, A. Husan, Photochemistry of phenazopyridine hydrochloride // Pharmazie. – 2006. – № 61. – P. 747–750.

3. J. W. Barton, R. W. Walker, Synthesis of the monoazabiphenylenes // Tetrahedron Lett. – 1975. – № 8. – P. 569–572.

4. S. K. Singh, A. L. Ruchelman, N. Zhou, T.-K. Li, A. Liu, L. F. Liu, E. J. LaVoie, Aza-analogs of dibenzo[*c*,*h*]cinnoline: Triazachrysenes as potent topoisomerase I-targeting anticancer agents // Med.Chem. Res. – 2003. – № 12. – P. 1–12.

5. G. P. Sagitullina, L. V. Glizdinskaya, G. V. Sitnikov, R. S. Sagitullin, Nitropyridines. 1. Hantzsch Synthesis of Nitropyridines and Their Quaternary Salts // Chem. Heterocyc. Comp. – 2002. – № 38. – P. 1336–1341.

УДК 547.734, 547.736, 547.735

СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ ТИЕНОПИРИДИНА НА ОСНОВЕ 2-АРИЛ-3-АМИНОТИОФЕНОВ

Самсоненко А. Л.[1], Костюченко А. С.[1,2], Фисюк А. С.[1,2]

[1] *Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, Россия, Омск, 644077, пр. Мира, 55а*
[2] *Омский государственный технический университет, Россия, Омск, 644050, пр. Мира, 11*

2-Арил-3-аминотиофены широко используются для синтеза конденсированных ароматических систем, которые находят применение в дизайне органических материалов для светодиодов, солнечных батарей и люминесцентных красителей [1,2]. Мы предложили новый подход к синтезу 2-арил-3-аминотиофенов **4a,b** на основе азидов ацетофенона и ацетилтиофена **2a,b** [3,4], которые были превращены в соединения **4a,b** в две стадии.

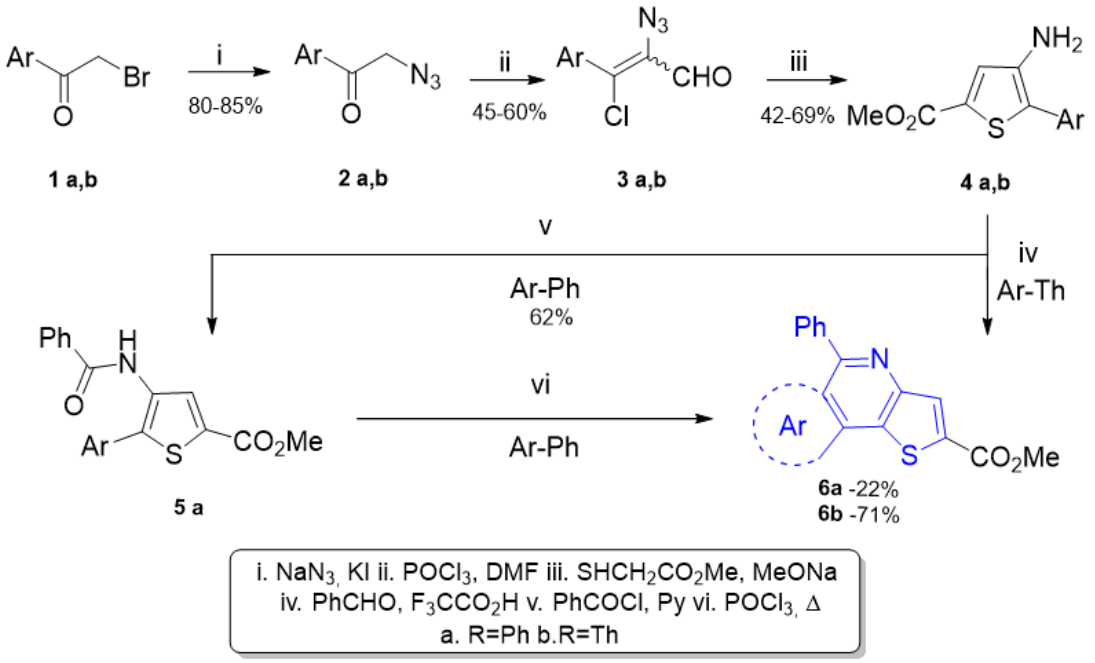


Рис. 1. Общая схема получения производных тиенопиридина на основе 2-арил-3-аминотиофенов

Производные тиенопиридина **6a,b** были получены из 2-арил-3-аминотиофенов **4a,b** реакций Пикте-Шпенглера и Бишлера – Напиральского [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект №19-13-00273).

Библиографический список

1. Chung C. L., Chen H. C., Yang,Y. S., Tung W. Y., Chen J. W., Chen W. C. – S, N-Heteroacene-Based Copolymers for Highly Efficient Organic Field Effect Transistors and Organic Solar Cells: Critical Impact of Aromatic Subunits in the Ladder π-System // ACS Appl. Compos. Mater. & Int. – 2018. – V.10. – № 7– P. 6471–6483.

2. Sun C., Song, S., Song, H. G., Park, S. M., Kim, J. Y., Kim, Y. H., & Kwon, S. K. – A new dithienopyridine-based polymer for an organic electronics // J. Nanosci. Nanotechnol. – 2017. – V. 17. – № 8. – P. 5792-5795.

3. A.S. Kostyuchenko, A.M. Averkov, A.S. Fisyuk. A Simple and Efficient Synthesis of Substituted 2,2′-Bithiophene and 2,2′:5′,2″-Terthiophene // Org. Lett. – 2014. – V. 16. – № 7. – P. 1833–1835.

4. Majo V. J., Perumal P.T. - Intramolecular Cyclization of Azides by Iminium Species. A Novel Method for the Construction of Nitrogen Heterocycles under Vilsmeier Conditions // J. Org. Chem. – 1998 – № 63. – P. 7136–7142.

5. Kulakov I.V., Shatsauskas A.L., Matsukevich M.V, I.V. Palamarchuk, Seilkhanov T.M., Gatilov Y.V., Fisyuk A.S. – A New Approach to the Synthesis of Benzo [c][1, 7] naphthyridin-4 (3H)-ones // Synthesis. – 2017. – V. 49. – № 16. – P. 3700–3709.

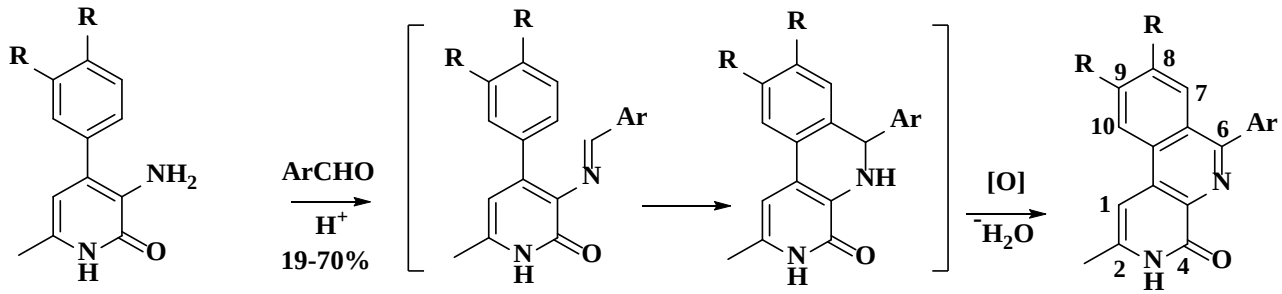
УДК 547.836.3

ПЕРЕГРУППИРОВКА 5-МЕТИЛ-7-ФЕНИЛ[1,3]ОКСОЗОЛО[5,4-*B*]ПИРИДИНА В 2-МЕТИЛБЕНЗО[*C*][1,7]НАФТЕРИДИН-4(3*H*)-ОН В ПРИСУТСТВИИ КИСЛОТ ЛЬЮИСА

Мамонова Т. Е.[1], Шацаускас А. Л.[1,2], Фисюк А. С.[1,2*]

[1] *Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, пр. Мира, 55а, Омск 644077, Россия*
[2] *Омский государственный технический университет, пр. Мира, 11, Омск 644050, Россия;*
[*] *e-mail: fisyuk@chemomsu.ru*

Недавно нами был разработан метод получения ранее не известных 6-арилбензо[*c*][1,7]нафтиридин-4(3*H*)-онов **2-9a,2-9b,** представляющих интерес как биологически активные соединения [1-5]. Этот способ, основанный на взаимодействии 4-арил-3-аминопиридин-2(1*H*)-онов **1a,b** и ароматических альдегидов в кислой среде [6], не позволяет получить незамещенные по С-6 положению бензо[*c*][1,7]нафтиридин-4(3*H*)-оны.



2 Ar=Ph; 3 Ar=C_6H_4-4-OMe; 4 Ar=2-Py; 5 Ar=4-Py;
6 Ar=C_6H_4-4-F; 7 Ar=C_6H_4-4-NMe_2; 8 Ar=C_6H_4-2-OH; 9 Ar=2-Th
1-9 a R=H, b R=OMe.

*Рис. 1. Синтеза 6-арилбензо[c][1,7]нафтиридин-4(3H)-онов **2-9a,2-9b***

Нами показано, что нагревание 5-метил-7-фенилоксазоло[5,4-*b*]пиридина **10**, полученного конденсацией 3-амино-4-фенилпиридин-2(1*H*)-она **1b** с триэтилортоформиатом, в присутствии $AlCl_3$ в среде хлорбензола приводит к бензо[*c*][1,7]нафтиридин-4(3*H*)-ону **12** с выходом 69 **%**. Было установлено, что перегруппировка не происходит даже при длительном нагревании 5-метил-7-фенилоксазоло[5,4-b]пиридина **10** с BF_3•Et_2O, $SnCl_4$ и $ZnCl_2$, а в присутствии $TiCl_4$, $FeCl_3$ и $SdCl_5$ наблюдается осмоление реакционной смеси с образованием следов соединения **12**.

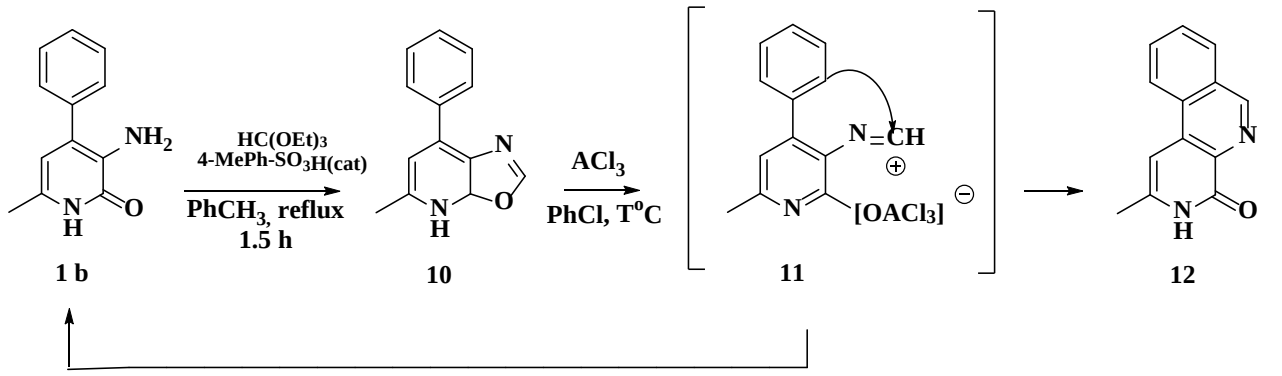


*Рис. 2. Синтез бензо[c][1,7]нафтиридин-4(3H)-она **12***

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №19-13-00273).

Библиографический список

1. Natsugari H., Ikeura Y., Kiyota Y., Ishichi Y., Ishimaru T., Saga O., Shirafuji H., Tanaka T., Kamo I. Novel, potent, and orally active substance P antagonists: synthesis and antagonist activity of N-benzylcarboxamide derivatives of pyrido[3,4-b]pyridine // J. Med. Chem. – 1995. – Vol. 38. – P. 3106–3120.

2. Natsugari H., Ikeura Y., Kamo I., Ishimaru T., Ishichi Y., Fujishima A., Tanaka T., Kasahara F., Kawada M., Doi T. Axially chiral 1,7-naphthyridine-6-carboxamide derivatives as orally active tachykinin NK_1 receptor antagonists: synthesis, antagonistic activity, and effects on bladder functions // J. Med. Chem. – 1999. – Vol. 42. – P. 3982-3993.

3. Humphrey J. M. Medicinal chemistry of selective neurokinin-1 antagonists // Curr. Top. Med. Chem. – 2003. – Vol. 3. – P. 1423–1435.

4. Venkova K., Sutkowski-Markmann D. M., Greenwood-Van Meerveld B. Peripheral activity of a new NK_1 receptor antagonist TAK-637 in the gastrointestinal tract // J. Pharmacol. Exp. Ther. – 2002. – Vol. 300. – P. 1046–1052.

5. Dress K., Johnson T., Plewe M., Tanis S., Zhu H. Inhibitors of the HIV integrase enzyme // Pat. US 20070099915. – 03.05.2007.

6. Kulakov I. V., Shatsauskas A. L., Matsukevich M. V., Palamarchuk I. V., Seilkhanov T. M., Gatilovd Y. V., Fisyuk A. S.. A new approach to the synthesis of benzo[c][1,7]naphthyridin-4(3H)-ones/ // Synthesis. – 2017. – Vol. 49. – P. 3700–3709.

УДК 547.832.7

СИНТЕЗ 2-ФЕНИЛ-*2H*-ПИРАЗОЛО[3,4-*b*]ХИНОЛИНА

Быструшкин М. О.[1], Ульянкин Е. Б.[2], Черненко С. А.[2], Костюченко А. С.[1,2], Фисюк А. С.[1,2]

[1] *ФГБОУ ВО «Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского», (Россия, г. Омск, пр. Мира, 55а)*
[2] *Лаборатория «Новые органические материалы», ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», (Россия, г. Омск, пр. Мира, 11)*

Производные пиразоло[3,4-*b*]хинолина представляют интерес в качестве люминофоров и строительных блоков для органических полупроводников[1].

Реакцией доступного 2-хлорхинолин-3-карбальдегида **2** [2], и азида натрия был получен тетразоло[1,5-*a*]хинолин-4-карбальдегид **4**[3], который, взаимодействием с анилином, был превращен в основание Шиффа **5**.

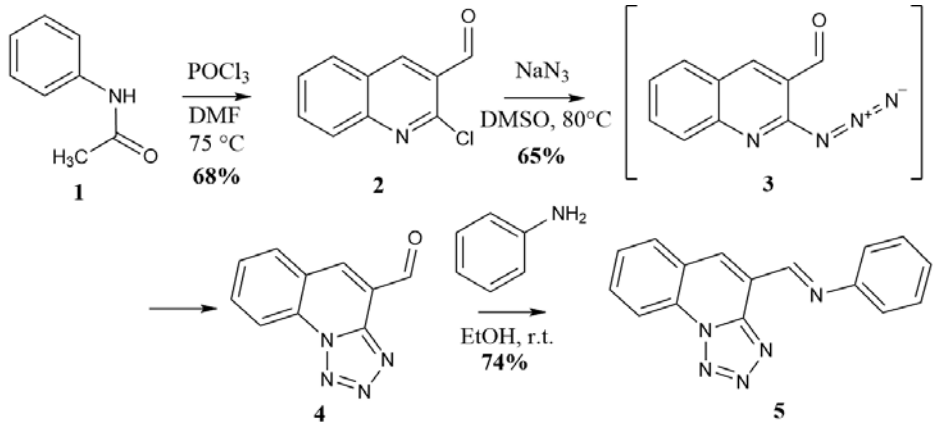


Рис. 1. Синтез N-фенил-1-(тетразоло[1,5-a]хинолин-4-ил)метанимина 5

Нагревание соединения **5** в о-ксилоле и в отсутствии растворителя в инертной атмосфере привело к образованию 2-фенил-2*H*-пиразоло[3,4-*b*]хинолина с выходами 45 и 50% соответственно.

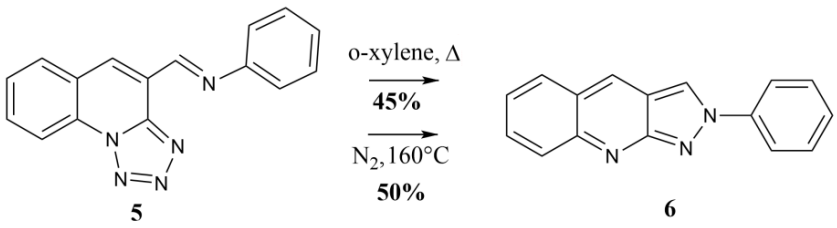


Рис. 2. Синтез 2-фенил-2H-пиразоло[3,4-b]хинолина 6

Полученное соединение является эффективным люминофором с квантовым выходом 45%.

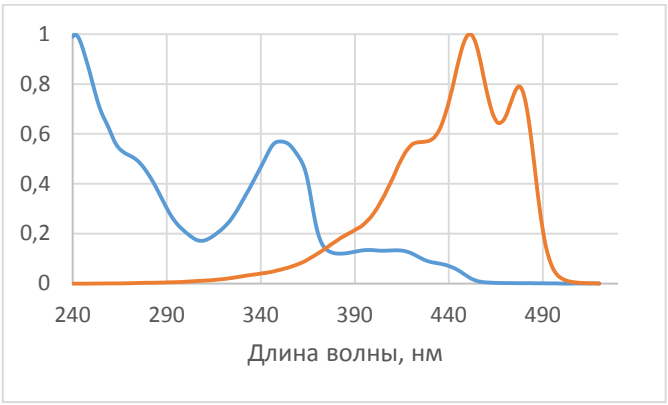


Рис. 3. Относительные спектры поглощения (синий) и испускания (оранжевый) соединения 6, записанные в хлороформе (C = 1.9·10^{-5} моль/л)

Таблица 1. Оптические свойства пиразолохинолина **6**

Абсорбция			Фотолюминесценция				
$^{max}\lambda_{abs}$ [нм]	E_g [эВ]	Молярный коэффициент поглощения	λ_{ex} [нм]	$^{max}\lambda_{em}$ [нм]	Сдвиг Стокса [нм]	Сдвиг Стокса [эВ]	Квантовый выход, Φ_{fl}[a]
241; 350; 399; 413	2,76	$(13,3\pm0,2)\cdot10^3$ (λ = 350 нм) $(3,1\pm0,1)\cdot10^3$ (λ = 413 нм)	390; 400	453; 479; 505	40	0,26	0,45±0,01

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №19-13-00273).

Библиографический список

1. H. B. V. Sowmya, T. H. S. Kumara, G. Nagendrappa, J. P. Jasinski, S. P. Millikan, V. Chandramohan, G. Jose, S.K. Rashmi, N. Chandrika, A. M. Ashwini, Synthesis and Molecular Docking Study of Novel Pyrazolo[3,4-b]quinoline Derivatives // Journal of Applicable Chemistry (Lumami, India). – 2014. – V. 3. – № 6. – C. 2384–2392.

2. O. Meth-Cohn, B. Narine, B. Tarnowski, A versatile new synthesis of quinolines and related fused pyridines, Part 5. The synthesis of 2-chloroquinoline-3-carbaldehydes // J. Chem. Soc., Perkin Trans. – 1981. – № 1. – C. 1520–1530.

3. B. F. Abdel-Wahab; R. E. Khidre; A. A. Farahat; A. S. El-Ahl, 2-Chloroquinoline-3-carbaldehydes: synthesis, reactions and applications // Reviews and Accounts. – 2012. – 1. – C. 211–276.

УДК 547.783

СИНТЕЗ 1,3-ЗАМЕЩЕННЫХ ИМИДАЗОЛИДИНДИОНОВ

Заблоцкий Ю. А.[1], Шацаускас А. Л.[1,2], Фисюк А. С.[1,2]

[1] *ОмГУ им. Ф. М. Достоевского, Россия, Омск, Мира пр. 55а*

[2] *Омский государственный технический университет, Россия, Омск, 644050, пр. Мира, 11*

Фрагмент гидантоина (имидозалидин-2,4-диона) присутствует в фармацевтических препаратах, обладающих противосудорожными [1, 2] и противоэпилептическим [3] свойствами. В ряду 3-аминопиридин-2(1H)-онов также встречаются биологически активные соединения [4, 5, 6].

Наиболее распространенным методом синтеза гидантоинов представляет собой взаимодействие аминокислот с изоцианатами [2]. Раннее было показано, что перегруппировка Гофмана протекающая при действии дихлоризоцианурата натрия на 2-оксо-4-фенил-1,2-дигидропиридин-3-карбоксамид **1** приводит к 7-фенил[1,3]оксазоло[5,4-*b*]пиридин-2(1*H*)-ону **2**, являющегося синтетическим аналогом соответствующего изоцианата.

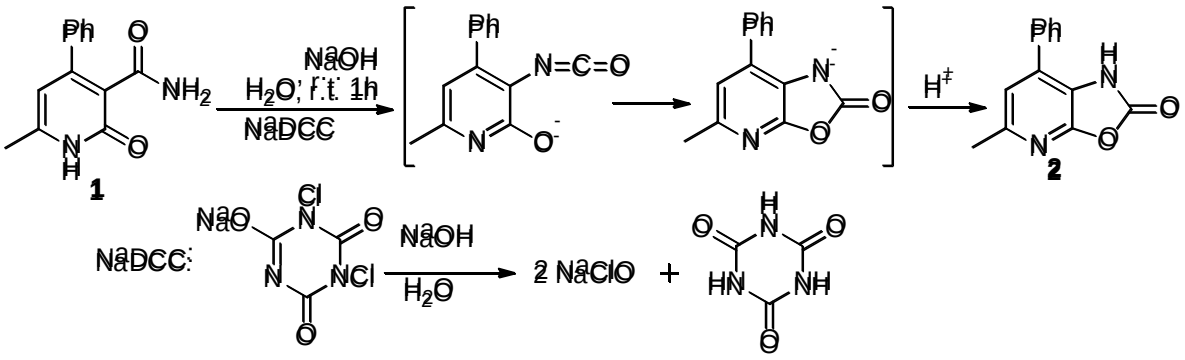


Рис. 1. Синтез [1,3]оксазоло[5,4-b]пиридин-2(1H)-она

Взаимодействием оксазолона **2** с солянокислым эфиром аминоуксусной кислоты в ДМФА или диоксане в присутствии основания был получен имидазолидин-2,4-дион **4**.

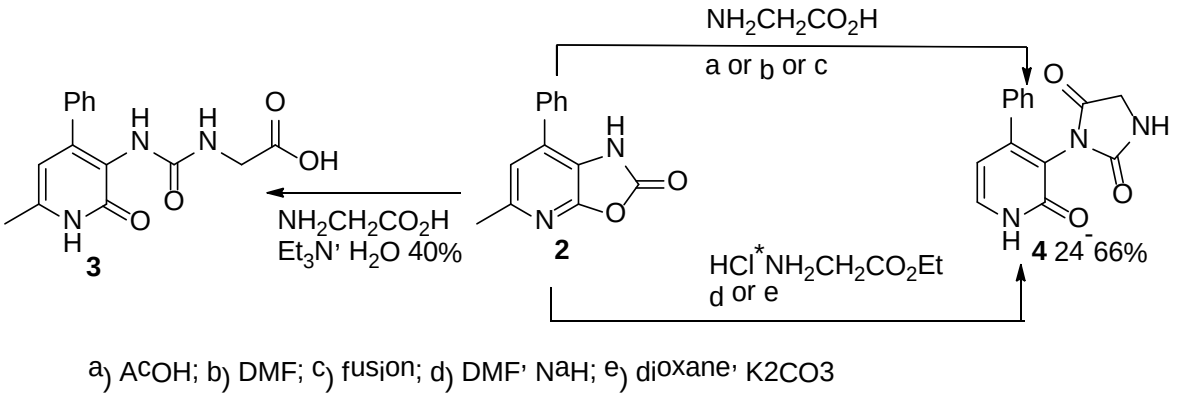


Рис. 2. Синтез имидазолидин-2,4-диона

Подобная циклизация наблюдается так же при нагревании соединения **2** с глицином в AcOH либо в ДМФА, а также при сплавлении этих реагентов. В то же время, при проведении реакции в воде в присутствии триэтиламина была выделена мочевина **3**.

Нагревание соединения **5**, полученного алкилированием оксазолона **2** хлоруксусным эфиром в водно-спиртовом растворе аммиака, привело к имидазалидин-2,4-диону **6**. 1,3-Замещенный имидазалидин-2,4-дион **7** был выделен при нагревании эфира **5** с солянокислым эфиром глицина.

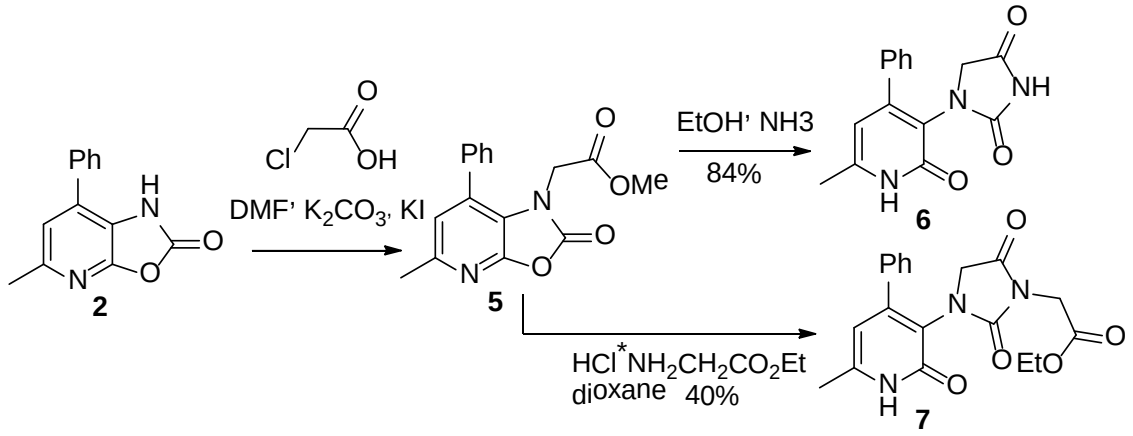


Рис. 3. Синтез имидазолидин-2,5-диона

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект №19-13-00273).

Библиографический список

1. S. Kuehnert, R. M. Koenigs, A. Kless, 3-((hetero-)aryl)-8-amino-2-oxo-1,3-diaza-spiro-4.5-decane derivatives // contribution from the squibb institute for medical research. – 1951. – C. 4139.

2. A.V. Bogolubsky, Y.S. Moroz, O. Savych, S. Pipko, A. Konovets, M.O. Platonov, O.V. Vasylchenko, V.V. Hurmach, O.O. Grygorenko, An Old Story in the Parallel Synthesis World: An Approach to Hydantoin Libraries // ACS Combinatorial Science – 2018. – № 20. – C. 35–43.

3. C.Y. Francis, A.X. Schanne, S. Yoganathan, R.A. Stephani, B.A. Johns, E.J. Velthuisen, Synthesis of N-1, N-3 disubstituted spirohydantoins and their anticonvulsant activities in pilocarpine model of temporal lobe epilepsy // Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters – 2016. – № 26. – C. 2912–2914.

4. B.A. Johns, E.J. Velthuisen, Phenyl and tertbutylacetic acid substituted pyridinones having anti-HIV effects // Pat. WO 2016012913. – 28.01.2016.

5. Y. Cao, Y. Zhang, S. Wua, Q. Yang, X. Sun, J. Zhao, F. Pei, Y. Guo, C. Tian, Z. Zhang, H. Wangd, L. Mad, J Liu, X. Wang, Synthesis and biological evaluation of pyridinone analogues as novel potent HIV-1 NNRTIs // Bioorg. Med. Chem. – 2015. – Vol. 23. – P. 149–159.

6. G.Y. Lesher, C.J. Opalka, 3-Cyano-5-(pyridinyl)-2(1H)-pyridinones // Pat. US 4004012. – 18.01.1977.

УДК 547.787.1, 547.823

СИНТЕЗ 2-ФЕНИЛ-6Н-АНТРА[1,9,8-cdef][1,7]НАФТИРИДИН-6,11(10Н)-ДИОНА

Костюченко А. С.[1,2], Абайдулина Д. Р.[2], Шацаускас А. Л.[1,2], Ульянкин Е. Б.[2], Фисюк А. С.[1,2]

[1] *Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, Россия, Омск, 644077, пр. Мира, 55а*
[2] *Омский государственный технический университет, Россия, Омск, 644050, пр. Мира, 11*

1-Амино-3Н-нафто[1,2,3-de]хинолин-2,7-дион **4** был получен исходя из коммерчески доступного аминоантрацена-9,10-диона **1** в три стадии [1]. Реакция соединения **4** с хлорангидридами карбоновых кислот в условиях микроволнового излучения привела к оксазолам **5**. Синтез антранафтиридин-6,11-диона **6** был осуществлен реакцией Пикте-Шпенглера соединения **4** с бензальдегидом в полифосфорной кислоте [2].

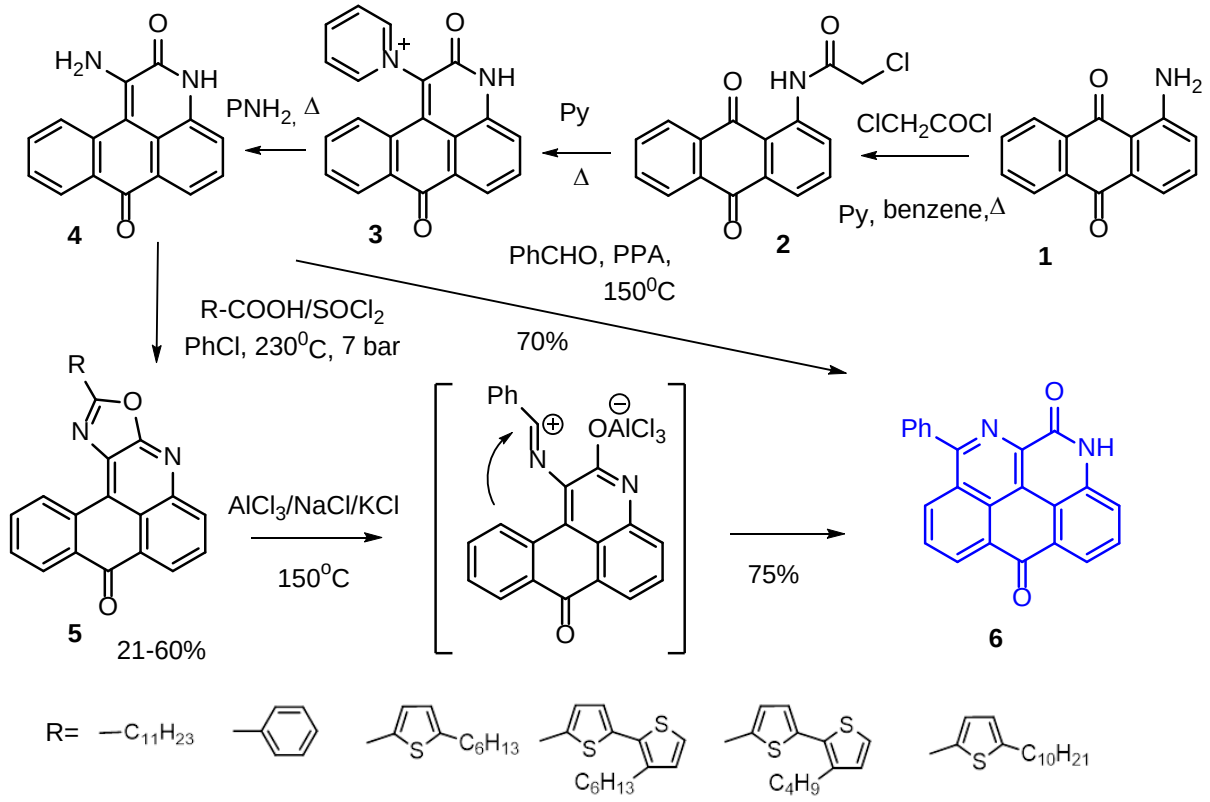


Рис. 1. Синтез конденсированных систем 5 и 6 на основе 1-аминоантрацен-9,10-диона 1

Впервые показана возможность перегруппировки оксазола **5** в антранафтиридин-6,11-дион при нагревании в смеси $AlCl_3$/NaCl/KCl при 150^{0}C. Поликонденсированные системы **5**,**6** являются перспективными материалами для органической электроники [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №19-13-00273).

Библиографический список

1. M.V. Kazankov, G. I. Putsa, L. L. Mukhina, Oxazoloanti-irapyridines and their properties // Chem. Heterocycl. Compd. – 1973. – № 9. –V. 5. – P. 563–569.

2. I.V. Kulakov, A.L. Shatsauskas, M.V. Matsukevich, I.V. Palamarchuk, T.M. Seilkhanov, Y.V. Gatilov, A.S. Fisyuk, A New Approach to the Synthesis of Benzo [c][1, 7] naphthyridin-4 (3H)-ones // Synthesis. – 2017. – V. 49. – № 16. – P. 37003709.

3. M. Stępień, E. Gońka, M. Żyła, N. Sprutta, Heterocyclic Nanographenes and Other Polycyclic Heteroaromatic Compounds: Synthetic Routes, Properties, and Applications // Chemical Reviews. – 2017. – № 117. – V. 4. – P. 3479–3716.

Секция 3

ХИМИЧЕСКОЕ И НЕФТЕГАЗОВОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.521

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТУПЕНИ НА ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА С КОМБИНИРОВАННОЙ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТЬЮ

Гордеева У. С.[1], Демихов К. Е.[1], Очков А. А.[1]

[1] *МГТУ им. Н. Э. Баумана (Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1)*

В условиях стремительного развития науки и техники процессы, протекающие при пониженном давлении, находят все большее применение. Механические вакуумные насосы применяются для обеспечения требуемого пониженного давления в технологических процессах химической и нефтехимической промышленностей. В частности, турбомолекулярные вакуумные насосы (ТВН) нашли широкое применение в областях: физика высоких энергий, осаждение тонких пленок, оптическое напыление и др. ТВН обладают радом преимуществ таких как: быстрота откачки, достаточная для обеспечения технологических процессов, отсутствие загрязнения откачиваемого объема органическими соединениями, обеспечение требуемого рабочего давления на стороне всасывания. Существуют различные типы проточных частей ТВН: однопоточные – состоящие из одного или нескольких типов пакетов лопаточных колес, а также ТВН с комбинированной проточной частью.

Существуют различные варианты исполнения комбинированных проточных частей ТВН. Наиболее распространенными являются: комбинация турбомолекулярной ступени и цилиндрической ступени с кольцевыми каналами на роторе (модель Геде), турбомолекулярной ступени и цилиндрической ступени со спиральными каналами вдоль поверхности ротора (модель Хольвека), турбомолекулярной ступени и дисковой ступени со спиральным каналом от внешнего диаметра к центру диска (модель Зигбана).

Выбор ТВН с тем или иным типом проточной части зависит от основных параметров откачки, требуемых для обеспечения технологического процесса. Для определения основных параметров откачки необходимо оценить влияние основных параметров молекулярных ступеней на основные параметры ТВН с комбинированной проточной частью.

Для этого необходимо провести расчёт основных параметров ТВН с комбинированной проточной частью:

1. Рассчитать геометрические параметры рабочих колес турбомолекулярной ступени;

2. Рассчитать откачные характеристики рабочих колес таких как: быстрота откачки (S_{max}, м^3/с) и степень повышения давления (τ_{max});

3. Рассчитать проводимости кольцевых зазоров между корпусом и роторными колесами ($U_{\text{рот}}$, л/с) и между валом и статорными колесами ($U_{\text{ст}}$, л/с);

4. Рассчитать геометрические (x_1, x_2), скоростные (u_1, u_2) и откачные параметры (p_1, p_2) канала молекулярной ступени;

5. Рассчитать быстроту действия насоса $S_{\text{н}}$, м^3/с.

В результате проведения расчета основных параметров ТМН с комбинированной проточной частью по предложенному методу была получена откачная характеристика молекулярной ступени $S = f(p)$, при давлении нагнетания 0,1 Па, а также откачная характеристика ТМН с учетом влияния основных параметров молекулярной ступени при молекулярном режиме течения газа.

В результате можно сделать вывод, что влияние молекулярных ступеней на основные параметры ТМН определяется преимущественно их числом, которое в свою очередь обеспечивает требуемую степень повышения давления для работы колес ТМН в молекулярном режиме течения.

Библиографический список

1. К. Е. Демихов, Н. К. Никулин, Е. В. Свичкарь, Перспективы развития комбинированных турбомолекулярных вакуумных насосов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 5. – С. 36–36.

2. Н. К. Никулин, К. Е. Демихов, Методика расчёта откачной характеристики высоковакуумной системы с турбомолекулярным вакуумным насосом // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2017. – Т. 1. – № 2. – С. 65.

3. Е. В. Свичкарь, Н. К. Никулин, К. Е. Демихов, Методика расчёта откачной характеристики высоковакуумной системы с турбомолекулярным вакуумным насосом // Омский научный вестник. Серия авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2018. – Т. 2. – № 1. – С. 65–71.

4. К. Е. Демихов, А. А. Очков, Универсальная математическая модель процесса откачки газа молекулярным вакуумным насосом // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». – 2017. – № 6 (117).

5. J.–S. Heo, Analysis of Pumping Performance of a Helical Drag Pump Using the Diffusion Equation // Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B. – 2008. – Vol. 32. – Issue 5. – P. 382–391.

УДК 536.24

ПРОГРАММНО-АППРАТАНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В ТРАНСПОРТНЫХ ЕМКОСТЯХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ИЗМЕНЕНИИ ИХ ОРИЕНТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ

Гошля Р. Ю.[1], Юша В. Л.[1]

[1] *ФГБОУ ОмГТУ (Россия, Омск, пр. Мира, д. 11)*

Проблема изучения процесса теплообмена жидкостей транспортируемых в емкостях в настоящие время актуальна, и частично изучена, т.к. для создания полноценной модели необходимо учитывать процессы описываемые следующими науками: гидрогазодинамикой, теплофизикой, теплотехникой, механикой. Причинами этого являются разные по форме сосуды, и разные процессы теплопередачи в зависимости от того сосуд находиться в горизонтальном положении или изменяет свое положение в пространстве.

Литературный анализ показал, что в настоящие время бурно изучаются процессы теплообмена в сосудах путем моделирования процессов теплообмена при помощи средств математического моделирования [1–8] в среда ANSYS и MathLab, но не одна из моделей описываемых в данных источниках не подвергается практической верификации.

В процессе транспортировки жидкость в сосуде испытывает возмущающие воздействия в результате которого изменяются условия теплообмена, по причине которых для некоторых типов жидкостей наступает условия их испарения и в результате происходит естественная убыль жидкости от 20% до 30%[9].

Программно-аппаратный комплекс для исследования процессов теплообмена в транспортных емкостях при динамическом изменении их ориентации в пространстве, состоит из системы имитации качки, системы измерения динамики угла наклона и системы измерения температуры.

Система имитации качки состоит из двух подвижных платформ, которые соединены с червячными мотор-редукторами. Каждая платформа оснащена системой автоматического управления моторами и позволяет изменять угол наклона и период совершения колебания. Контроль изменения угла наклона и периода колебаний осуществляется при помощи двух резистивных измерительных преобразователей соединенных с осью подвижной платформы, изменение угла наклона платформы приводит к измерению электрического сопротивления измерительного преобразователя, которое преобразуется в изменение выходного напряжения и в дальнейшем преобразуется в цифровой код и передается на персональный компьютер.

Измерение температуры осуществляется с помощью термисторов, на базе которых построены измерительные преобразователи, которые преобразуют изменение фактического значения температуры в изменение электрического напряжения, преобразуемое при помощи аналогово-цифрового преобразователя в код и передаваемый на персональный компьютер для дальнейшей математической обработки.

Апробация работы комплекса проводилась на базе сферического сосуда диаметром 360 мм с объемом 16 литров, который устанавливался на подвижную платформу, и заполнялся на 3/4 горячей водой с температурой 80 °С. Сосуд подвергался качке со следующими параметрами: угол наклона платформы ±45º; с период одного полного колебания 14 секунд; время качки 3 часа. В процессе качки производилась непрерывная запись значений температуры жидкости и температуры стенки сосуда внутри и снаружи. Контроль температуры жидкости осуществлялся при помощи зонда, состоящего из четырех термисторов расположенных в центре сосуда на расстоянии 50 мм. Измерение температуры стенки производилось платиновыми термометрами сопротивления, распложенными на стенке сосуда с разных сторон.

На рисунке 1 показан график изменения средней температуры стенки сосуда в статическом режиме и при совершении колебаний сосуда.

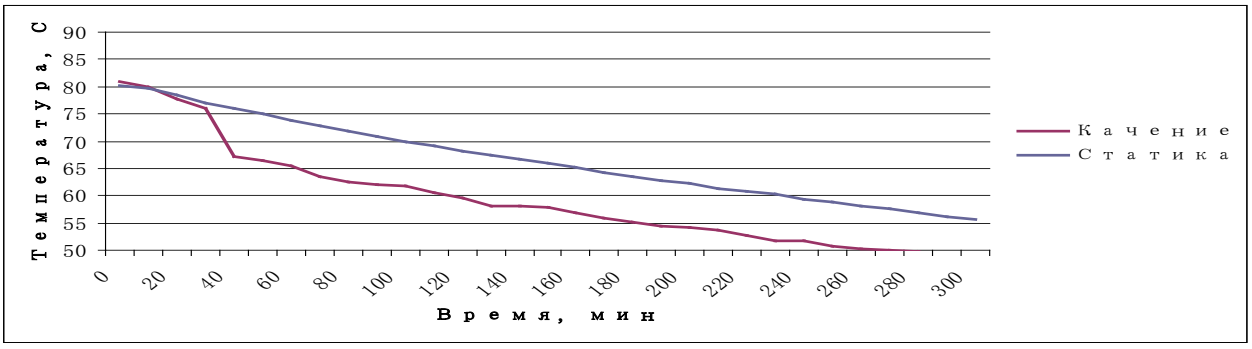


Рис. 1

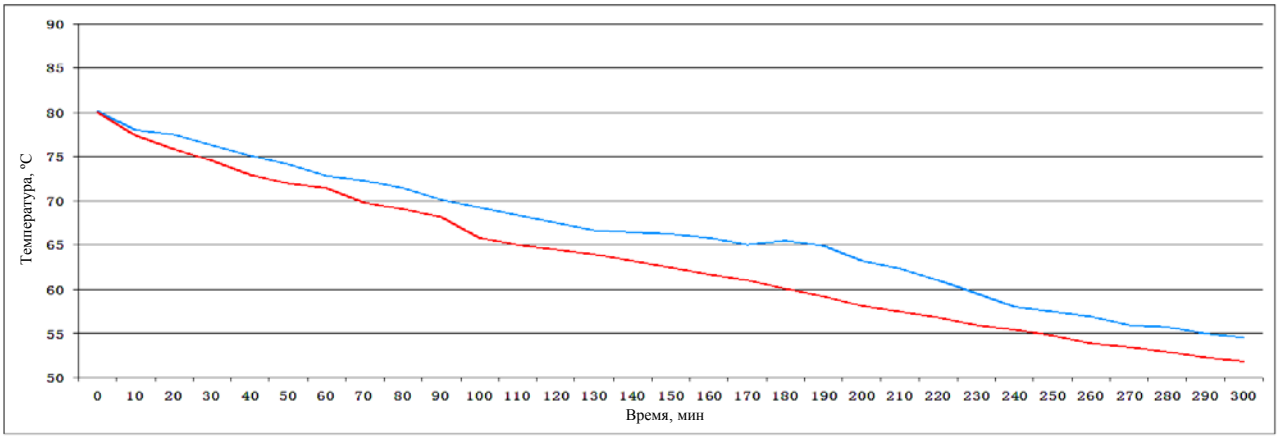


Рис. 2

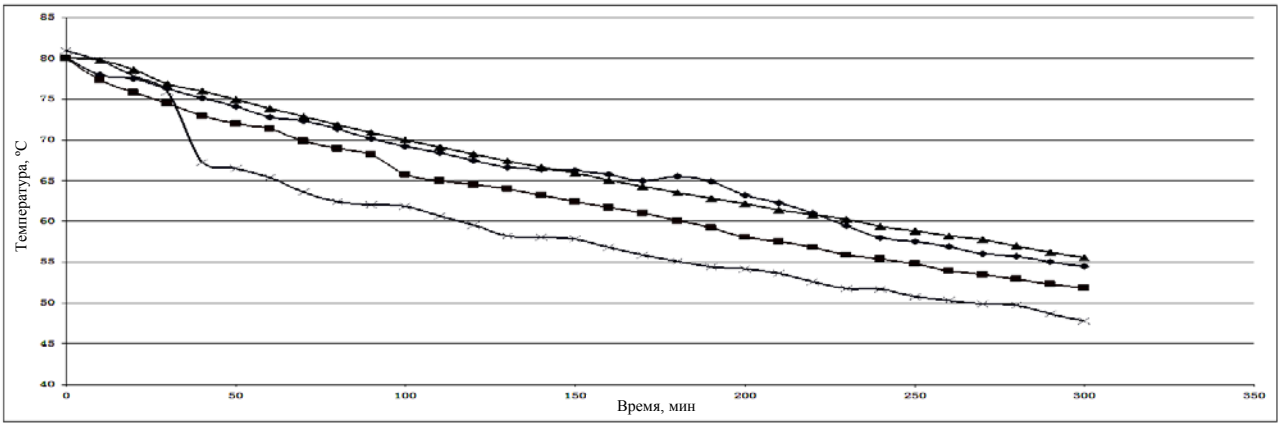


Рис. 3

Данные полученные при помощи программно аппаратного комплекса позволят производить анализ процессов происходящих в транспортных емкостях во время транспортирования.

Библиографический список

1. Das Manab Kumar Conjugate natural convection heat transfer in an inclined square cavity containing a conducting block / Das Manab Kumar, Reddy Sarah // Int. J. Heat and Mass Transfer. 2006. – V. 49, № 25–26. – P. 4987–5000.

2. Haldar S.C. Numerical study of laminar free convection about horizontal cylinder with longitudinal fins of finite thickness / S.C. Haldar, G.S. Koshbar, K. Manohar, R.K. Sahoo // J. Therm. Sei. 2007. – V. 46, № 7. – P. 692–698.

3. Chen Tzong-Huei Study of buoyancy-inducted flows subjected to partially heated sources on the left- and bottom walls in a square enclosure / Chen Tzong-Huei, Chen Li-Yueh // Int. J: Therm. Sci. 2007. – V. 46, № 12. – P. 1219–1231.

4. Daez Elsa 2D natural* convection' flows in tilted cavities: porous media and homogeneous fluids / Daez Elsa, Nicalas Alfredo // Int J. Heat and Mass Transfer. 2006. – V. 49, № 25–26. – P. 4773–4785.

5. Wang Xiuling Application of an;hp-adaptive FEM for solving thermal flow problems / Wang Xiuling, Pepper Darrell // W. J. Thermophys. and Heat Transfer. 2007. – V. 21, № 1. – P. 190–198.

6. WangQ. W. Numerical i nvestigation o f nat ural co nvection in a inclined enclosure filled with porous medium under magnetic field / Q. W.Wang, M. Zeng, Z.P. Huang // Int. J. Heat and Mass Transfer. 2007. – V. 50, № 17–18. – P. 3684–3689.

7. Cheikh Nader Ben Aspect ratio effect on natural convection flow in a cavity submitted to a periodical temperature boundary / Beya Brahim Ben, Lili Taieb // J. Heat Transfer. 2007. – V. 129, № 8. – P. 1060–1068.

8. Courant R. On the partial difference equations of the mathematical physics / R. Courant, K.O. Friedrichs, H. Lewy // IBMJ. Res. Dev. 1967. – V. l 1. – P. 215–234.

9. Приказ Минэнерго РФ N 527, Минтранса РФ N 236 от 01.11.2010 "Об утверждении норм естественной убыли нефти и нефтепродуктов при перевозке железнодорожным, автомобильным, водным видами транспорта и в смешанном железнодорожно-водном сообщении" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 21.12.2010 N 19297).

УДК 621.514

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ХОЛОДИЛЬНОГО ВИНТОВОГО КОМПРЕССОРА ПРИ ПОНИЖЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНДЕНСАЦИИ

Носков А. Н.[1], Шапошникова М.[1]

[1] *Университет ИТМО (Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр. 49)*

Использование воздушного конденсатора позволяет в холодное время года значительно уменьшить температуру и давление конденсации, что увеличивает энергетическую эффективность парокомпрессорной холодильной машины. Значительное снижение давления конденсации приводит к неустойчивой работе терморегулирующих вентилей ТРВ. В работе [1] предлагается при понижении давления конденсации устанавливать перед регулирующим вентилем насос, который повышает давлении жидкого хладагента до необходимой для нормальной работы ТРВ величины.

При понижении температуры конденсации необходимо регулировать холодопроизводительность. Решение этой задачи зависит от типа используемого компрессора.

Маслозаполненные винтовые компрессоры (ВКМ) широко применяются в различных областях, использующих искусственный холод. Регулирование производительности ВКМ золотником, золотником и подпятником и изменением и частоты вращения винтов имеет свои недостатки [2].

Регулирование золотником и поворотными заслонками позволяет не только регулировать геометрическую степень сжатия, но и получить необходимый закон изменения $\varepsilon_Г$ при уменьшении производительности [3].

На рисунке 1 представлены расчетные зависимости изменения относительной эффективной мощности винтового компрессора $\overline{N_e}$ от относительной холодопроизводительности $\overline{Q_0}$ при различной температуре конденсации при уменьшении производительности и регулировании геометрической степени сжатия золотником и поворотными заслонками. При расчете характеристик винтового компрессора использовались зависимости приведенные в работе [4]. Начальное значение геометрической степени сжатия $\varepsilon_Г$ = 2,6.

На этом же рисунке показана зависимость изменения $\overline{N_e}$ от $\overline{Q_0}$ при регулировании одним золотником при температуре конденсации $t_к$ = 12,5 ^{0}C и изменение этих величин при идеальном регулировании. При расчете $\overline{N_e}$ учитывалась мощность, затраченная жидкостным насосом. Она не превосходит величины 2,9% от мощности компрессора.

При $t_к$ = 12,5 ^{0}C уменьшении холодопроизводительности на 50% относительная величина мощности компрессора составляет 57% от мощности при полной производительности при регулировании золотником и поворотными заслонками и 79% при регулировании одним золотником с постоянной геометричкской степенью сжатия.

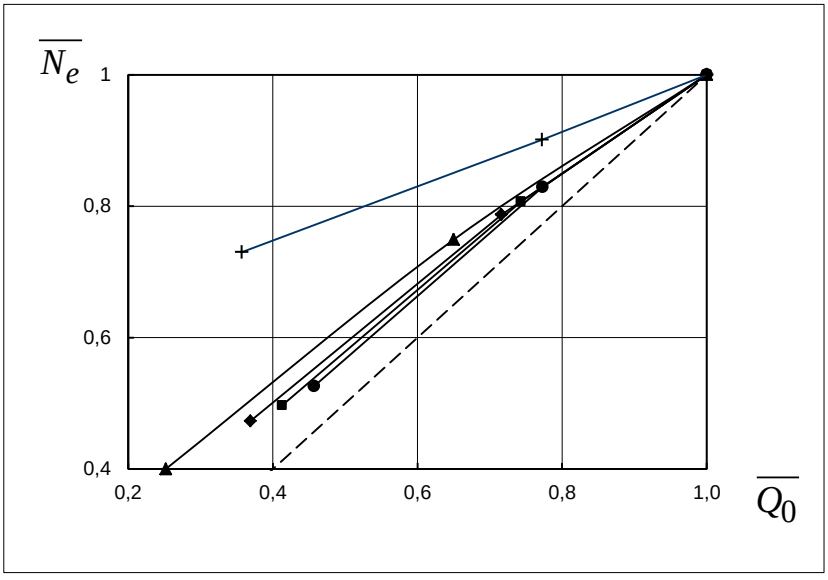


Рис. 1. Зависимость относительной эффективной мощности $\overline{N_e}$ от тносительной холодопроизводительности $\overline{Q_0}$ при различных способах регулирования

▲– $t_к$ = 31,1 ^{0}C; ◆– $t_к$ = 22,7 ^{0}C; ■ – $t_к$ = 17,9 ^{0}C; • – $t_к$ = 12,5 ^{0}C

+ – регулирование одним золотником; – – – идеальное регулирование

Из этих зависимостей видно, что наиболее эффективным способом регулирования производительности при уменьшении температуры конденсации является золотниковый регулятор с поворотными заслонками.

Библиографический список

1. Жердев А.А., Колесников А.С., Фролов Ю.Д. Цикл парокомпрессионной холодильной машины с плавающим давлением конденсации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Машиностроение”. – 2010. – Вып. 1-2. – С. 137–146.

2. Fleming, J. S. Optimisation Techniques Applied to the Design of a Refrigeration TiN Screw Compressor / Fleming, J. S., Tang, Y., Anderson, H. // International Compressor Engineering Conference. – 1994. – P. 1049.

3. Носков А.Н., Зимков А.А. Регулирование производительности холодильного винтового компрессора золотником и поворотными заслонками // Вестник международной академии холода. – 2008. – № 3. – С. 10–13.

4. Носков А.Н. Расчет процесса сжатия холодильного винтового компрессора // Компрессорная техника и пневматика. – 1997. – Вып. 1-2. – С. 35–39.

УДК628.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ ПРИ ТЕРМОСТАТИРОВАНИИ

Цыганков А. В., Лысёв В. И., Рубцов А. К., Шилин А. С.

Факультет низкотемпературной энергетики, Университет ИТМО
(191002, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9)

В химической, нефтехимической промышленности при производстве испытательных и поверочных работ в лабораториях широко применяется принцип термостатирования помещений при помощи систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Процесс термостатирования помещений является сложной и энергоемкой задачей, в связи с чем, необходим комплекс решений, направленный на снижение нагрузки на оборудование систем обеспечения микроклимата помещений и уменьшение энергопотребления [1], расходуемого этими системами. Одним из вариантов технических решений [2–3], позволяющим повысить энергетическую эффективность систем вентиляции и кондиционирования воздуха, является выбор оптимального режима управления при термостатировании помещений.

С целью оптимизации технических решений систем вентиляции и кондиционирования воздуха была разработана математическая модель, которая позволяет определять величины температур внутреннего воздуха помещений, а также величины температур наружных и внутренних поверхностей ограждений. Определение этих температур позволяет рассчитать величину теплового потока, проходящего через наружные ограждения и выбрать оптимальную технологическую схему обработки воздуха, а также подобрать оптимальный вариант оборудования систем обеспечения микроклимата.

Математическая модель состоит из нескольких уравнений тепловых балансов помещения, а именно:

1. Уравнение теплового баланса помещения:

$$(t_1^{k+1} - t_1^k) \cdot c_a \cdot \rho_a \cdot V_{in} = (Q_{in} + Q_{out}) \cdot \Delta\tau - \frac{1}{2}(t_1^{k+1} + t_1^k - t_2^{k+1} - t_2^k) \cdot \alpha_{in} \cdot F_{in} \cdot \Delta\tau, \quad (1)$$

где t_1^k – температура внутреннего воздуха помещения в начальный момент времени, ºС; t_1^{k+1} – температура внутреннего воздуха помещения в момент времени (k + 1), ºС; t_2^k – температура внутренней поверхности наружного ограждения в начальный момент времени, ºС; t_2^{k+1} – температура внутренней поверхности наружного ограждения в момент времени (k + 1), ºС; Q_{in} – количество теплоты в помещении, Вт; Q_{out} – количество теплоты, вошедшей (вышедшей) в помещение, Вт; c_a – теплоемкость внутреннего воздуха помещения, Дж/(кг·ºС); ρ_a – плотность внутреннего воздуха помещения, кг/м3; V_{in} – отапливаемый объем помещения, м3; α_{in} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения, α_{in} = 8,7 Вт/(м2·ºС); F_{in} – площадь внутренней поверхности ограждения, м2; $\Delta\tau$ – временной интервал, с.

2. Уравнение баланса тепловых потоков на внутренней границе наружного ограждения:

$$(t_1^{k+1} - t_2^{k+1}) \cdot \alpha_{in} = \frac{\lambda_w}{h} \cdot (t_2^{k+1} - t_3^{k+1}), \quad (2)$$

где t_3^{k+1} – температура в середине ограждения в момент времени (k + 1), ºС; λ_w – теплопроводность материала ограждения, Вт/(м·ºС); h – толщина ограждения, м.

3. Уравнение нестационарной теплопроводности:

$$\frac{t_3^{k+1}-t_3^k}{\Delta\tau} = \frac{\lambda_w}{c_w \cdot \rho_w} \cdot \frac{t_2^{k+1}-2t_3^{k+1}-t_4^{k+1}}{\left(\frac{h_w}{2}\right)^2}, \quad (3)$$

где t_3^k – температура в середине ограждения в начальный момент времени, ºС; t_4^{k+1} – температура наружной поверхности ограждения в момент времени (k + 1), ºС; c_w – теплоемкость материала ограждения, Дж/(кг·ºС); ρ_w – плотность материала ограждения, кг/м3.

4. Уравнение баланса тепловых потоков на внешней границе наружного ограждения:

$$(t_4^{k+1} - t_{out}^{k+1}) \cdot \alpha_{in} = \frac{\lambda}{h} \cdot (t_3^{k+1} - t_4^{k+1}), \quad (4)$$

где t_{out}^{k+1} – температура наружного воздуха в момент времени (k + 1), ºС.

Разработанная математическая модель позволяет определять величины тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции, что способствует, в зависимости от режима работы здания, формированию оптимального режима функционирования систем обеспечения микроклимата.

В дальнейшем, предложенная методика определения величин тепловых потоков в зданиях и сооружениях с целью оптимизации процессов тепловлажностой обработки воздуха, будет дополнятся за счет учета особенностей тепловых потоков через остекление, воздухораспределения, инфильтрации через неплотности наружных ограждений, лучистого теплообмена, процессов массопереноса влажного воздуха.

Библиографический список

1. Luping Zhuang, Xi Chen, Xiaohong Guan. A decentralized method for energy conversation of an HVAC system // Building Simulation. – 2019. – Pp. 1–16.

2. Лысев В.И., Шилин А.С. Направления повышения энергоэффективности зданий и сооружений // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. – 2017. – № 2(26). – С. 18–25.

3. Filip Belic, Zeljko Hocenski, Drazen Sliskovic. HVAC Control Methods – A review // 19th International Conference of System Theory, Control and Computing (ICSTCC). – 2015. – Pp. 679–686.

УДК 621.515

ОПТИМИЗАЦИЯ ОСЕРАДИАЛЬНОГО РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТУПЕНИ ОДНОМЕРНЫМИ, КВАЗИТРЕХМЕРНЫМИ И CFD-МЕТОДАМИ

Галеркин Ю. Б.[1], Дроздов А. А.[1], Соловьёва О. А.[1]

[1] *ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Россия, ул. Политехническая д. 29)*

Лаборатория «Газовая динамика турбомашин» СПбПУ Петра Великого имеет обширный опыт проектирования центробежных компрессоров. Метод универсального моделирования [1] – это комплекс компьютерных программ для расчета характеристик и оптимального проектирования центробежных компрессоров на основе математических моделей КПД и напора.

Цель работы – провести оптимизацию осерадиального рабочего колеса и сопоставить различные способы его проектирования, оценить влияние каждого из рассмотренных параметров и выработать рекомендации по оптимальному проектированию ОРК.

В качестве объекта исследования выбрана высокорасходная ступень промежуточного типа с ОРК и безлопаточным диффузором с параметрами проектирования и критериями подобия: $\Phi_{расч}$ = 0,105, $\psi_{T\,расч}$ = 0,56, M_u = 0,7, Re_u = 5600000, k = 1,4. Конструктивные ограничения типичны для ступеней рассматриваемого типа: $\overline{D}_{вт}$ = 0,28, $\overline{D}_4$ = 1,714, $\overline{\delta}_{рк}$ = 0,0086, $\overline{\delta}_{она}$ = 0,0372.

Оптимизировалась меридиональная форма ОРК, а так же форма лопаточной решетки. Меридиональная форма ОРК исследовалась при помощи программы МУМ, профилирование лопаток рабочего колеса производилось в программе невязкого квазитрехмерного расчета 3DM.023.

При помощи программы невязкого квазитрехмерного расчета было спроектировано 10 вариантов ОРК. Рассматривалось влияние высоты лопаток ОРК на выходе $\overline{b}_2$; подхода к профилированию лопаток ОРК («газодинамический» и «геометрический» подходы); закона изменения выходного угла лопатки по её высоте; угла навала лопатки на выходе; осевой протяженности ОРК $\overline{L}_m$.

Сопоставлялись варианты с постоянным и переменным углом лопатки по высоте $\beta_{л2} = f\left(\overline{b}_2\right)$. Во втором случае выходные углы лопатки увеличиваются от втулочной к периферийной поверхности тока. Влияние угла навала лопатки проверяется сравнением вариантов с разным углом навала выходной кромки лопаток: χ_2 = минус 30 - 30 градусов. Этот параметр предопределяет углы навала вдоль всей лопатки. Отрицательный угол навала χ_2 способствует уменьшению поверхности лопаток, но негативно воздействует на меридиональную неравномерность потока.

Математическая модель позволяет изучить влияние ряда геометрических параметров ОРК: осевой протяженности ОРК $\overline{L}_m$; диаметра входа в ОРК $\overline{D}_0$; положения входной кромки лопатки $\overline{l}_{mл}$; радиусов кривизны поверхностей основного и покрывающего дисков ОРК $\overline{R}_s$, $\overline{R}_h$; высоту лопаток на выходе $\overline{b}_2$; числа лопаток $z_{РК}$.

План оптимизационных расчетов, целью которых является получение наивысшего КПД ступени, составлен следующим образом:

1. Исходная ступень имеет соотношения размеров ОРК: $\overline{L}_m = 0,3$, $z_{РК}$ = 15, $\overline{D}_0 = 0,6$, $\overline{l}_{mл} = 0,792$, $\overline{R}_s = 0,215$, $\overline{R}_h = 0,257$;

2. Оптимизируются четыре группы ОРК с $\overline{L}_m$ = 0,26, 0,28, 0,30, 0,35. Это сделано с целью найти оптимальный размер $\overline{L}_m$;

3. В пределах каждой группы варьируется число лопаток, относительный диаметр входа и положение входной кромки в перечисленной последовательности.

Для всех рассмотренных вариантов были подобраны лопаточные углы входа и выхода с целью обеспечения заданных условного коэффициента расхода и коэффициента теоретического напора. Лопаточная решетки была спрофилирована при помощи программы невязкого квазитрехмерного расчета согласно выработанным на первом этапе исследования рекомендациям.

Так как экспериментальная проверка всех спроектированных рабочих колес не представляется возможным, то модельные испытания были заменены виртуальными, т.е. CFD-расчетами. Спроектированные ОРК исследовались в составе ступени. Были рассчитаны и сопоставлены газодинамические характеристики как ступени в целом, так и ОРК, проанализирована картина течения в рабочих колесах.

Исследование позволило повысить КПД ступени на всех режимах работы, КПД ступени на расчетном режиме повысился на 1,02%, по всей характеристике КПД повысился в среднем на 0,88%.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10165).

Библиографический список

1. Галеркин, Ю.Б. Турбокомпрессоры. – Изд-во КХТ., 2010. – СПб. – С. 650.

УДК 621.6.03

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ С ПРИМЕСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Виниченко В. С., Михайлов А. Г., Пышный И. П., Иванова А. Е., Слободина Е. Н.

ФГБОУ ВО Омский государственный технический университет
(Россия, г. Омск, пр. Мира, 11)

Обеспечение высокой эффективности работы тепловых агрегатов – главная задача теплоэнергетики. Перспективный способ интенсификации теплообмена – рост коэффициентов теплопроводности (λ) и теплоотдачи (α) теплоносителя путем добавления в него частиц твердой фазы наноразмерного диапазона с высокой теплопроводностью [1, 2]. Такие материалы получили название наножидкости. Особенностью

наножидкостей также является изменение физических свойств (плотность, вязкость, теплоемкость) базовой жидкости. Работ направленных на экспериментальное определение плотности и вязкости нанодисперсных систем ограниченное количество.

Задачей данного исследования является приготовление теплоносителя с различными примесными частицами. Установить влияние размера частиц, их природы и концентрации на физические свойства (плотность, вязкость) полученных систем.

Для приготовления дисперсных систем в качестве базовой жидкости было выбрано трансформаторное масло Т-1500У. В качестве твердой фазы выбраны латунь марки Л63 со средним размером частиц 2500 нм, неодимовый сплав марки N45 со средним размерами частиц 600 нм и графит со средним размером частиц 100 нм. Получение суспензии осуществлялось посредством смешения масла с частицами с использованием оборудования ресурсного центра «Политест». Для каждой из приготовленных дисперсных систем были проведены замеры плотностей при помощи набора ареометров АОН-1 (700–1840 кг/м^3) по ГОСТ 18481-81 и вязкости по ГОСТ 33-2000 при помощи вискозиметра ВПЖ-2 с использованием оборудования кафедры "Химическая технология" ОмГТУ.

На основании полученных результатов, установлено, что внесение частиц латуни, неодима и графита в базовое масло Т-1500У изменяет физические свойства теплоносителя, а именно плотность и вязкость. Так, введение частиц латуни в количестве 1.5 % мас. приводит к росту ρ от 854.5 до 859.8 кг/м^3, частиц неодима также приводит к увеличению плотности дисперсной системы от 854.5 до 861.3 кг/м^3, введение частиц графита в количестве 0.2–0.5 % мас. изменяет плотность суспензии до 855–856.5 кг/м^3. Таким образом, в целом плотность суспензии с увеличением концентрации выбранных твердых частиц растёт. С ростом содержания неодима от 0.5 до 1.5 % мас. наблюдали увеличение значения динамической вязкости (μ) дисперсных систем масло-неодим от 16.7 до 17.09 кПа·с и графита от 0.3 до 1.5 % мас. μ изменялось от 16.7 до 18.71 кПа с. Таким образом, обнаружено, что природа и содержание твердой фазы оказывает влияние на вязкость теплоносителя. Для суспензии масло-латунь было решено не измерять вязкость по причине значительного размера частиц (2500 нм). Подводя итог вышесказанному, можно предположить, что изучаемые системы могут быть использованы в качестве перспективных теплоносителей в теплообменных аппаратах.

Библиографический список

1. В.В. Бухмиров, Тепломассообмен. – Иваново, 2014. – 360 с.

2. В.Я. Рудяк, А.В. Минаков, М.И. Пряжников Теплофизические свойства наножидкостей и критерии подобия // Письма в журнал технической физики. – 2016. – Т. 42. – № 24. – С. 9–16.

УДК 621.27.001

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОПРЯЖЕННЫХ СИСТЕМ РАЗДЕЛЕНИЯ (ОХЛАЖДЕНИЯ) ГАЗОВ

Хабибова Н. З.[1], Москвичёв С. С.[1], Наумочкин А. Е.[1]

[1] *Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева (Россия, Москва, Миусская пл., 9)*

Необходимость применения искусственного холода возникает во всех случаях, когда ставится задача отвода тепла от технологического объекта при температурах ниже температуры окружающей среды. Многообразие химических производств, в которых осуществляются практически все известные физические и химические процессы с использованием веществ с самыми разнообразными свойствами порождает множество конкретных технологических задач, решаемых с использованием холода. Следует выделить типичные направления применения холода в химической технологии, в частности ожижение низкотемпературных газов и газовых смесей и, связанные с этими процессами, низкотемпературная ректификация и фракционная конденсация.

Представим функциональную схему разделения углеводородов методом парциальной конденсации.

Эффект охлаждения достигается в испарителе III за счёт кипения рабочего тела (хладагента), в качестве которого используется пропан C_3H_8 – ВКК (высококипящий компонент разделяемой смеси). Пары, образующиеся в III, сжимаются до давления конденсации в компрессоре IV и подаются в воздушно-испарительный конденсатор V (рис. 2).

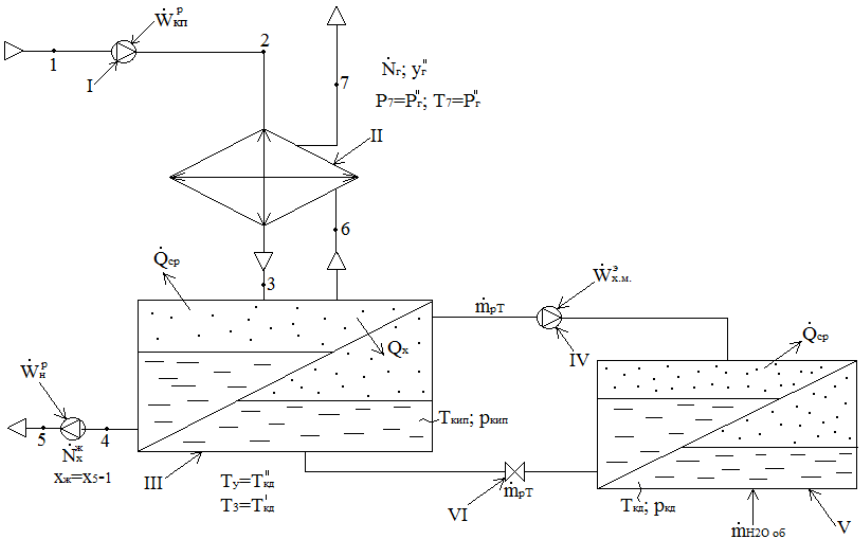


Рис. 1. Принципиальная схема разделения метан-пропановой смеси методом парциальной конденсации: I – компрессорная установка, II – теплообменник предварительного охлаждения, III – испаритель, IV – компрессорная установка, V – воздушно-испарительный конденсатор, VI – дроссельное устройство

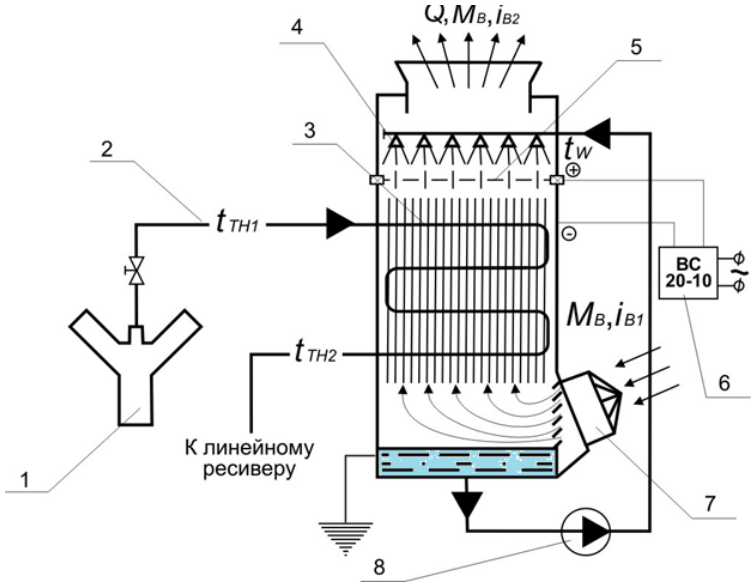


Рис. 2. Воздушно-испарительный конденсатор (патент RU 2246671 C1 от 20.05.2005): 1 – компрессор холодильной машины, 2 – нагревательный трубопровод, 3 – трубный пучок, 4 – форсунки, 5 – высоковольтный электрод, 6 – блок питания, 7 – вентилятор, 8 – насос контура охлаждения технологической воды

Особенности энергообеспечения низкотемпературных процессов подразумевают сопряжение технологической и энергетической подстистем. Комбинированное использование внутренних энергоресурсов (ВЭР) химического производства для реализации энергоёмких низкотемпературных процессов позволяет улучшить эксплуатационные характеристики оборудования и повысить степень термодинамического совершенства процессов преобразования энергии и вещества.

Библиографический список

1. Н.З. Хабибова, Расчёт теплоты ожижения и работы ожижения чистого вещества на примере CH_4 (метана). – М.: Инфинити. – 2019. – № 2. – С. 208.

2. И.А. Грязнов, Н. Г. Дигуров, В.В. Кафаров, М.Г. Макаров, Проектирование и расчёт аппаратов основного органического и нефтехимического синтеза. – М.: Химия, 1995.

3. В.В. Киреев, Испаритель – конденсатор // патент RU 2246671 C1. – 2005.

УДК 621.67

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА В СТЕНДОВЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

Ваняшов А. Д.[1,2], Ермолович А. А.[1], Толбин С. А.[2]

[1] *ФГБОУВО Омский ГТУ (Россия, Омск, пр. Мира, 11)*
[2] *ОАО «Сибнефтетранспроект» (Россия, Омск, Иртышская наб. 11/1)*

Объектом исследования являлся одноступенчатый центробежный насос консольного типа с магнитной муфтой ТКАм 63/80.

С целью подтверждения паспортных характеристик насоса были проведены заводские стендовые испытания на воде с приводом от электродвигателя мощностью 110 кВт.

Сравнение паспортных характеристик с результатами испытания, приведенными к частоте вращения 2950 об/мин показано на рисунке 1.

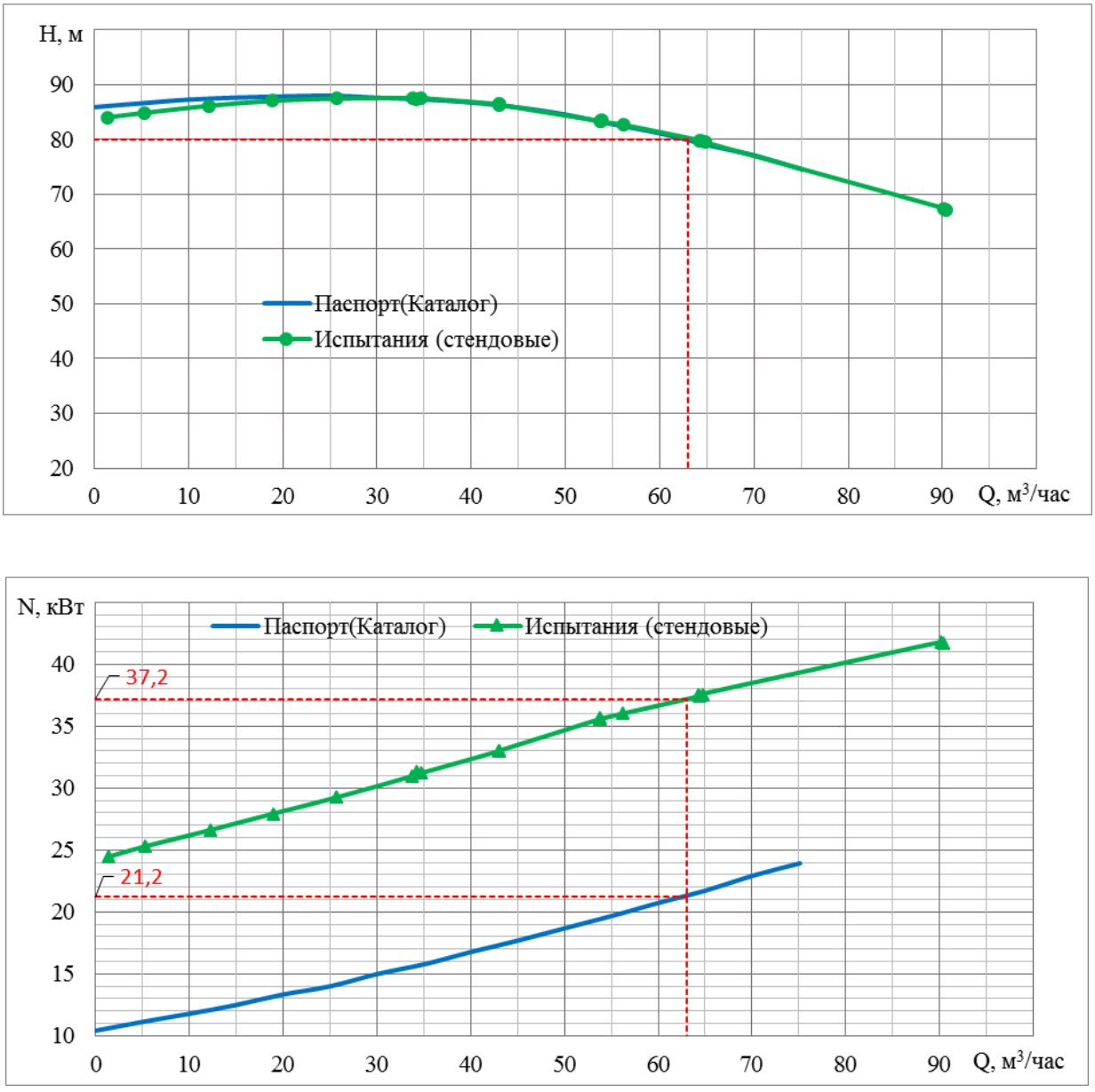


Рис. 1. Характеристики насоса ТКАм 63/80 на воде с частотой вращения 2950 об/мин (начало)

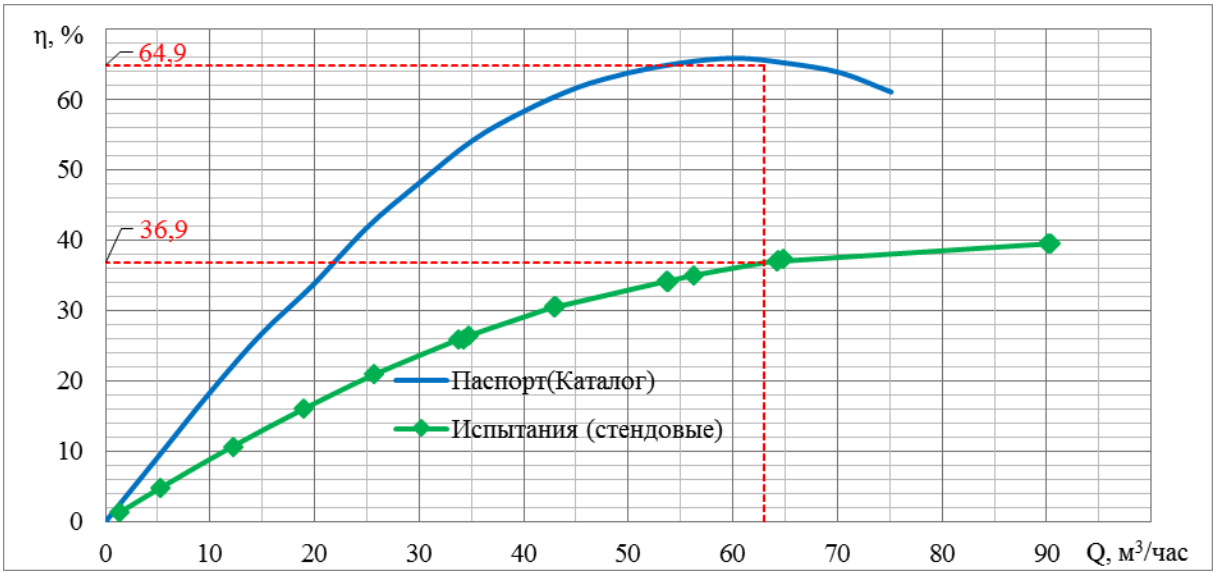


Рис. 1. Характеристики насоса ТКАм 63/80 на воде с частотой вращения 2950 об/мин (окончание)

По результатам сопоставления видно, что при имеющем место удовлетворительном совпадении напорной-расходной характеристики, т.е. равенстве полезной мощности, фактическая потребляемая мощность значительно превышает заявленную. Для номинальной рабочей точки с подачей 63 м^3/час превышение мощности составляет 16 кВт или 75,5%. Соответственно, полный КПД насоса на 27,8% в абсолютном выражении ниже заявленного.

Согласно [1] для насосов серийного производства с типовыми каталожными характеристиками, в случае, если производитель ссылается в каталогах и паспортах на [1], максимально допустимые отклонения составляют по мощности +9%, по КПД минус 7%.

Существенное отклонение фактических отклонений по мощности и КПД от рекомендованных нормативной литературой свидетельствует о повышенных механических потерях в подшипниках, уплотнениях, а также индуктивных потерях в магнитной муфте.

Эксплуатационные испытания рассматриваемого насосного агрегата выполнялись 25 и 26 декабря 2019 г. на нефтепродукте с плотностью 720 кг/м^3. Измерение производительности осуществлялось по замерам разницы в уровнях нефтепродукта в резервуарах. Измерение активной электрической мощности выполнялось по осредненным данным преобразователя частоты. На рисунке 2 результаты испытаний на двух частотах вращения 2950 и 2000 об/мин нанесены на характеристики насоса ТКАм 63/80, скорректированные по результатам стендовых испытаний и пересчитанные на различные частоты вращения и нефтепродукт с учетом [2].

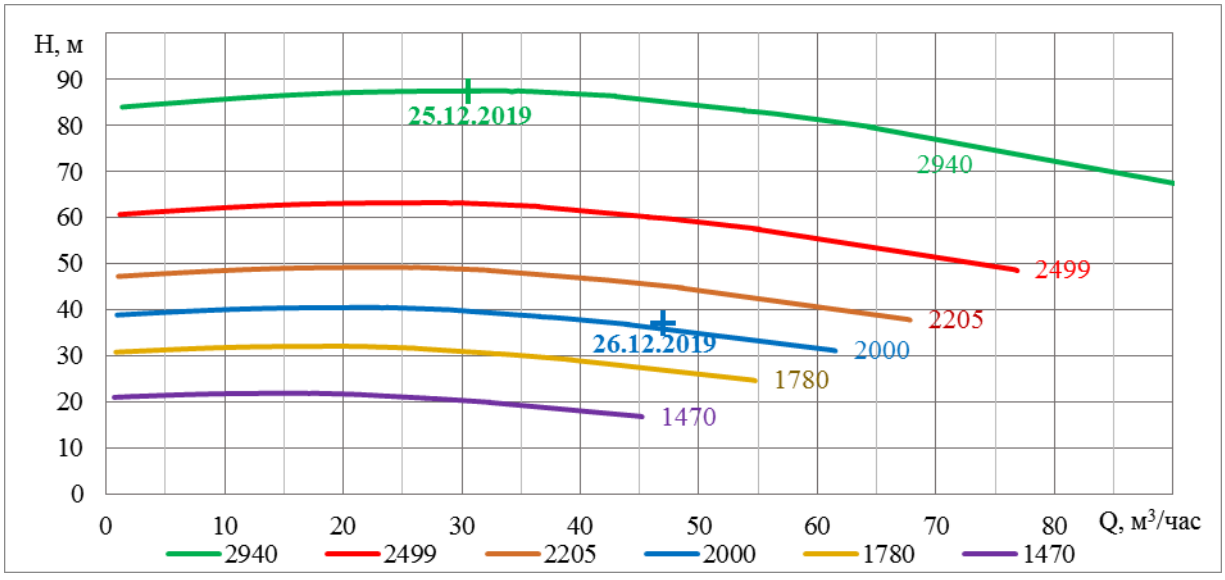


Рис. 2. Сравнение характеристик насоса ТКАм 63/80, скорректированных по результатам стендовых испытаний, пересчитанных на различные частоты вращения и нефтепродукт с результатами эксплуатационных испытаний (начало)

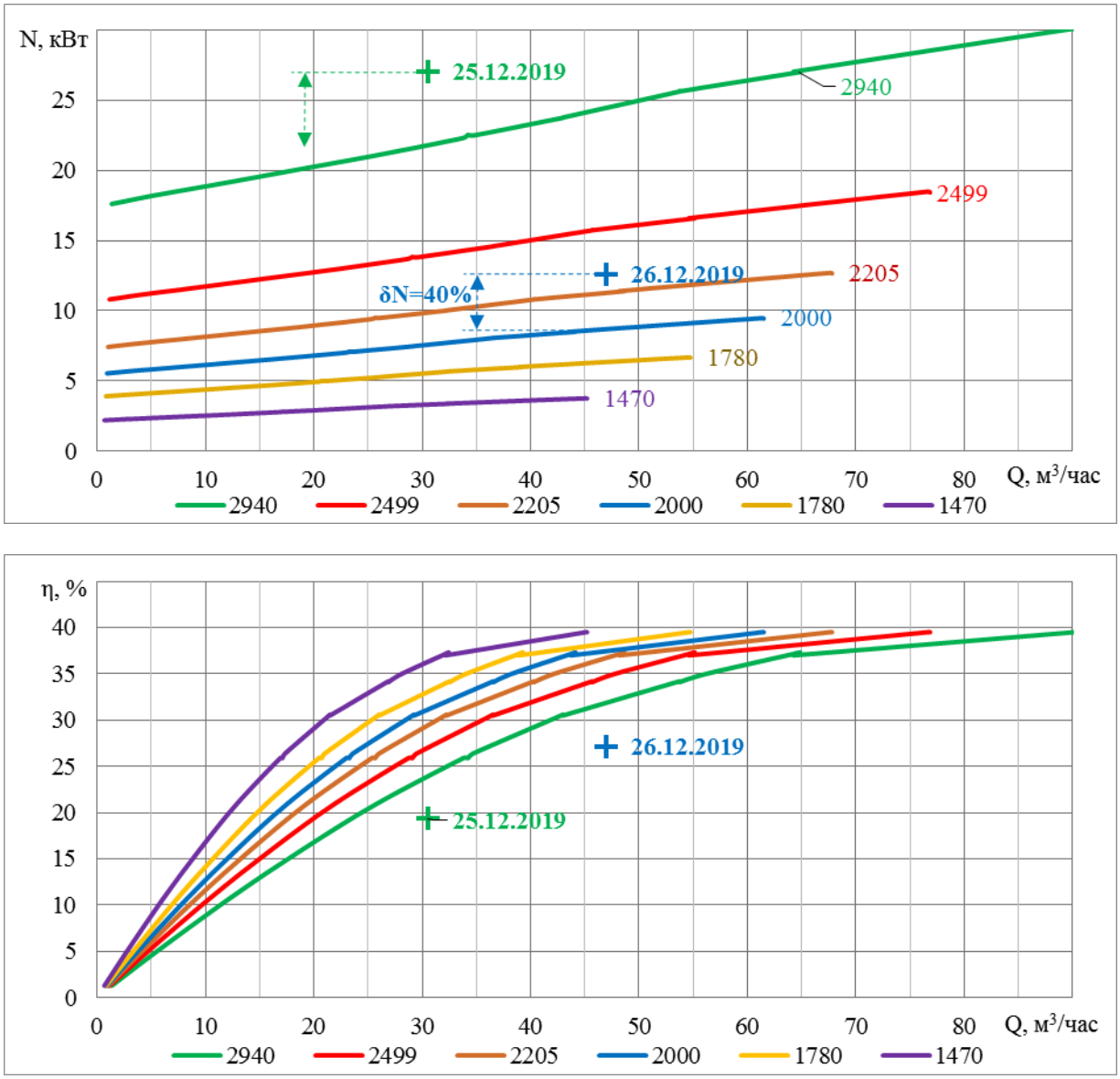


Рис. 2. Сравнение характеристик насоса ТКАм 63/80, скорректированных по результатам стендовых испытаний, пересчитанных на различные частоты вращения и нефтепродукт с результатами эксплуатационных испытаний (окончание)

Анализ результатов показывает, что при совпадении напора и производительности с характеристиками насоса, измерения мощности показали значительное превышение ожидаемых значений на 24% на частоте вращения 2950 об/мин и на 40 % на частоте 2000 об/мин.

Если считать характеристики, полученные в ходе стендовых испытаний истинными, то полученное расхождение фактической мощности и КПД также превышает рекомендуемые допуски [1].

Поскольку с момента стендовых испытаний до времени эксплуатационных испытаний (около года) насос имел суммарную наработку не более 10–20 часов, предположение о износе элементов конструкции насоса за этот период несостоятельно.

Возможно предположить, что увеличенные затраты на электроэнергию являются следствием увеличения вихревых потерь в самой магнитной муфте по причине наличия дефектов при ее изготовлении или сборке. Дополнительного анализа требует вопрос о влиянии свойств перекачиваемой жидкости на вихревые потери в магнитной муфте.

Библиографический список

1. ГОСТ 6134-2007 (ISO 9906:1999). Насосы динамические. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2008. – 95 с.

2. ГОСТ 33967-2016 (ISO 17766:2005). Насосы центробежные для перекачивания вязких жидкостей. Поправки к рабочим характеристикам. – М.: Стандартинформ, 2017. – 23 с.

УДК 621.6.07

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА «КОМПРЕССОР-СЕТЬ» ДЛЯ СИСТЕМЫ С ПОРШНЕВЫМ КОМПРЕССОРОМ И ЛИНИЕЙ РЕЦИРКУЛЯЦИИ

Ваняшов А. Д.[1,2], Крупников А. В.[2]

[1] *ФГБОУВО Омский ГТУ (Россия, Омск, пр. Мира, 11)*
[2] *ОАО «Сибнефтетранспроект» (Россия, Омск, Иртышская наб. 11/1)*

Объектом исследования являлся поршневой компрессор (ПК) «Ariel» JGU/6-1/2 с приводом от газотурбинного двигателя ГТД-4РМ мощностью 4 МВт для компрессорного цеха (КЦ) подземного хранилища газа (ПХГ). Особенностью технологического процесса КЦ ПХГ является то, что компримирование газа может осуществляться в одну или в две ступени сжатия. ПК выполнен по оппозитной схеме, с расположением цилиндров 1-й и 2-й ступеней с противоположных сторон относительно оси коленчатого вала. На каждом цилиндре ПК установлены регуляторы производительности, позволяющие осуществлять изменение режимов работы за счет подключения дополнительного «мертвого» пространства. Всего предусматривается 11 режимов управления.

Актуальность изложенных материалов связана с тем, что в нормативно-технической документации [1–3], зарубежной и отечественной научной литературе отсутствуют рекомендации и обоснование выбора типоразмера и пропускной способности регулирующего клапана, устанавливаемого на агрегатной линии рециркуляции применительно к системам с ПК. Важность разгрузки ПК на пусковых режимах отражена в [4]. В связи с недостаточностью теоретической базы и опыта эксплуатации подобных объектов возникает необходимость разработки методик, позволяющих обосновать решения по выбору пропускной способности регулирующих клапанов линий рециркуляции.

В настоящей работе, применительно к поршневому компрессору, адаптирован метод анализа совместной работы системы «компрессор-сеть», как правило, применяющийся для систем с центробежными компрессорами.

Проанализированы результаты пробных пусков ПК на агрегатное кольцо с регулирующим клапаном RZD-REQX 6" (Cv_{max} = 335) на основании анализа трендов САУ КЦ и диаграмм совместной работы «компрессор-сеть». Результаты анализа позволили обосновать соответствие пропускной способности существующего регулирующего клапана на пусковых режимах.

Показано, что применительно к ПК для выбора типоразмера агрегатного регулирующего клапана, обеспечивающего режим байпасирования, не следует предъявлять требования, аналогичные клапанам для центробежных компрессоров.

Безусловное выполнение требований [2] к обеспечению степени открытия клапана не более 80% на режиме максимальной пропускной способности при одноступенчатом сжатии в ПК приводит к ухудшению условий регулирования при двухступенчатом сжатии.

Дефицит в пропускной способности регулирующего клапана для работы на агрегатную линию рециркуляции при одноступенчатом сжатии с максимальным расходом (максимальной частоте вращения) и минимальным отношением давлений не приводит к серьезным последствиям, происходит смещение рабочей точки с увеличением отношения давлений и снижением производительности в пределах рабочего диапазона.

Учитывая, что технологически линия разгрузки с клапаном №6р необходима для выполнения нормального или аварийного останова, пуска агрегата, которые выполняются на сниженных оборотах и производительности компрессора с одновременным сбросом давления и выравнивания его между линиями всасывания и нагнетания, а также для выполнения запуска агрегата, который целесообразно выполнять на невысоких оборотах, рекомендовано, в алгоритмах пуска и останова САУ ГПА на кольцо через кран №6р вводить ограничение по оборотам компрессора (не более 750 об/мин).

Библиографический список

1. Reciprocating Compressor for Petroleum, Chemical and Gas Service Industries, API 618 5th ed., December 2007.

2. СТО Газпром 2-4.1-212-2008. Общие технические требования к трубопроводной арматуре, поставляемой на объекты ОАО «Газпром». – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2008. – 86 с.

3. СТО Газпром 089-2010. Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2010. – 8 с.

4. Sloley A., Schroeder S. Treat Your Reciprocating Compressor Right: Chemical Processing, Aug 28, 2019.

УДК 621.664:331.453

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЯ ВИБРАЦИИ КОРПУСА ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА

Аистов И. П.[1], Штриплинг Л. О.[2], Свищев А. В.[3], Смирнов В. Д.[4]

[1,2,3,4] *ОмГТУ, пр-т Мира, д. 11, г. Омск, 644050, Российская Федерация*

В химической, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности все большее применение находят шестеренные насосы, которые используют для перекачивания вязких быстро застывающих жидкостей, сжиженных газов, буровых растворов, различных рабочих жидкостей при высоких давлениях нагнетания. В частности, их используют для подачи смазки к узлам трения компрессоров и турбокомпрессорной техники [1]. Значимым является эксплуатация объемных насосов (в том числе, шестеренных) в системах охлаждения цилиндров тихоходных длинноходовых компрессоров [2, 3].

Несмотря на достоинства шестеренные насосы – конструкционная простота, компактность, надежность в работе, высокий КПД, однако, вследствие конструктивных особенностей, обладают характерными недостатками – пульсация расхода и давления рабочей жидкости в 6нагнетательной полости [4, 5]. Кроме того, учитывая фактические погрешности изготовления и монтажа составляющих агрегат деталей, значения коэффициента перекрытия зубчатого зацепления шестерен насоса ε_α могут менее 1 – в этом случае, происходит раскрытие контакта зубьев шестерен насоса [6]. Указанные факторы приводят к повышенному уровню вибрации корпуса насоса. В статье приведены результаты экспериментальных исследований уровня вибрации корпуса шестеренного насоса в зависимости от вариантов его сборки.

На основании данных фактических замеров составляющих деталей для конкретных вариантов сборки экспериментального насоса НШ-32К, были определены разброс погрешностей положения рабочих осей шестерен Δa_w (погрешность межосевого расстояния шестерен) и угла монтажного перекоса шестерен δ_i [4].

Измерения вибраций производились при рабочих условиях, т.е. испытуемый экспериментальный шестеренный насос был установлен на стенд обкатки и контрольно-сдаточных испытаний на котором можно моделировать его рабочие режимы.

В ходе экспериментальных исследований производились замеры виброускорения корпуса шестеренного насоса при различных частотах вращения ведущей шестерни. В качестве рабочего режима измерений был принят следующий режим: давление подачи – 3,7 МПа. Измерения производились при частоте вращения шестерен 16 Гц (960 об./мин), рабочая жидкость – масло М-10Г2 ГОСТ8581-75. Выбор частоты вращения ведущей шестерни исследуемого насоса был обусловлен аппаратными ограничениями регистрирующей аппаратуры на октавных частотах (прибор ВШВ-003-М2 с пьезоэлектрическим датчиком ДН-3-М1): 8 Гц, 16 Гц, 63 Гц, 125 Гц, 250 Гц, 500 Гц, 1000 Гц, 2000 Гц.

На рис. 1 приведено сопоставление экспериментальных данных по уровню вибраций для экспериментального шестеренного насоса на частоте перезацепления зубьев (125 Гц), и расчетные значения коэффициента перекрытия ε_α зубчатого зацепления для одинаковых вариантов сборок насоса (см. таблицу). Полученные результаты показывают, что выявленные варианты сборок экспериментального шестеренного насоса №№ 2 и 6 имеют повышенный уровень вибрации на частоте перезацепления зубьев шестерен вследствие раскрытия их контакта при коэффициенте перекрытия ε_α менее 1 по сравнению с нормальными режимами работы при $\varepsilon_\alpha > 1$ (сборки №№ 1, 3, 4, 5, 7, 8).

Кроме того, проведены измерения общего уровня вибрации (виброускорения) корпуса экспериментального насоса для каждого из рабочих вариантов его сборки по октавным частотам, причем: 16 Гц – соответствует частоте вращения вала ведущей шестерни насоса; 125 Гц – соответствует частоте перезацепления зубьев шестерен; 1000 Гц – соответствует частоте, характеризующей собственную частоту установки шестерен в подшипниковых опорах для экспериментального насоса.

Из представленных экспериментальных данных по измерению уровня вибрационного состояния экспериментального шестеренного насоса следует:

1) Повышенный уровень вибрации на частоте перезацепления зубьев шестерен 125 Гц проявляется для двух вариантов сборок (№2 и №6) экспериментального шестеренного насоса. Превышение уровня вибрации на частоте перезацепления зубьев шестерен (125 Гц) по экспериментальным данным в сравнении с вариантами сборок (№ 3, № 4, № 5, № 8), работающих в нормальном режиме, составило 10 дБ.

2) Повышенный уровень вибрации на частоте вращения вала ведущей шестерни (16 Гц) и наличие отчетливо выделяемой «шумовой» компоненты на частоте 1000 Гц, характеризующей собственные частоты установки шестерен в подшипниковых опорах, проявляется для двух из четырех прогнозируемых вариантов сборок (№ 1 и № 7) экспериментального шестеренного насоса.

Варианты сборок № 3, № 4, № 5 и № 8 экспериментального шестеренного насоса можно считать пригодными для дальнейшей нормальной эксплуатации насоса. В результате проведенных экспериментов выявлены четыре варианта некачественных сборок № 1, № 2, № 6 и № 7 экспериментального насоса из восьми возможных.

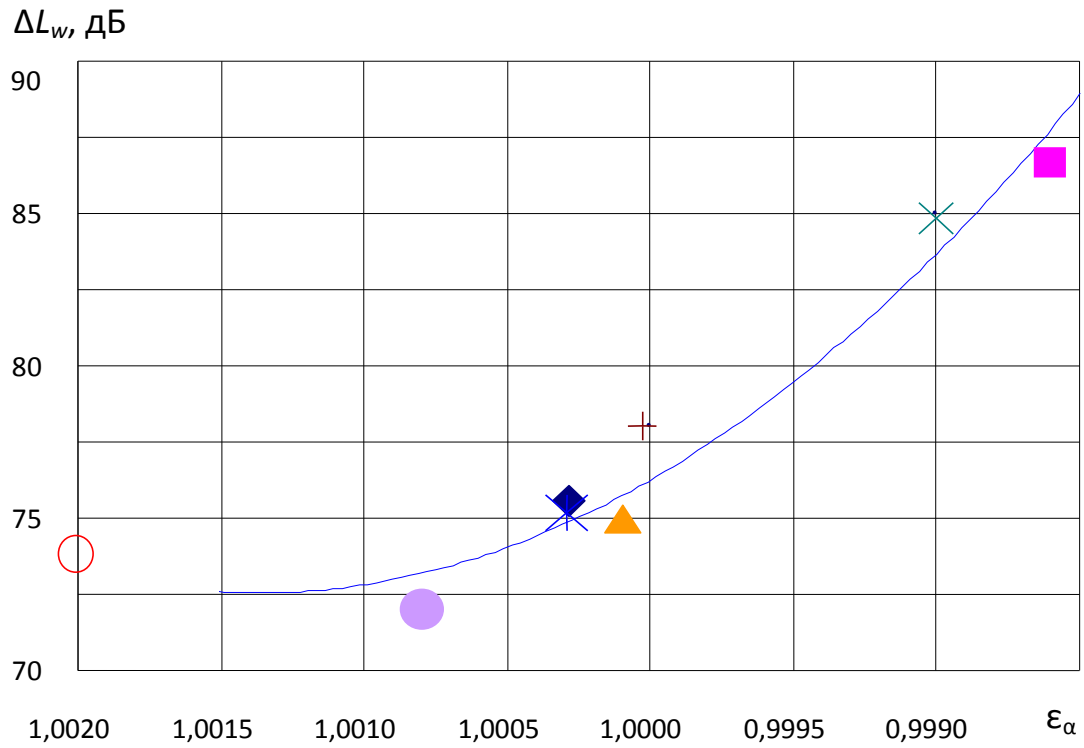


Рис. 1. Экспериментальные значения спектральной составляющей виброускорения ΔL_{wz} на частоте перезацепления зубьев корпуса экспериментального насоса НШ-32К от коэффициента перекрытия ε_α зубчатого зацепления конкретных сборок:

◆ – *сборка № 1;* ■ – *сборка № 2;* ▲ – *сборка № 3;* ● – *сборка № 4;*
\+ – *сборка № 5;* × – *сборка № 6;* ✳ – *сборка № 7;* ○ – *сборка № 8*

Таким образом, по результатам измерения общего уровня виброскорости корпуса агрегата можно контролировать состояния работоспособности насосов и выявлять дефектные сборки шестеренных насосов.

Библиографический список

1. Аистов, И.П. Перспективное насосное оборудование для компрессорных и технологических установок нефтехимических производств / И. П. Аистов, А. В. Свищёв // Омский научный вестник. – 2014. – № 3 (133). – С. 44–48.

2. Yusha, V.L. Theoretical analysis of the working process of superlow rotary low expense piston compressor with increased piston stroke / V.L. Yusha, V.G. Dengin, V.I. Karagusov, S.S. Busarov // 8th International Conference on Compressor and Coolants. – Papiernicka. – Slovakia. – Book of abstracts. – 2013. – P. 22.

3. Yusha, V.L. The estimation of thermal conditions of highly-cooled long-stroke stages in reciprocating compressors / V.L. Yusha, S.S. Busarov, A.V. Nedovenchanyi, A.Yu. Gromov // International Conference on Oil and Gas Engineering, OGE-2015. – P. 264–269.

4. P. Casoli, A. Vacca, G. Franzioni A numerical model for the simulation of external gear pumps // The six JFPS international symposium on fluid power, Tsukuba, Japan. – 2005. – P. 151–160 c.

5. Аистов, И. П. Анализ и оценка экспериментальных и теоретических исследований пульсации давления нагнетательной полости шестеренного насоса / И. П. Аистов, А. В. Свищев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 3 (51). – С. 40–43.

6. Aistov, I. P. The Assessment of the Gear Pump Gearing Overlapping Coefficient Actual Value Impact on the Teeth Contact Voltages / I. P. Aistov, L. O. Shtripling, A. V. Svishchev // AIP Conference Proceedings. – 2017. – Vol. 1876, № 1. – DOI: 10.1063/1.4998869.

УДК 62-97/-98

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ ДВИЖЕНИЯ ЗАПОРНОГО ОРГАНА САМОДЕЙСТВУЮЩЕГО КЛАПАНА

Бусаров И. С.[1], Гусельников Д. В.[1], Бурлаков Ю. А.[1], Соломкин А. А.[1], Иванов А. В.[1], Синицын Н. Г.[1]

[1] *Омский государственный технический университет, Российская Федерация, г. Омск, пр. Мира, 11*

В данной статье исследуется эксперементальное получение диаграммы движения запорного элемента клапана в составе тихоходной длинноходовой ступени поршневого компрессора.

Экспериментальное исследование клапанов и точность отражения реально происходящих процессов во многом зависят от измерительной техники. Это связано с широкими режимными параметрами работы поршневых компрессоров, не большими габаритами клапанных узлов и особенностями движения клапанных пластин. Поэтому в литературных источниках [1, 2] для снятия диаграммы движения клапанной пластины применяются различные способы, основанные в основном на изменении параметров электрической цепи.

Принципиальная схема стенда для определения диаграммы движения запорного элемента выглядит следующим образом.

Запорный орган 1 самодействующего клапана жестко закреплен с датчиком линейных перемещений 2 через жесткий стержень 3. После датчика линейных перемещений 2 установлен усилитель сигнала 4. Далее сигнал поступает на осцилограф 5. На экране осцилографа 5 фиксируется электрический сигнал в мВ в зависимости от времени (мс). На рисунке 1 изображена схема для записи диаграммы движения запорного органа.

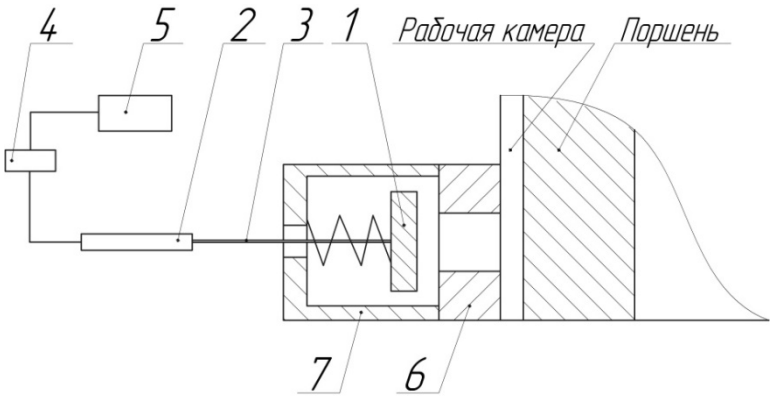


Рис. 1. Схема для записи диаграммы движения запорного органа:
1 – пластина; 2 – датчик линейных перемещений; 3 – жесткий стержень;
4 – усилитель; 5 – осциллограф; 6 – седло; 7 – ограничитель хода

Из данной диаграммы можно определить некоторые величины, влияющие на интегральные характеристики поршневого компрессора, такие как: запаздывание открытия и закрытия клапана; величину подъема пластины, через которую возможно определить площадь щели; скорости движения пластины, а так же скорости посадки пластины на седло и ограничитель подъема [3].

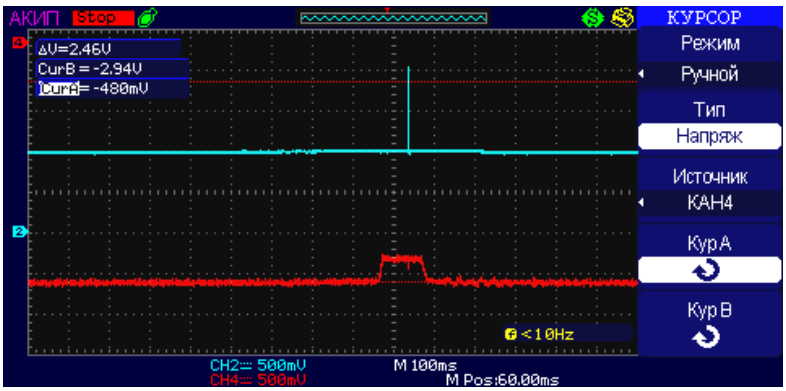


Рис. 2. Эксперементальная диаграмма движения запорного органа клапана

При исследовании работы самодействующего клапана, важное место в исследовании занимает отскок пластины, а именно удар пластины при движении о седло и об ограничитель подъема. Отскок пластины обуславливается силами упругости материалов сопряжения. Поскольку при отскоке пластины при ударе будет меняться проходное сечение щели, будут и меняться интегральные характеристики всего поршневого компрессорного агрегата [4].

Как показала эксперементальная диаграмма движения запорного органа самодействующего клапана (рис. 2) установленного в тихоходной длинноходовой ступени скорость посадки клапана на ограничитель составляет 0,3 м/с, а скорость посадки клапана на седло – 0,2 м/с. При этом, вследствии тихоходности ступени поршневого компрессора, отсутствует отскок пластины при ударе о седло и об ограничитель подъема.

Библиографический список

1. Андрианов, А.А. Разработка методики расчета самодействующих клапанов поршневых компрессоров с учетом неплоскопараллельного движения запорного органа: автореф. дис. д-ра. техн. наук: 05.04.06 / Андрианов Андрей Александрович. – Москва, 1996. – 17 с.

2. Machu, E.H. Valve dynamics of reciprocating compressors valves with more than one degree of freedom // Consulting Mechanical Engineer, Vienna, Austria. – 2001.

3. Klaus Brun, Ph.D., Marybeth Nored. Valve performance and life of reciprocating compressors // Proceedings of the Forty-First Turbomachinery Symposium, Houston, Texas. – 2012.

4. Busarov, S.S., Busarov, I.S., Titov, D.S. Studies of the Effect of Leaks of the Working Chamber on the Working Process of Long-Stroke Ultra-Low-Speed Piston Compressor and Pump Units // Chemical and Petroleum Engineering. 2019. Volume 55. Issue 5-6. Pages 480–485.

УДК 621.565.7

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ НА ТЕПЛОВОЙ ПОТОК КОНДЕНСАТОРА АВТОНОМНОГО КОНДИЦИОНЕРА ВОЗДУХА

Карагусов В. И.[1], Вакуленко А. С.[2]

[1] *ОмГТУ (Россия, Омск, пр. Мира, 11)*
[2] *АО НТК «Криогенная техника»*
(Россия, г. Санкт-Петербург, пр. Стачек, д. 105, корп. 5 лит. А, пом. 9Н)

Системы жизнеобеспечения на транспорте в настоящее время включают в свой состав автономные кондиционеры воздуха (АКВ), так как позволяют значительно повысить комфортные условия работы машинистов тепловозов, так как обеспечивает и поддерживает оптимальные для данных условий параметры воздушной среды. Испаритель АКВ размещается в кабине тепловоза, конденсатор выносится за пределы кабины, как правило, на крышу, компрессор может быть размещен под полом кабины, органы управления АКВ в любом доступном машинисту месте, например, на передней или боковой панелях.

Эксплуатационные характеристики АКВ в значительной мере определяются температурой конденсатора, так как от нее зависит тепловой поток, отводимый в окружающую среду, и процесс конденсации рабочего тела [1]. Наиболее трудные условия работы конденсатора возникают во время стоянок локомотива в жаркую погоду. Эту задачу можно решить принудительным обдувом конденсатора и увеличением площади обдуваемой поверхности [2]. В этом случае узким местом становится внутренняя поверхность труб конденсатора, на которой конденсируется рабочее тело.

Внутренний диаметр труб конденсатора АКВ составляет от 6 мм до 10 мм в зависимости от холодопроизводительности АКВ. Увеличить площадь внутренней поверхности труб конденсатора при таких диаметрах и общей длине труб в десятки метров представляет сложную технологическую задачу. Наиболее простой способ в таком случае – протяжка внутренней поверхности медной трубы с целью придания ей формы с большей площадью поверхности теплообмена.

В работе рассмотрены четыре типа формы сечения внутренней теплообменной поверхности конденсатора АКВ: круг – исходная поверхность, треугольные ребра в количестве 13, полукруглые ребра в количестве 13 и трапецеидальные ребра в количестве 10. Расчеты сделаны в зависимости от площади внутренней поверхности труб с разными профилями ребер.

На рисунке 1 показана зависимость удельного теплового потока конденсатора АКВ от внутренней площади поверхности труб различного профиля для базового диаметра 8 мм.

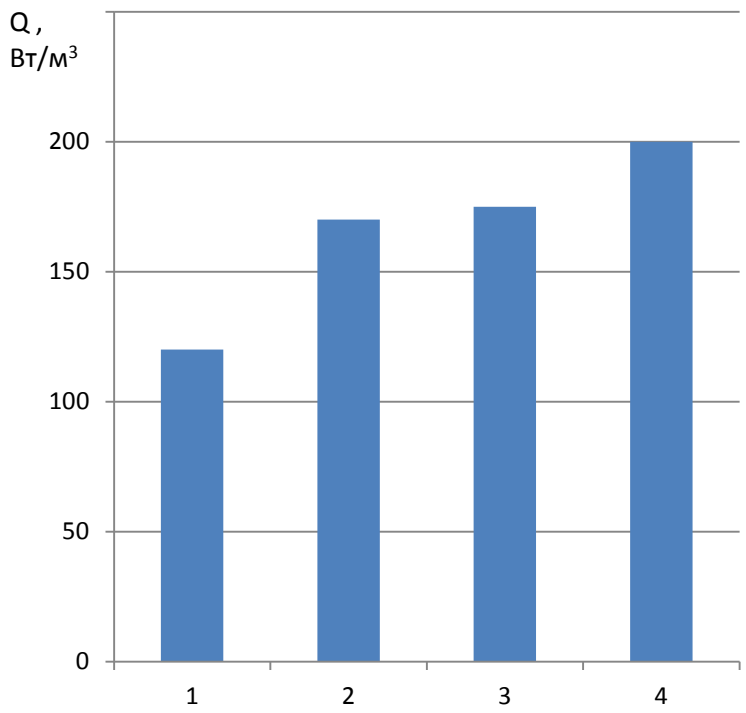


Рис. 1. Зависимость удельного теплового потока от внутренней площади поверхности труб конденсатора АКВ различного профиля для базового диаметра 8 мм: 1 – 87 м^2 (исходная труба без внутренних ребер); 2 – 174 м^2 (трапецеидальные ребра); 3 – 175 м^2 (полукруглые ребра); 4 – 181 м^2 (треугольные ребра)

Как видно из рисунка, изменение профиля внутренней поверхности труб позволяет увеличить площадь их внутренней поверхности и в свою очередь значительно увеличить удельный тепловой поток конденсатора АКВ со 125 Вт/м^3 до 200 Вт/м^3. Увеличение теплового потока конденсатора АКВ позволит улучшить условия конденсации хладагента, повысить термодинамическую эффективность и стабильность работы АКВ на различных режимах.

Библиографический список

1. Стефанов Е. В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – Санкт-Петербург: Издательство «АВОК Северо-Запад», 2005 – 402 С.

2. Максименко, В. А. Особенности расчета последовательно включенных конденсаторов при их комбинированном охлаждении / В. А. Максименко, А. Н. Фот // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства : материалы 6-й Междунар. науч.-техн. конф., 25–30 апр. 2016 г. / ОмГТУ, Нефтехим. ин-т. – Омск, 2016. – С. 61–62.

УДК 621.56

РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОЙ МАССЫ ХЛАДОНОСИТЕЛЯ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ТЕПЛОПРИТОКОВ ОБЪЕКТА И ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧИЛЛЕРА

Тимофеевский А. Л.[1], Сулин А. Б.[1], Рубцов А. К.[1]

[1] *Университет ИТМО (Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., дом 49)*

Компрессионные чиллеры применяются во многих системах холодоснабжения с промежуточным хладоносителем (вода или водные растворы) для зданий различного назначения. Одним из условий безаварийной эксплуатации этих машин является правильный выбор количества промежуточного хладоносителя в циркуляционном контуре для защиты компрессоров от работы короткими циклами [1].

В работе [2] отмечается широкий разброс значений рекомендуемого производителями чиллеров удельного внутреннего объема системы, которые отличаются на порядок и находятся в диапазоне 2,5–27 л хладоносителя на 1 кВт минимальной холодильной мощности чиллера. При этом рекомендуемые для расчетов соотношения часто не соответствуют друг другу [3–5].

В предлагаемой работе выполнен вывод формулы для расчета необходимой массы промежуточного хладоносителя в контуре чиллера.

Рассмотрен режим работы чиллера, когда его минимальная производительность больше тепловой нагрузки на объекте, что приводит к циклическому включению и выключению компрессоров и самого чиллера.

На основе соотношения между периодами нагрева и охлаждения хладоносителя при такой циклической работе записано балансовое уравнение, с помощью которого найдена зависимость требуемой массы хладоносителя от величины тепловой нагрузки в системе при работе чиллера в режиме минимальной холодильной мощности.

В результате преобразований и поиска экстремума этой функции получена расчетная формула для определения минимально необходимой массы хладоносителя и показано, что она имеет максимум, когда минимальная холодопроизводительность чиллера q_{min} в 2 раза превышает теплопритоки q. Для иллюстрации на рис. 1 представлена зависимость приведенной массы хладоносителя $m = M/\left(\frac{\tau_c * q_{min}}{c_p * \Delta t_d}\right)$ от динамики теплопритоков q_{min}/q, где c_p – теплоемкость хладоносителя, кДж/(кг*К); Δt_d – зона нечувствительности термостата, К; M – масса хладоносителя в системе, кг; τ_c – минимальный интервал времени между повторными пусками компрессора, с; q_{min} – минимальная холодильная мощность чиллера, кВт.

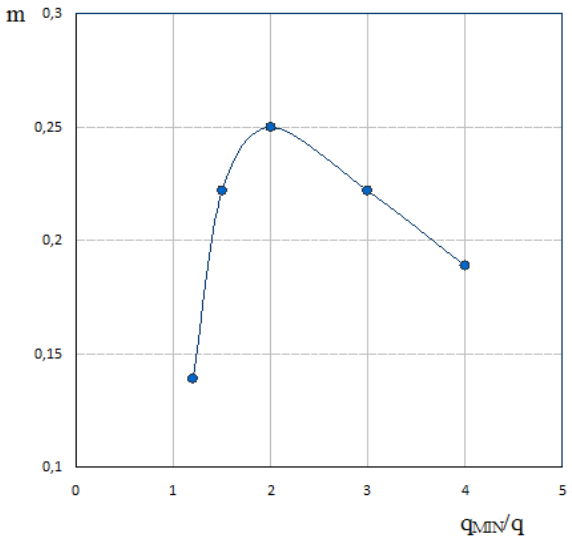


Рис. 1. Зависимость приведенной массы хладоносителя от отношения минимальной холодильной мощности чиллера к подводимой тепловой нагрузке

Предложенная зависимость позволяет предотвратить работу компрессоров короткими циклами и сократить затраты на систему холодоснабжения путем минимизации количества хладоносителя. Ее также можно использовать для расчета количества теплоносителя при работе чиллера в режиме теплового насоса.

Библиографический список

1. Тимофеевский А.Л., Бороздкин С.В., Сайфулин Т.И. Верификация численного моделирования течения хладоносителя в буферном баке системы холодоснабжения //Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2014. – № 4. – С. 214–221.

2. Бороздкин С.В., Тимофеевский А.Л., Сайфуллин Т.И. Проблемные аспекты конструирования буферной емкости системы холодоснабжения с промежуточным хладоносителем. Тезисы докладов XLШ научной и учебно-методической конференции НИУ ИТМО. – 2014.

3. D-EIMAC01706-18EN. Installation, Maintenance and Operation Manual. Air-cooled refrigeration units with scroll compressors EWAT_B. DAIKIN APPLIED EUROPE S.p.A., June 2018, 32 pages.

4. М. Г. Тарабанов Холодоснабжение систем кондиционирования воздуха // АВОК. – 2007. – № 8.

5. Installation, operation and maintenance instructions. 30XA Air-Cooled Liquid Chillers Nominal cooling capacity: 270-1670 kW: Carrier. Order No: 13452-76, 03.2008. – 48 pages.

УДК 532.559.8

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЯ НАСАДОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОЙ НАСАДКИ

Мракин А. Н.[1], Пащенко Д. И.[1], Карпилов И. Д.[1], Батраков П. А.[2]

[1] *Самарский государственный технический университет, Россия, Самара, ул. Молодогвардейская, 244*
[2] *Омский государственный технический университет, Россия, Омск, пр. Мира, 11*

Одной из важнейших задач современной теплоэнергетики и теплотехники является повышение энергетической эффективности установок для проведения тепло- и массообменных процессов. В последнее время сложилась тенденция к замене устаревших насадочных контактных устройств на новые или модернизируемые виды, обладающих более широким интервалом устойчивой работы, большей эффективностью (более низкие значения ВЭТТ), низким гидравлическим сопротивлением, малой удерживающей способностью, простотой монтажа в колонну и пр.

Целью данной работы является первичное экспериментальное определение гидравлических характеристик хаотического слоя новой многофункциональной активной насадки (МАН) [1] и оценка возможных областей ее промышленного использования в свете политики импортозамещения. Эксперименты выполнялись на установке для изучения процессов гидродинамики продуваемых слоев [2]. Установка выполнена в виде экспериментального участка с внутренним диаметром 97 мм при этом длина слоя неупорядочено расположенной насадки в экспериментах составляла в среднем 195–220 мм. В качестве рабочего вещества используется атмосферный воздух.

Гидравлическое (аэродинамическое) сопротивление слоя сухой насадки определяется по известному уравнению Дарси-Вейсбаха [3], Па:

$$\Delta P_{сух} = \zeta_0 \cdot \frac{H}{d_э} \cdot \frac{\rho_г \cdot w_г^2}{2}, \qquad (1)$$

где ζ_0 – коэффициент сопротивления сухой насадки; H – высота слоя насадки, м; $d_э$ – эквивалентный диаметр элемента насадки, м; $\rho_г$ – плотность газовой фазы, кг/м^3; $w_г$ – фиктивная скорость газовой фазы (отнесенная к полному сечению аппарата) с учетом свободного объема засыпки, м/с.

В выражении (1) коэффициент гидравлического сопротивления ζ_0 является функцией критерия Рейнольдса для газа в виде $\zeta_0 = A \cdot \mathrm{Re}^B$, где A и B – эмпирические коэффициенты.

Определение скорости газовой фазы на входе и выходе из слоя насадки проводили косвенным способом по выражению, м/с:

$$w_г = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{дин}}{0{,}96 \cdot \rho_г}}, \qquad (2)$$

где $p_{дин}$ – значение динамического давления, показанное датчиком давления на панели приборов, Па; 0,96 – коэффициент восстановления гибкой трубки.

Эксперимент проводился при атмосферном давлении и температуре воздуха, подаваемого вентилятором на уровне +28 °С.

Экспериментальные данные аппроксимируются достаточно точно выражением вида $\Delta P_{сух} / H = 17.12646 \cdot w_г^{2,164504}$. Также наблюдается характерная квадратичная зависимость аэродинамических потерь от скорости газовой фазы. В результате обработки экспериментальных данных получено выражение для определения гидравлического сопротивления слоя сухой насадки, Па:

$$\Delta P_{сух} = 0.565921 \cdot \mathrm{Re}^{0.1645} \cdot \frac{H}{d_э} \cdot \frac{\rho_г \cdot w_г^2}{2}. \qquad (3)$$

Погрешность аппроксимации экспериментальных данных по выражению (3) не превышает 3,4%. Выполненные эксперименты могут быть распространены и на другие газы и жидкости (не только воздух). Это утверждение основывается на том, что потери давления в слое насадки зависят от коэффициента местного сопротивления, скорости движения жидкой (газовой) фазы и ее плотности, определяемых исключительно составом и температурой.

Областью промышленного применения разработанной насадки может стать ректификационные процессы, абсорбция, колонны водной отмывки и охлаждения, термические деаэраторы, сепарационное оборудование, статические смесители и пр.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта №19-19-00327.

Библиографический список

1. Мракин А.Н. Разработка многофункционального контактного устройства для нефтегазовой промышленности. Тезисы докладов 73-ей международ. молодежной научной конф. «Нефть и газ – 2019». В 5 т. Т. 2. М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2019. С. 351–352.

2. Pashchenko D. Flow dynamic in a packed bed filled with Ni-Al_2O_3 porous catalyst: Experimental and numerical approach. AIChE J. 2019;65:e16558. https:// doi.org/10.1002/aic.16558.

3. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976. – 655 с.

УДК 621.867.83

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ КОЛЬЦЕВОГО ПРЯМОТОЧНОГО ЭЖЕКТОРА

Демихов К. Е.[1], Очков А. А.[1], Кеменов В. Н.[2], Нестеров С. Б.[3]

[1] *МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ), Россия, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1*
[2] *ЗАО «НПК «Интелвак», Россия, г. Москва, пер. Трехсвятительский Б., 3/12-8*
[3] *НИУ МЭИ, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14*

В последние годы возрос спрос на пневмотранспортные системы в связи с необходимостью модернизации действующего оборудования, а также создания новых производств. Вместе с тем возросла актуальность снижения энергозатрат и улучшения экологических показателей.

Анализируя существующие системы пневмотранспорта, можно заключить, одним из их недостатков является наличие большого количества элементов, которые увеличивают массогабаритные характеристики системы в целом. Однако, возможно применить кольцевой прямоточный эжектор (КПЭ) (рис. 1) для транспортировки материала. За счёт использования кольцевого подвода транспортирующей среды и отказа от камеры смешения значительно уменьшаются габариты, по сравнению с типовыми струйными вакуумными насосами (эжекторами). Конструкция КПЭ не изменяет направление потока всасываемого вещества, что позволяет сохранить часть энергии, тем самым увеличив КПД установки. Серьезной проблемой ограниченного распространения КПЭ является отсутствие методов расчета основных параметров проточной части КПЭ и его геометрических характеристик, что не позволяет в полной мере спроектировать его оптимальную конструкцию. Был разработан алгоритм расчета основных параметров и геометрических характеристик кольцевого прямоточного эжектора.

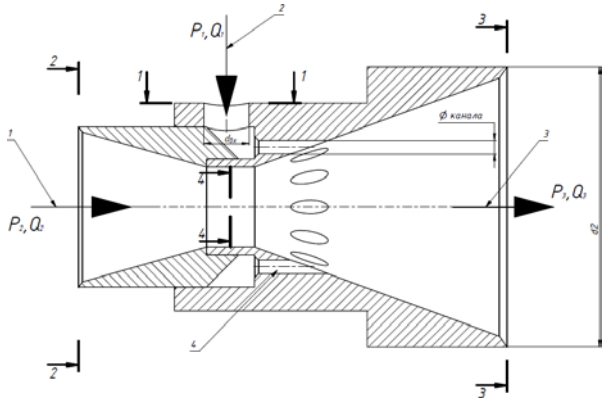


Рис. 1. Принципиальная схема кольцевого прямоточного эжектора:
1 – зона всасывания транспортируемого вещества; 2 – подача транспортирующего воздуха;
3 – поток аэросмеси (воздух – материал); 4 – нагнетательные каналы

По результатам аналитических расчётов была создана 3-D модель кольцевого прямоточного эжектора в программном пакете SolidWorks. Спроектирован трубопровод на всасывании и нагнетании с целью построения эпюр скоростей и давлений до входа в КПЭ и на выходе из него.

Для проверки адекватности разработанного алгоритма расчета был изготовлен кольцевой прямоточный эжектор, спроектирована и собрана испытательная установка и проведен эксперимент. Расхождение результатов расчета и эксперимента не превысило 3 %, что доказывает адекватность разработанного алгоритма расчета основных параметров КПЭ и работоспособность КПЭ в составе пневмотранспортной системы.

Библиографический список

1. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты / под ред. Т. И. Мушинска. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
2. Вишня Б.Л., Дроздов Б.С., Стефаненко В.Т. Пневмотранспорт. Расчёты, схемы, оборудование. – Екатеринбург: Изд-во «Сократ», 2010. – 31 с.
3. Смоловик В.А., Егоров В.М., Мельник Л.Ф. Импульсный пневмотранспорт гранулированных материалов // Вопросы прикладной аэродинамики и тепломассообмена. – 1983. – С. 92–95.
4. Володин Н.П., Касторных М.Г., Кривошеин А.И. Справочник по аспирационным и пневмотранспортным установкам. – М.: Изд-во «Колос», 1984. – 288 с.
5. Малис А.Я., Касторных М.Г. Пневматический транспорт для сыпучих материалов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 344 с.
6. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт. – М.: Недра, 1980. – 293 с.
7. Волошин А.И., Пономарев Б.В. Механика пневмотранспортирования сыпучих материалов. – Киев: Наук. думка, 2001. – 519 с.
8. Михаелидис Е.Е. Движение частиц в газовом потоке. Средняя скорость и потери давления // Теоретические основы инженерных расчётов. – 1983. – № 1. – С. 276–288.
9. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1978. – 736 с.
10. Ковальногов Н.Н., Ртищева А.С. Расчет течения и сопротивления трения потока в соплах Лаваля. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 35 с.

УДК 621.515

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЗАЗОРА МЕЖДУ ПОКРЫВАЮЩИМ ДИСКОМ РАБОЧЕГО КОЛЕСА И КОРПУСОМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА НА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОРАСХОДНОЙ МОДЕЛЬНОЙ СТУПЕНИ

Яблоков А. М.[1], Штаничев Р. А.[1], Садовский Н. И.[1], Кожухов Ю. В.[1]

[1] *ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29*

В состав многоступенчатых центробежных компрессоров (ЦК) высокого давления входят малорасходные ступени. Повышение затрат энергии на повышение давления газа связаны с высокой долей дисковых потерь на трение, протечек и перетечек [1].

Объектом исследования является модельная ступень СВД-7, испытанная на кафедре КВиХТ СПбПУ. В работе проводится численное моделирование течения вязкого газа в малорасходной ступени ЦК в программном комплексе ANSYS CFX. Основы методики проведения CFD-расчетов для центробежных компрессоров изложены в работах [2, 3, 4, 5].

При верификации численной модели проводилась оценка влияния размера расчетной сетки на конечные характеристики ступени. Результаты верификации численной модели в Ansys CFX показаны на рисунке 1.

Полученные расчетные характеристики ступени показали качественное совпадение с экспериментом. На верифицированной модели проточной части проводится изменение зазора между покрывающим диском и корпусом в пределах от 1мм до 5,5 мм. Результаты зависимости коэффициентов дискового трения и перетечек от условного коэффициента расхода при различной величине зазора представлены на рисунке 2.

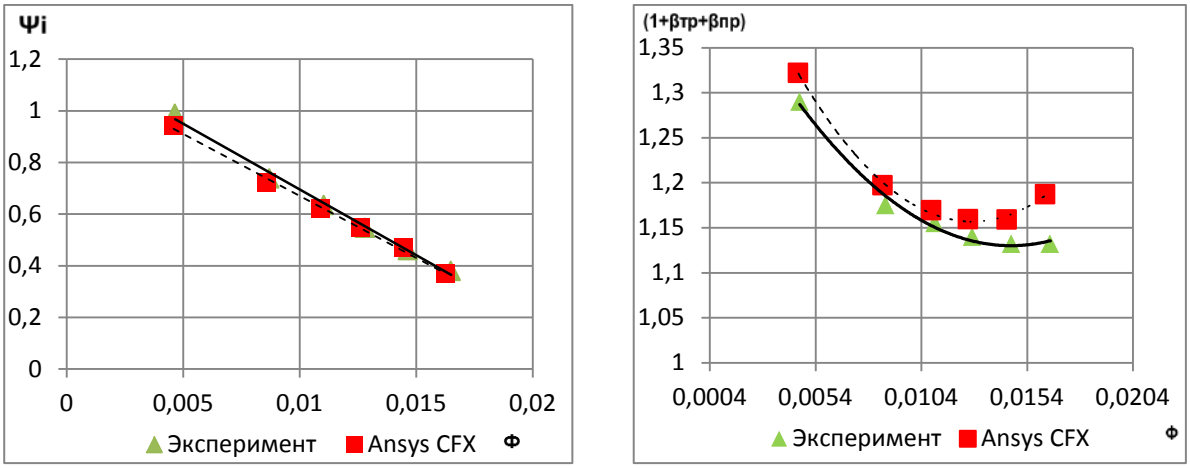
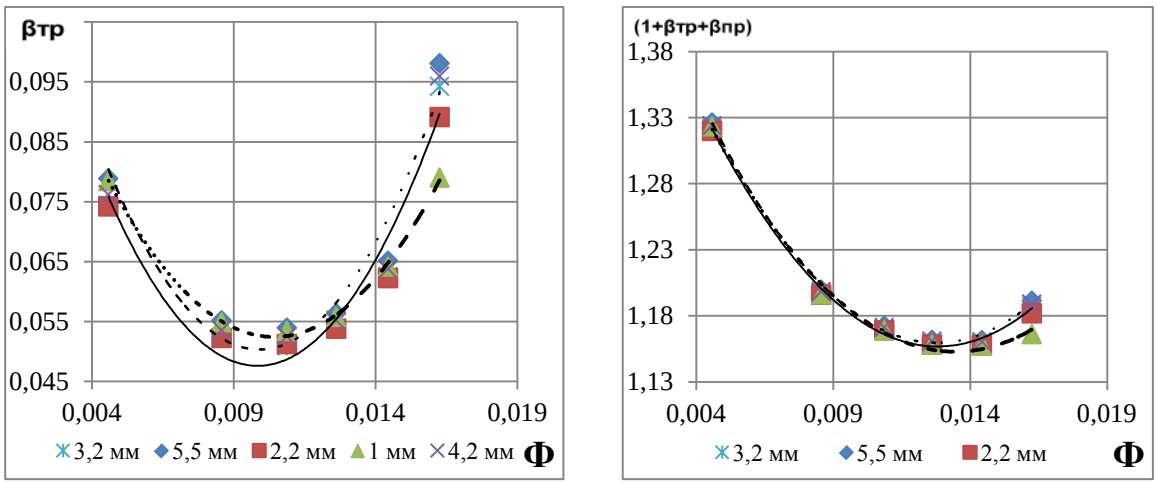


Рис. 1. Сравнение экспериментальных и расчетных характеристик



а) *б)*

Рис. 2. Зависимости а) коэффициента дискового трения, б) функции $(1+\beta_{тр}+\beta_{пр})$ от условного коэффициента расхода при различных значениях зазора.

Библиографический список

1. Neverov, V. V. ;Kozhukhov, Y. V. ; Yablokov, A. M.; Lebedev, A. A. Optimization of a centrifugal compressor impeller using CFD: the choice of simulation model parameters. 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 232 012037. DOI: 10.1088/1757-899X/232/1/012037

2. Kozhukhov, Y. V. ; Yun, V. K. ; Reshetnikova, L. V.; Prokopovich, M. V. Numerical Investigation of Different Radial Inlet Forms for Centrifugal Compressor and Influence of the Deflectors Number by Means of Computational Fluid Dynamics Methods with Computational Model Validation. 2015 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 90 012047DOI: 10.1088/1757-899X/90/1/012047

3. Danilishin, A.M., Kozhukhov, Y.V., Neverov, V.V., Malev, K.G., Mironov, Y.R. The task of validation of gas-dynamic characteristics of a multistage centrifugal compressor for a natural gas booster compressor station (2017) AIP Conference Proceedings, 1876, № 020046. DOI:10.1063/1.4998866

4. Danilishin, A.M., Kozhukhov, Y.V., Yun, V.K. Multi-objective optimization for impeller shroud contour, the width of vane diffuser and the number of blades of the centrifugal compressor stage based on the CFD calculation (2015) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 90 (1), № 012046. DOI:10.1088/1757-899X/90/1/012046

5. V. V. Neverov, Y. V. Kozhukhov, A. M. Yablokov, and A. A. Lebedev. The experience in application of methods of computational fluid dynamics in correction of the designed flow path of a two-stage compressor.AIP Conference Proceedings 2007, 030048 (2018); DOI:10.1063/1.5051909

УДК 66.045.122

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООТДАЧИ АДДИТИВНЫХ КОЖУХОТРУБНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Пугачук А. С.[1,2], Калашникова Е. О.[3], Фоминых Н. К.[3], Синкевич М. В.[1]

[1] *ОИВТ РАН, Россия, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2*
[2] *МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1*
[3] *ПАО «НПО «Алмаз», Россия, г. Москва, Дмитровское шоссе, 110*

В соответствии с современной мировой тенденцией ожидается постепенный переход от крупной централизованной к малой распределенной энергетике. Для повышения коэффициента полезного действия микротурбин целесообразно применение теплообменников со сверхвысокой степенью рекуперации порядка 95–97% [1, 2]. Теплообменные аппараты находят широкое применение не только в распределенной энергетике, но и в нефтеперерабатывающей, газовой, химической и пищевой промышленности, а также в системах вентиляции, водоснабжения и отопления.

Изготовление теплообменников с высокой степенью рекуперации – сложный трудоемкий процесс. Разработка эффективного, компактного и недорогого теплообменника является актуальной научно-технической задачей. Аддитивные технологии позволяют в короткие сроки получить детали сложной конфигурации с затратами значительно меньшими, чем в случае изготовления традиционными способами из цельной заготовки, и могут применяться для изготовления кожухотрубных теплообменников.

Вопрос повышения эффективности существующих теплообменников, а также разработка новых конструктивных решений с применением аддитивных технологий (аддитивных теплообменников) является одним из широко рассматриваемых в научных работах, посвященных области энергетического машиностроения [3–5].

На основе рассмотренных научных задач определена цель работы: получение экспериментальных характеристик теплообмена, протекающего в трубках макетов кожухотрубных аддитивных теплообменников с оребрением трубок при различных скоростях течения горячего теплоносителя, и сравнение их с характеристиками теплообмена в трубках без оребрения.

В ходе работы разработан экспериментальный стенд для исследования характеристик теплообмена макетов теплообменных аппаратов, изготовленных с помощью аддитивной технологии SLM – селективного лазерного спекания. Создана методика эксперимента и проведена серия экспериментальных исследований, направленных на получение характеристик теплообмена в макетах теплообменников со внутренним оребрением и без оребрения. Разработаны и изготовлены макеты аддитивных теплообменников, проведена отработка режимов 3D-печати для обеспечения герметичности трубок. Проведены экспериментальные исследования и получены зависимости коэффициентов теплоотдачи от средней скорости течения воздуха в трубках теплообменника (Рис. 1), зависимость Nu(Re) для двух макетов аддитивных теплообменников.

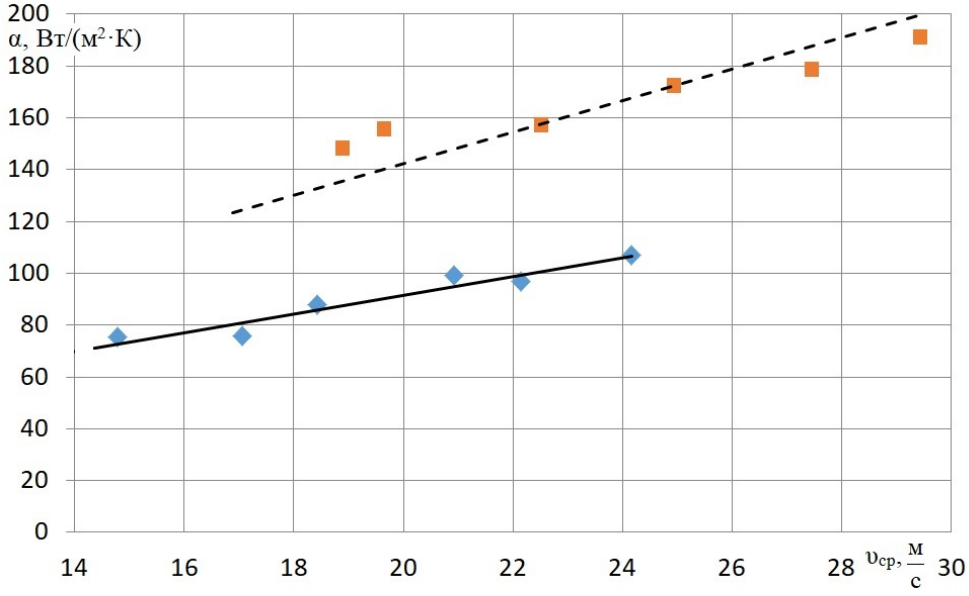


Рис. 1. Зависимость среднего коэффициента теплоотдачи теплообменника со внутренними ребрами (штриховая линия) и без внутренних ребер (сплошная линия) от средней скорости в трубках

Обработка и анализ полученных данных позволил сделать вывод об увеличении интенсивности теплообмена с помощью введения внутреннего оребрения в макетах кожухотрубных теплообменников в среднем на 50%.

Библиографический список

1. Костюков А. В., Горновский А. С., Косач Л. Многоцелевые высокоэффективные микротурбины // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2014. – Т. 1. – № 4 (22).

2. Аронсон К. Э., Бродов Ю. М. Теплообменники энергетических установок. – 2008.

3. Костюков А. В., Алексеев Р. А. Повышение эффективности роторного теплообменника малоразмерного газотурбинного двигателя // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2012. – Т. 1. – № 1.

4. Соколов Н. П., Полищук В. Г., Андреев К. Д. Теплообмен в каналах прямоугольного сечения со скрещивающимся оребрением // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2013. – № 3 (178).

5. Глухарев А. С. Повышение эффективности теплообменных аппаратов за счет оребрения внутритрубного пространства // Молодежный научно-технический вестник. – 2017. – № 1. – С. 10–10.

УДК 621.593

ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ЦИКЛЫ ВНЕШНЕГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГЕЛИЯ И ОЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Мехрпуйя М., Гхорбани Б., Зайцев А. В., Лисовцов А. О.

Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Криогенные процессы, связанные с природным газом, такие как его сжижение (СПГ), извлечение гелия, удаление азота, извлечение широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) требуют потребления большого количества энергии, соответственно, объективная оценка экономической рентабельности осуществления таких процессов в значительной степени зависит от стоимости конечного продукта. Существуют различные виды технологических процессов СПГ, и их можно классифицировать по ряду признаков [1]. Тем не менее, отношение энергозатрат к ожиженному СПГ (кВт·ч/кг СПГ) является одним из главных критериев, который следует учитывать при разработке новых и эффективных решений.

Обеспечение требуемой степени охлаждения является основной проблемой при разработке новых технологических решений. Достижение температуры конденсации природных газов возможно при помощи сложных внешних холодильных циклов, таких как: цикл смешанного хладагента с предварительным пропановым охлаждением (C3MR), цикл на двойном смешанном хладагенте (DMR), каскадный цикл на смешанном хладагенте (MFC) Перечисленные циклы являются наиболее распространенными в крупнотоннажном производстве.

Целью работы является поиск оптимальных режимов работы и анализ предложенных к внедрению циклов внешнего охлаждения, работающих на базе перечисленных технологических процессов, а так же сравнительный анализ и сопоставление с традиционными существующими циклами.

Были исследованы режимы работы перечисленных холодильных циклов для процессов ожижения природного газа и извлечения ШФЛУ на базе установки СПГ, проведен сравнительный анализ результатов работы с применением таких циклов и выделено значение усредненной удельной мощности.

Предложена и проанализирована идея замены паро-компрессионной установки в циклах на аммиачную холодильную машину (АХМ) [1]. В этом исследовании пропановые охладители были заменены на абсорбционные а требуемая тепловая нагрузка в генераторе обеспечивается теплом отбросных газов из турбин. Проведено исследование циклов DMR и C3MR с использованием АХМ, работающих на базе установок извлечения азота, ШФЛУ и ожижения природного газа [2]. Также был проведен эксергетический анализ нового представленного внешнего цикла извлечения гелия [3].

Все представленные нововведения в традиционные циклы были исследованы и оценены на основе эксергетического и экономического анализов.

В результате сравнения традиционного (MCF) и нового (MCF + АХЛ) циклов было выявлено следующее: удельное энергопотребление первого и второго циклов составляет 0,265 и 0,184 кВт·ч/кг СПГ соответственно. Коэффициент извлечения гелия и энергопотребление составляют 0,951 и 132,9 (кВт·ч / кмоль гелия) для процесса MCF + АХЛ. Результаты эксергиеического анализа показывают, что в процессе MFC компрессоры (36,97%), теплообменники (25,94%) и воздухоохладители (22,57%) имеют наибольшую долю в степени эксергетических потерь. В процессе MCF + АХЛ наибольшая степень эксергетических потерь связана с теплообменниками (58,19%), ректификационной колонной (18,94%) и компрессорами (14,87%) соответственно. Исходя из результатов экономического анализа, время окупаемости внедряемого каскадного цикла MCF и модифицированного MCF составляет 3,374 года и 3,875 года соответственно. Также экономический анализ показывает, что в разработанном процессе с использованием абсорбционной машины цена продукта снижается на 6,28%, первоначальные инвестиционные затраты увеличиваются на 31,22%, а время окупаемости увеличивается на 12,93%.

Библиографический список

1. Kalinowski P, Hwang Y, Radermacher R, Al Hashimi S, Rodgers P. Application of waste heat powered absorption refrigeration system to the LNG recovery process. International journal of refrigeration. 2009;32(4):687-94.

2. Ghorbani B, Hamedi M-H, Amidpour M, Shirmohammadi R. Implementing absorption refrigeration cycle in lieu of DMR and C3MR cycles in the integrated NGL, LNG and NRU unit. International Journal of Refrigeration. 2017;77:20-38.

3. Mehrpooya M, Mood NG, Ansarinasab H, Alsagri AS, Mehdipourrad M. A novel sensitivity analysis of a new integrated helium extraction process through the interaction of costs and environmental impacts. Applied Thermal Engineering. 2019;159:113787.

УДК 621.514.52

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ И ИССЛЕДОВАНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУШНОЙ ВИНТОВОЙ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ ВКУ 400-8

Великанов Е. П.[1], Маянков И. В.[1]

[1] *АО «НТК «Криогенная техника» (Россия, Омск, ул. 22 Партсъезда, д. 97 корп. 1)*

В настоящее время на предприятии АО «НТК «Криогенная техника» ведется инициативная работа по созданию серийных образцов воздушной винтовой компрессорной установки (ВКУ 400-8).

Проведя анализ производителей и потребителей продукции на рынке винтовых компрессорных установок, в качестве перспективной и востребованной, на экспертном совете предприятия была выбрана установка со следующими характеристиками приведенными в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики винтовой компрессорной установки ВКУ 400-8.

Наименование	ВКУ 400-8
Сжимаемый газ	Воздух
Давление всасывания	Атмосферное
Давление нагнетания (избыточное)	8 кгс/см^2 (0,8 МПа)
Производительность в нормальных климатических условиях, не менее	400 м^3/час
Мощность электродвигателя	45 кВт
Масса	1000±40 кг

Отечественные предприятия выпускающие подобные винтовые компрессорные установки ведут сборку из покупных импортных комплектующих. Основными предприятиями, специализирующимися на производстве винтовых компрессорных установок являются:

– ЧКЗ (Челябинский компрессорный завод);

– Казанский завод компрессорного машиностроения;

– АО «Компрессор» г. Санкт-Петербург.

Из конструктивных особенностей винтовых компрессоров можно отметить следующие:

1. Для большей энерго-эффективности компрессорной установки, регулирование производительности осуществляется по средством изменения количества подаваемого через впускной лапан на всасывание воздуха.

Впускной клапан меняет проходное сечение в режиме закрыто-открыто при помощи заслонки.

2. Компрессор является маслонаполненным, масло помимо смазки подшипников и уплотнения опорных поверхностей винтов, также позволяет отводить тепло производимое при сжатии от винтового блока.

Данная схема требует систему отделения воздуха от масла. В начале сжатый воздух с маслом из винтового блока поступает в маслоотделитель. В маслоотделителе за счет действия центробежных сил масло осаждается на внутренних полостях.

Далее, воздух с незначительным количеством масла поступает в фильтры маслоотделители (сепараторы), где происходит окончательное разделение смеси на воздух и масло. Масло стекает в емкость маслоотделителя, а очищенный воздух направляется в радиатор-теплообменник. На выходе из теплообменника температура воздуха в среднем на 10–15 ^{0}C выше температуры окружающей среды.

3. Нагретое сепарированное масло по маслопроводу поступает к термостату. Если температура масла ниже 71±1,5 °C, то оно направляется в компрессор. В случае если температура масла выше, поток горячего масла через термостат направляется в радиатор-теплообменник. Охлажденное после теплообменника масло вновь поступает в винтовой блок.

Работы по созданию экспериментального образца ВКУ 400-8 состояли из нескольких этапов.

На первом этапе после согласования схемы будущей установки, был проведен анализ конструкции установок с похожими характеристиками нескольких производителей как Remeza, Abac, ЧКЗ.

Разработка конструкторской документации на опытный образец была проведена ведущими подразделениями разработчиками предприятия АО «НТК «Криогенная техника», и включала в себя работы по разработке собственного винтового блока.

На втором этапе, велось изготовление компонентов будущей винтовой установки было запущено в феврале 2019 года, работы проводились в производственных подразделениях АО «НТК «Криогенная техника».

В июне 2019 года опытный образец ВКУ 400-8 в составе стенда прошел серию испытаний, подтвердив соответствие техническим характеристикам.

Рис. 1. Общий вид ВКУ 400-8

В настоящее время начато производство партии винтовых компрессорных установок в количестве 50 шт., выпуск первых образцов планируются к апрелю 2020 года.

УДК 621.512.0032

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РУБАШКИ ОХЛАЖДЕНИЯ ТИХОХОДНОЙ СТУПЕНИ ДЛИННОХОДОВОГО ПОРШНЕВОГО АГРЕГАТА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИЛИНДРА

Аистов И. П.[1], Вансович К. А.[1], Бусаров С. С.[1], Титов Д. С.[1], Кузьмицкий А. А.[1]

[1] *Омский государственный технический университет, проспект Мира, 11, г. Омск, 644050, Россия; e-mail: aistov_i@omgtu.ru*

В настоящее время, использование тихоходных длинноходовых поршневых агрегатов (частота хода поршня $f \leq 2$ Гц) рассматривается одним из перспективных направлений использования насосной и компрессорной техники [1, 2, 3]. Конструктивной особенностью длинноходовых поршневых агрегатов является повышенная длина цилиндра тихоходной ступени: относительный показатель длины имеет значение $\psi = S/d_ц > 10$ (S – ход поршня; $d_ц$ – диаметр цилиндра) [4]. Агрегат, в режиме работы компрессора, позволяют обеспечить сравнительно низкую температуру нагнетаемого газа (до 350–450^{0}К) при достигаемой величине степени сжатия $\varepsilon = p_н / p_{вс}$ до 100 в одной ступени ($p_н$, $p_{вс}$ – давления нагнетания и всасывания в полостях тихоходной ступени) [5, 6]. Однако, как показали исследования [7], интенсивность теплоотдачи сжимаемого газа непосредственно в рабочей камере тихоходной ступени агрегата оказывает существенное влияние на эффективность рабочего цикла сжатия газа, на температурное состояние элементов конструкции, на условия функционирования и массогабаритные параметры агрегата. Возникающая излишняя тепловая нагрузка на конструктивные деталей агрегата приводит к необходимости использования внешней системы охлаждения [8, 9, 10, 11].

В работе приведен анализ влияния конструктивных параметров рубашки охлаждения тихоходной ступени длинноходового поршневого компрессора на напряженно-деформированное состояние цилиндра. Для рассмотрения выбрана конкретная конструкция поршневого компрессора, конструктивные параметры которого (ход поршня S = 0,5 м; диаметр цилиндра $d_ц$ = 0,05 м) выбраны согласно исследованиям авторов в работах [8, 9, 10, 11]. Рубашка охлаждения распространена по длине цилиндра тихоходной ступени компрессора в зоне нагнетания давления на величину 0,150 м (рис. 1). Расчетные значения температуры стенки цилиндра (при давлении нагнетания $p_н$ = 10 МПа): в зоне охлаждения – 410^{0}К; вне зоны охлаждения – 400^{0}К.

Для реализации конкретной конструкции длинноходового компрессорного агрегата, в связи с технологическими проблемами изготовления длинномерных цилиндров, в качестве цилиндра тихоходной ступени выбрана нержавеющая труба стандарта, изготовленная из стали марки AISI 304L/316L и обладающая необходимыми параметрами шероховатости внутренней поверхности $Ra \leq 0.25$ мкм (Ra – среднеарифметическая высота микронеровности внутренней поверхности трубы) [12].

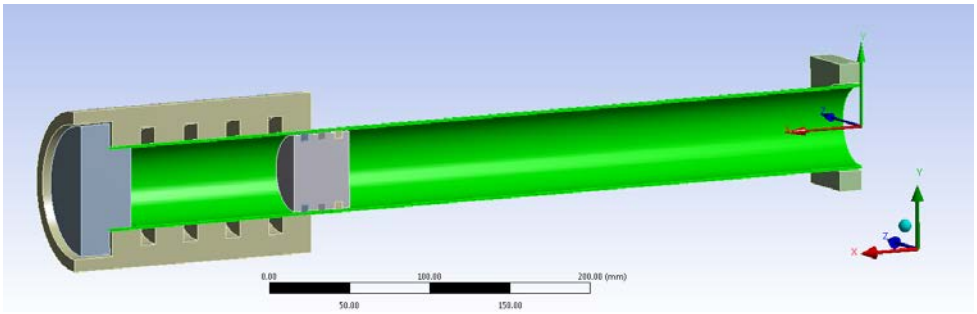


Рис. 1. Расчетная схема поршневого агрегата с рубашкой охлаждения

Для данной трубы с внутренним диаметром $d_ц$ = 50 мм и толщиной стенки δ = 1,5 мм расчетное значение допустимого давления с учетом коэффициентов запаса прочности составляет [p] = 6 МПа (60 бар) при температуре стенки трубы 420^{0}К (1500С) [13]. Перерасчет указанного внутреннего давления на значения кольцевых напряжений в стенках цилиндра, в соответствии с теорией тонких оболочек [14], дает величину $\sigma_{кольц}$ = 150 МПа. Рассмотрена возможность использования рубашки охлаждения, расположенной в зоне нагнетания длинноходового компрессора, в качестве конструктивных элементов для повышения прочности цилиндра тихоходной ступени, при давлении нагнетания $p_н$ = 10 МПа с использованием программный комплекс ANSYS Workbench Mechanical (ПК ANSYS WM).

Библиографический список

1. Yusha V. L., Karagusov V. I., Busarov S. S. Modeling the work processes of slow-speed, long-stroke piston compressors // Chemical and Petroleum Engineering. – 2015. – Vol. 51(3). – P. 177–182. – DOI: 10.1007/s10556-015-0020-5.

2. Бусаров С. С., Буханец Д. И., Титов Д. С. Анализ эффективности внешнего охлаждения тихоходных длинноходовых бессмазочных поршневых компрессорных ступеней // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2018. – Т. 2, № 3. – P. 13–20. – DOI: 10.25206/2588-0373-2018-2-3-13-20.

3. Assessment of the loaded state of the piston unit cylinder stage taking into account of temperature exposure / I P Aistov and K A Vansovich // J. Phys.: Conf. Ser. – 1260. – 112002 (2019). – https://doi.org/10.1088/1742-6596/1260/11/112002.

4. DIN 11866-2016. Stainless steel components for aseptic applications in the chemical and pharmaceutical industry. Tubes // http://www.standards.ru/document/6259831.aspx.

УДК 621

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛОРАСХОДНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ

Бураков А. В.[1], Перминов А. С.[1], Галеркин Ю. Б.[2], Котлов А. А.[2] , Левихин А. А.[3], Побелянский А. В.[3]

[1] *ООО «Компрессор Газ» (64, Б. Сампсониевский пр., Санкт-Петербург, 194044, РФ)*
[2] *ФГАОУ ВО «СПбПУ», (29, ул. Политехническая, Санкт-Петербург, 195251, РФ)*
[3] *ФГАОУ ВО «БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, (1, ул. 1-ая Красноармейская, Санкт-Петербург, 190005, РФ)*

В настоящее время в газовой, нефтехимической и холодильной промышленности эксплуатируется большое количество компрессорного оборудовании для транспортирования газа, циркуляции хладагентов, значительная часть которого относится к центробежным компрессорам. Для повышения эффективности применяемого парка компрессорного оборудования необходимо тщательно исследовать и внедрять во все элементы компрессорной системы конструктивные мероприятия, обеспечивающие снижение капитальных и эксплуатационных расходов.

ООО «Компрессор Газ» в 2019 г для атомной промышленности разработало нестандартную дожимные компрессорные установки для циркуляции гелия в охлаждающем контуре без загрязнения среды маслом ДКУ-ГЦ 0,52/3,31/3,41 и ДКУ-ГЦ 0,15/0,9/1,0. Принципиальная схема погружного центробежного компрессора (ЦК) и изготовленное на 3D-принтере рабочее колесо ЦК приведены на рисунке 1.

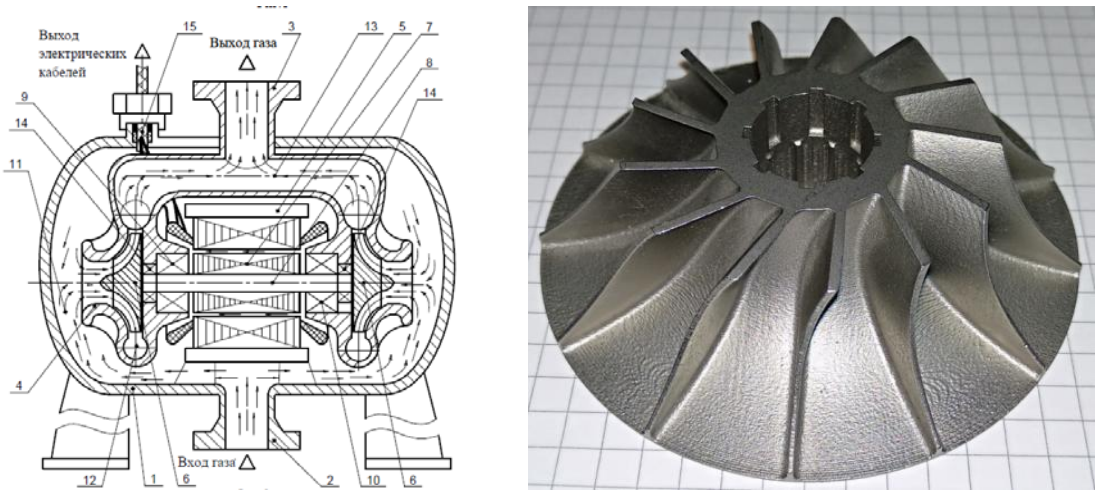


Рис. 1. Схема погружного центробежного компрессора и изготовленное на 3D-принтере рабочее колесо ЦК

Для изготовления колес могут применяться полимерные и композиционные материалы с заданными свойствами. Помимо этого, масса колес может быть снижена в 4-6 раз, что уменьшит массу всего компрессора на 5–15%.

Библиографический список

1. Лав Радис. GE Aviation получает сертификат FAA на первую 3D печатную часть реактивного двигателя. [Электр. ресурс]. URL: https://3dprinting.com/new s/ge-aviation-gets-faa-certification-for-first-3d-printed-jet-engine-part/ (дата обращения: 22.09.2018).
2. На 3D-принтере впервые напечатали реактивный двигатель. [Электр. ресурс] URL: https://l enta.ru/news/2015/02/26/jetprinted/ (дата обращения: 22.09.2018).
3. Побелянский А.В., Мустейкис А.И., Галаджун А.А., Круглов Д.С. Исследование возможности применения деталей из термостойких пластиков и их испытание в составе малоразмерного газотурбинного двигателя // Исследования наукограда. – 2017. – Т. 1, № 2 (20). – С. 76–81.
4. Андрюшкин А.Ю., Левихин А.А., Михеенков М.Ю., Мустейкис А.И. Обеспечение заданного уровня свойств полученных послойным лазерным сплавлением деталей из жаропрочных никелевых сплавов // В сборнике: Инновационные технологии и технические средства специального назначения. Труды десятой общероссийской научно-практической конференции. – 2018. – С. 45–48.
5. Хлумский В. Ротационные компрессоры и вакуум-насосы. – М.: Машиностроение, 1971. – 127 с.

УДК 621.591

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МИКРОКРИОГЕННОЙ СИСТЕМЫ ИНТЕГРАЛЬНОГО ТИПА

Бушуев М. А.[1], Громов Н. А.[2]

[1] *АО «НТК «Криогенная техника», Россия, г. Омск, ул. 22 Партсъезда, 97*
[2] *ФГБОУ ВО «Омский Государственный Технический Университет», Россия, г. Омск, пр-т Мира, 11*

В 2014–2015 годах АО «НТК «Криогенная техника» были разработаны несколько конструкций микрокриогенных систем (МКС) интегрального типа, имеющих существенно уменьшенные массогабаритные характеристики по сравнению с модульными МКС, разработанными ранее [1].

МКС изготавливаются только из отечественных материалов и комплектующих и позволяют криостатировать фоточувствительные элементы (ФЧЭ) фотоприемных устройств (ФПУ) различного типа на температурном уровне (65…150) К при тепловой нагрузке на МКС от 0,3 до 1,0 Вт.

Наличие разработанных базовых конструкций МКС позволило в короткий срок создать модификацию МКС, предназначенную для криостатирования высокотемпературных ФПУ на температурном уровне (140 ± 2) К, масса МКС менее 0,35 кг.

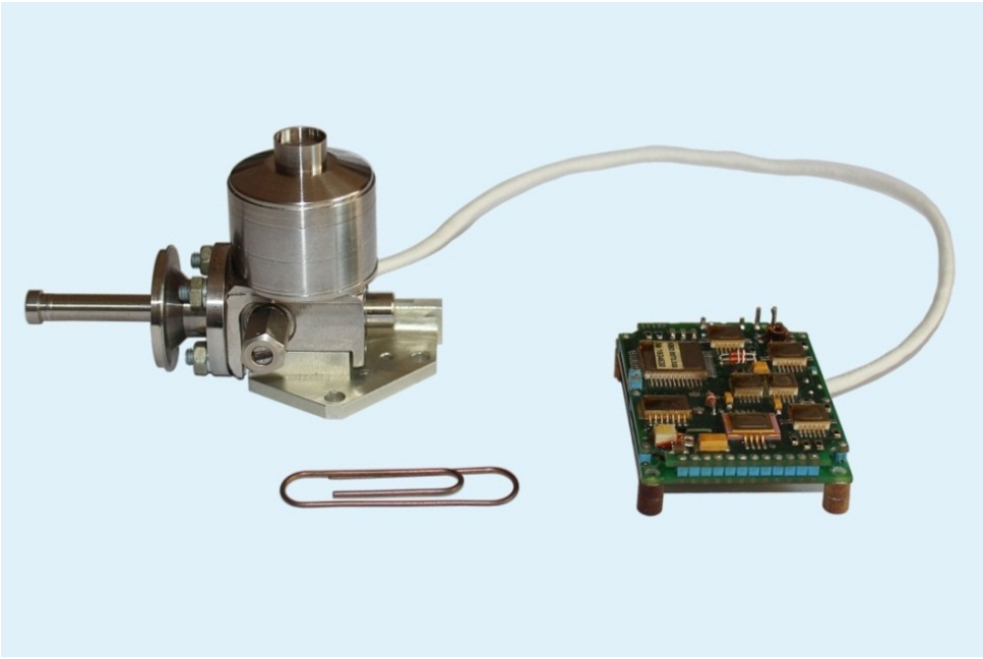


Рис. 1. Внешний вид МКС

В докладе приведено описание конструкции разработанной модификации МКС, а также представлены результаты исследований и испытаний МКС на базе АО «НТК «Криогенная техника» в различных условиях и в диапазонах температур (80…150) К.

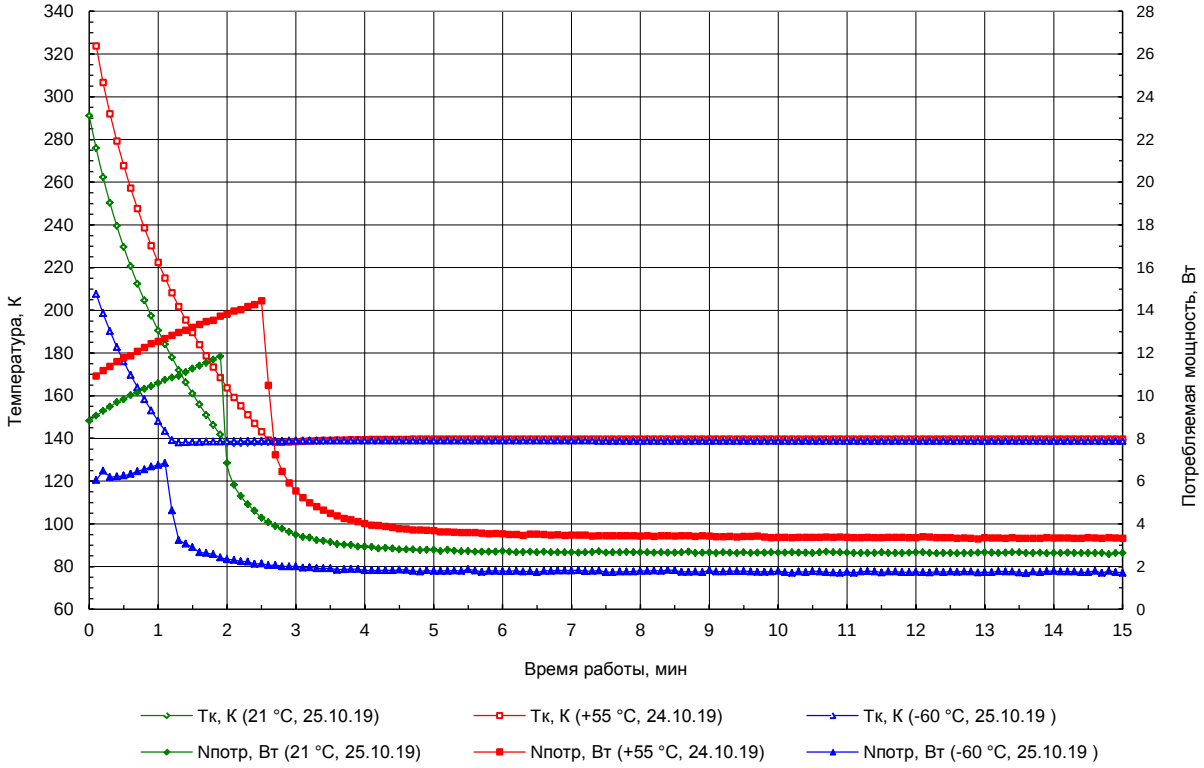


Рис. 2. Изменение потребляемой мощности и температуры криостатирования от времени работы МКС при температуре криостатирования 140 К

Библиографический список

1. М. В. Липин, А. В. Громов Результаты разработки ряда модульных МКС Сплит-Стирлинг для криостатирования ФПУ 1-го и 2-го поколений // Прикладная физика. – 2007. – № 2. – С. 110–119.

УДК 621.057

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АММИАЧНОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ЦИКЛА НА ОСНОВЕ СЖАТИЯ В ОБЛАСТИ ВЛАЖНОГО ПАРА

Юша В. Л.[1], Чернов Г. И.[1], Садвакасов Д. Х.[1]

[1] *ФГБОУ ВО «Омский Государственный Технический Университет», (Россия, г. Омск, пр-т Мира, 11)*

Аннотация

В работе представлена теоретическая оценка энергетической эффективности парокомпрессионного холодильного цикла на основе сжатия в области влажного пара. В основу оценки был расчёт процесса сжатия в области влажного пара на основе разработанной математической модели. Математическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, включающая уравнение первого закон термодинамики для влажного пара и уравнение Клайперона – Клаузиуса. Оценка эффективности холодильного цикла строилась на основе численного решения математической модели в среде MathCad. В качестве рабочего тела был рассмотрен аммиак. Процесс сжатия рабочего тела, находящийся в парожидкостном состоянии, осуществляется в поршневом тихоходном компрессоре. Расчёты показали, что проведение сжатия в области влажного пара приводит к уменьшению мощности сжатия и, как следствие, к повышению холодильного коэффициента.

Ключевые слова. Влажный пар, сжатие в компрессоре, винтовой компрессор, математическая модель, холодильный цикл

Основные процессы, связанные с затратами и производством работы, в холодильных установках протекают, в основном, в области жидкости, газа и перегретого пара. В области же влажного пара совершаются процессы изобарно – изотермического кипения – конденсации и процесс дросселирования [1, 2]. Процессы расширения – сжатия, сопровождаемые затратами или производством работы, в области влажного пара практически не используются. Вместе с тем перенос процесса сжатия из области перегретого пара в область влажного пара может привести к существенной экономии затрачиваемой энергии, т.к. один и тот же перепад давления в области влажного пара сопровождается меньшим изменением энтальпии, чем в области перегретого пара. Процесс сжатия влажного пара может быть реализован, если его осуществлять в машине с интенсивным внешним охлаждением [3, 4, 5, 6]. Этот процесс сжатия может быть включён в цикл парокомпрессионной холодильной машины (ПКХМ). Перспектива создания холодильного цикла с высокой энергоэффективностью на основе сжатия хладагента в области влажного пара определяет актуальность исследования этого процесса.

Для теоретической оценки эффективности сжатия влажного пара в составе парокомпрессионного холодильного цикла были построены физическая и математическая модели этого процесса.

Основными расчётными уравнениям, составляющими математическую модель, являются уравнение первого закона термодинамики для открытой системы, уравнение Клайперона - Клаузиуса и уравнение состояния идеального газа.

На основе математической модели и исходных данных был проведён расчёт процесса сжатия аммиака в области влажного пара, а также проведён анализ влияния указанных параметров на величину теоретического холодильного коэффициента холодильного цикла.

Анализ полученных зависимостей показывает, что результаты расчёта верно отражают физику процесса сжатия. Данные расчёта также показали, что представленную математическую модель можно использовать в качестве основы для построения модели расчёта объёмных компрессоров, сжимающих рабочее вещество в области влажного пара. Проведённый анализ влияния на эффективность этого цикла таких параметров, как частота вращения вала компрессора и коэффициента теплоотдачи показал, что эффективность холодильного цикла с влажным сжатием может существенно (в 2–4 раза) превосходить эффективность соответственного холодильного цикла со сжатием в области перегретого пара.

Библиографический список

1. F. Bosnjakovic, Technische Thermodynamik, Teil I, Darmstadt; Steinkopff, 1998, pp. 543.

2. J. M. Smith, H. C. Van Ness, M. M. Abbott, Introduction to chemical engineering thermodynamics, McGraw-Hill Book Company, 2001, pp. 749.

3. Yusha V.L., Karagusov V.I., Busarov S.S. Modeling the work processes of slow-speed, long-stroke piston compressors, Chemical and Petroleum Engineering. Vol. 51. Issue 3. P. 177–182

4. Yusha, V.L., Busarov, S.S., Gromov, A.Y. Assessment of the Prospects of Development of Medium-Pressure Single-Stage Piston Compressor Units, Chemical and Petroleum Engineering. Vol. 53(7-8). – pp. 453–458.

5. V. L. Yusha, S. S. Busarov, A. V. Nedovenchanyj, R. Y. Goshlya Experimental research of the operating processes of slow-speed long-stroke oil-free reciprocating compressor stages at discharge pressures up to 10 MPa, Oil and Gas Engineering (OGE-2018): AIP Conference Proceedings. Vol. – 030057 (2018). – pp. 1–6.

6. Yusha, V.L.,Busarov, S.S., Nedovenchanchanyi, A.V. Assessment of the relationship between the law of motion of the slow-speed long-stroke stage piston and the characteristics of the compressor unit drive, Oil and Gas Engineering (OGE-2019): AIP Conference Proceedings. Vol. – 2141, (2019). – pp. 030004.

УДК 533.581

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МИКРООХЛАДИТЕЛЕЙ ГИФФОРДА – МАКМАГОНА И ВАКУУМНЫХ КРИОГЕННЫХ НАСОСОВ

Яловнаров В. В.[1]

[1] *АО «НТК «Криогенная техника» (Россия, Омск, ул. 22 Партсъезда, д. 97 корп. 1)*

Для многих процессов, осуществляемых в вакууме, предъявляются повышенные требования к чистоте остаточных газов, свободных от углеводородов, низкому остаточному давлению и высокой удельной быстроте действия, всем этим требованиям отвечают созданные на базе автономных, замкнутых по рабочему газу охлаждающих устройств вакуумные криогенные насосы (НВК). Вакуумные крионасосы интегрируются

в комплексные высоковакуумные системы, обеспечивают полную автоматизацию систем откачки и их эксплуатацию в течение нескольких лет при минимальном техническом обслуживании.

НВК широко применяются в различных технологических и испытательных комплексах: от установок ионно-плазменного напыления до ускорительных комплексов и имитационных камер с объемом в сотни кубических метров.

Создан ряд НВК нового поколения Ду от 160 до 630 мм с быстротой действия по воздуху от 0,8 до 20 $м^3/с$ и минимальным значением предельного остаточного давления до $1 \cdot 10^{-8}$ Па., комплектуемыми одно- и двухступенчатыми микроохладителями (МО) Гиффорда – МакМагона с холодопроизводительностью:

– МО10/20 - Q2ст. ~ 14 Вт при 20 К, Q1ст. ~ 30 Вт при 80 К;
– МО7/100 - Q2ст. ~ 7 Вт при 20 К, Q1ст. ~ 80 Вт при 80 К.
– МО2/10 - Q2ст. ~ 2 Вт при 10 К
– МО180 - Q ~170 Вт при 80 К.

и компрессорными установками (КУ) трех типоразмеров, потребляемой мощности от 3,5 до 5,5 кВт.

Рис. 1. Блоки криооткачки ряда НВК Ду 160–630 мм

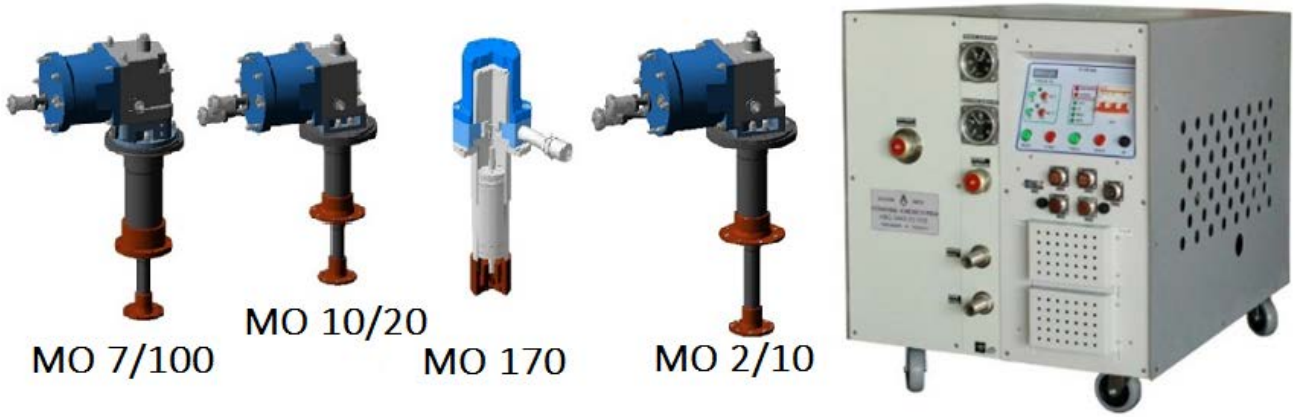


Рис 2. Внешний вид разработанных МО и КУ

Микроохладители МО 2/10 позволят создать НВК для откачки гелия адсорбционной ступенью с температурой криостатирования ~10К. Температурный уровень выбран, исходя из данных [1] о влиянии температуры на процесс откачки гелия, приведённых на рисунке 3. Из рисунка видно, что при температуре выше 12 К отсутствует стабильность быстроты действия (что подтверждается и нашими измерениями), в то же время при температурах ниже 10 К не наблюдается значительного роста быстроты действия. В качестве адсорбента предполагается использовать «высокоэнергетичные, узкопористые» активированный угли.

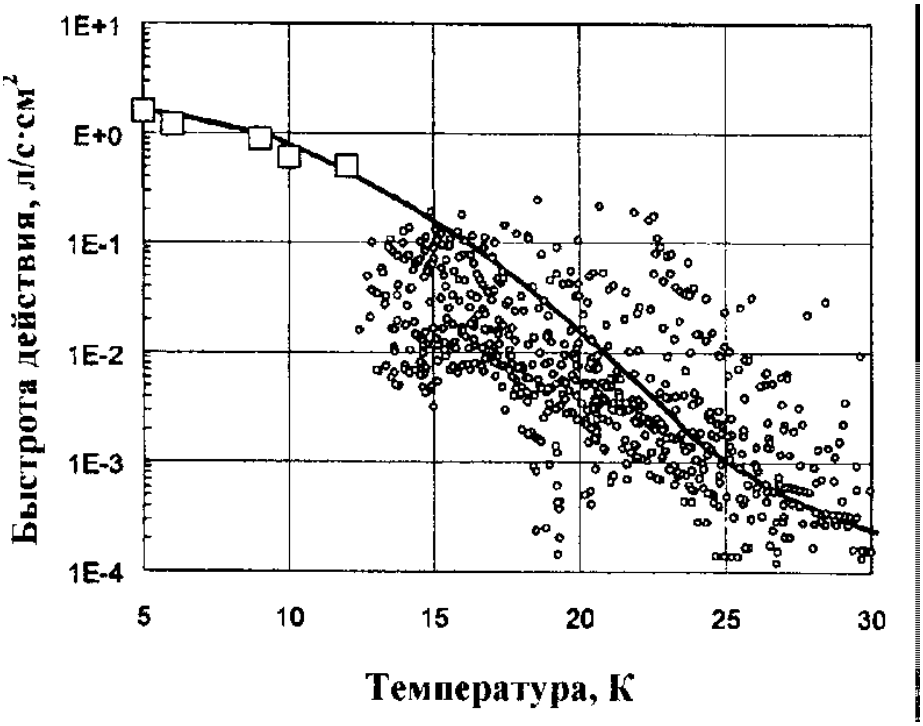


Рис. 3. Зависимость быстроты действия по гелию от температуры [1]

Подобные крионасосы могут найти применение как дополнительное средство откачки Не термоядерного реактора токамак, основная откачка в которых производится адсорбционно конденсационными криопанелями охлаждаемыми сверхкритическим гелием при Т ~ 5К.

Библиографический список

1. C. Day / Colloids and Surfaces A: Physicochem.// Eng. Aspects – 2001 С. 187–188, 187–206. The use of active carbons as cryosorbent.

УДК 629.02

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ НА ПОТРЕБЛЯЕМУЮ МОЩНОСТЬ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ ОТКАЧКИ СКОРОСТНОГО ТРАНСПОРТА

Калинкин Д. А.[1], Белова О. В.[1], Горюнов С. В.[1], Вульф М. Д.[1]

[1] *МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5*

Вакуумный скоростной транспорт – сверхскоростной вид транспорта, транспортный путепровод которого помещен в герметичный вакуумный трубопровод [1–4]. Главными преимуществами такого поезда являются высокая скорость доставки (500…1500 км/ч) и низкие энергозатраты на перемещение, а недостатком – высокая стоимость инфраструктуры.

Разработанная математическая модель процесса откачки вакуумной системой, обеспечивающей рабочее давление в вакуумном трубопроводе вакуумного скоростного транспорта, позволяет определить потребляемую вакуумными насосами мощность. Проведена оценка мощности, затрачиваемой на откачку и поддержание рабочего диапазона давлений на примере магистрали длиной 600 км г. Москва – г. Санкт-Петербург. Проанализирована возможность создания системы откачки на базе современного оборудования.

Полученная модель может быть использована для технико-экономического обоснования и экспертной оценки рассматриваемых параметров вакуумных магистралей высокоскоростного транспорта [2, 4, 5].

Библиографический список

1. Форгач Р.Л. Скоростной вакуумный трубопроводный транспорт – конкурент реактивной авиации. В кн. Наземный транспорт 80-х годов. Пер. с англ. / под ред. Р. Торнтона. – Мир, 1974. – С. 121–137.

2. Фомин В.М., Наливайченко Д.Г., Терентьев Ю.А. К вопросу выбора диапазона рабочих параметров вакуумного магнитолевитационного транспорта // Материалы XI Международной научно-технической конференции. Под ред. С.Б. Нестерова. – М.: Новелла, 2016. – С. 273–283.

3. Belova O.V., Vulf M.D. Pneumatic Capsule Transport // Procedia Engineering. – V. 152. – 2016. – P. 276–280. DOI 10.1016/j.proeng.2016.07.703.

4. Воробьев И.А., Кондратенко Р.О., Нестеров С.Б., Белоконев А.М. Оценка характеристик вакуумной среды и энергетических параметров инфраструктуры для вакуумно-левитационного транспорта // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО "РЖД". Под ред. д.т.н., проф. Нестерова С.Б. – М.: № 4. – 2016. – С. 18–24.

5. Вакуумная техника: Справочник / под общ. ред. К.Е. Демихова, Ю.В. Панфилова. – М.: Машиностроение, 2009. – 590 с.

УДК621.515.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ, ДЕЙСТВУЮЩИХ В РАБОЧЕЙ ПОЛОСТИ ВИНТОВОГО ОДНОРОТОРНОГО КОМПРЕССОРА С ОКРУЖНЫМ ПРОФИЛЕМ ЗУБА ОТСЕКАТЕЛЯ

Пронин В. А.[1], Кузнецов Ю. А.[2], Жигновская Д. В.[1], Кованов А. В.[1]

[1] *НИУ ИТМО, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

[2] *АО «Компрессор», Россия, г. Санкт-Петербург, Большой Сампсониевский пр., 64*

Для расчёта и рационального конструирования винтового одноротороного компрессора необходимо найти величину и направление действующих сил и моментов на рабочие органы машины. На данный момент, практически все зарубежные и российские фирмы выпускают винтовые одноротороные компрессоры с прямоугольной формой зуба отсекателя. Одним из наиболее перспективных путей развития винтовых одноротороных компрессоров является переход на принципиально новые профили зубьев рабочих органов. К достоинствам окружного профиля рабочих органов можно отнести высокую эксплуатационную надёжность, разгрузку опор отсекателей за счёт приближения центров тяжести зубьев к осям вращения, технологичность изготовления и уменьшение протечек компримируемой рабочей среды в зазорах рабочих органов, что в целом будет влиять на экономичность машины. Поэтому вопрос расчёта силовых факторов является актуальным для дальнейшего развития компрессоростроения [1]. Сравнивая две принципиально разные формы (окружную и традиционно прямоугольную) зубьев отсекателей, можно предположить, что схема сил и моментов, действующих на рабочие органы винтового компрессора, не будет существенно отличаться. Основные усилия в рабочей части машины будут обусловлены давлением компримируемой среды, возникающее в замкнутой полости винтового компрессора, образованной цилиндрической частью корпуса, центральным винтом с его канавками и зубом отсекателя (рис. 1).

На центральный винт будут действовать следующие силы и моменты: окружная сила F_{t_1} и радиальная сила F_{r_1}. Радиальной силой можно пренебречь вследствие симметрии рабочих частей винтового одноротороного компрессора, а окружные силы будут создавать крутящий момент M_1 [4,5]. Суммарную силу F_{n_1}, действующую на канавки винта можно представить как $\Sigma F_{n_1} = F_{t_1} + F_{r_1}$. На цилиндрической части корпуса возникают напряжения растяжения под действием радиальной силы F_{r2}. Также в замкнутой полости ВКО возникает усилие F_{a_1}, которое направлено параллельно оси вращения отсекателя, действующее на зуб отсекателя и вызывающее изгибающий момент. Все вышеперечисленные силы определяются как $F_i = \Delta P_a \cdot S_i$, где ΔP_a – избыточное давление в полости, S_i – площадь соответствующей проекции [2,3].

Из второй теоремы Гюльдена следует, что объём полученный вращением плоской фигуры вокруг оси, лежащей в плоскости фигуры вне её, равен произведению площади фигуры на длину окружности, описанной её центром тяжести [6, 7, 8]. Под плоской фигурой подразумевается проекция на плоскость вращения зубчатого отсекателя, а точнее части зуба, находящегося в зацеплении с центральным винтом. Для винтового

одноротороного компрессора с окружной формой зуба отсекателя «плоской фигурой» будет форма сегмента круга. Объём винтовой полости центрального винта V будет определяться из выражения

$$V = \frac{1}{U}\int_{\beta_{HC}}^{\beta_{KH}} S_C(\beta) r_c(\beta) d\beta \quad (1)$$

где $S_C(\beta)$ – площадь сегмента, зависящая от угла поворота зубчатого отсекателя, $r_c(\beta)$ – кратчайшие расстояние от центра тяжести сегмента по оси вращения винта, зависящее от угла поворота зубчатого отсекателя, β_{HC} – угол начала сжатия, β_{KH} – угол конца нагнетания.

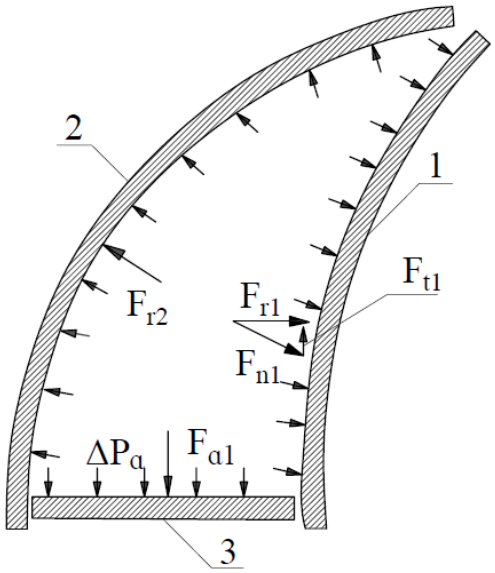


Рис. 1. Замкнутая полость ВКО:
1 – центральный винт, 2 – цилиндрическая часть корпуса, 3 – зуб отсекателя

Исследование сил и моментов, действующих на рабочие органы винтового одноротороного компрессора с окружным профилем зуба отсекателя, позволит создать методику их расчёта, которая позволит рассчитывать деформации рабочих органов компрессора, минимально безопасные зазоры между ними и тем самым гарантировать необходимую прочность и долговечность наиболее ответственных узлов машины.

Библиографический список

1. Сакун И.А., Винтовые компрессоры. – Л.: Машиностроение, 1970. – 400 с.
2. Пронин В.А. Винтовые одноротороные компрессоры для холодильной техники и пневматики: Автореферат диссертации доктора тех. наук. – СПб., 1998. – 30 с.
3. Pronin VA, Kuznetsov YL, Zhignovskaia DV 2018 Features of designing screw compressors for the oil and gas industry // AIP Conference Proceedings, 2007. – pp. 030017.
4. Stosic N, Smith IK, Kovacevic A and Zhang WM 2005: An Investigation of Liquid Injection in Refrigeration Screw Compressors, ICCR the 5th International Conference on Compressors and Refrigeration, Dalian.
5. Heinz P. Bloch A 2006 Practical Guide to Compressor Technology, 2nd Edition // «WILEY». – pp. 4–30. – ISBN: 978-0-471-92952-9.
6. Fleming J, Tang Y and Cook G 1998 The helical twin screw compressor. Part 1: development, applications and competitive position. Proc. Instn. Mech. Engrs., Part C, Journal of Mechanical Engineering Science 212. – pp. 355–367.
7. Tian F, Tao K and Shao J 2010 The Research on Meshing Pair Profile of Single-Screw Compressor, IEEE Computer Society, Wuhan, China.
8. Tang, Y 1995 Computer aided design of twin screw compressors. PhD thesis, University of Strathclyde, Scotland.
9. Xing Z 2000 Screw Compressors: Theory, Design and Application, (in Chinese), China Machine Press, Beijing, China.
10. Excell, J 2013 The rise of additive manufacturing / J.Excell // The Engineer. Retrieved. – pp. 31–56.
11. Pronin V.A., Kuznetsov Y.L., Zhignovskaia D.V., Minikaev A.F., Yerezhep D. Improving methodology calculating the leakages compressible environment in the working part of a screw compressor // AIP Conference Proceedings 2019, Vol. 2141. – pp. 030010.

УДК621.43+621.51

СИСТЕМА РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ МОБИЛЬНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Юша В. Л.[1] Чернов Г. И.[1], Рубцов Д. В.[2], Терентьев С. Л.[2]

[1] *ФГБОУ ВО ОмГТУ (Россия, г. Омск, Пр. Мира, 11)*
[2] *ООО "ЭТАЛОН-Интех" (Россия, г. Екатеринбург, ул. Московская д. 195)*

Компрессорная установка является технологическим агрегатом, в котором вся подведённая механическая энергия практически полностью преобразуется в теплоту, которая отводится в окружающую среду либо в промежуточных и концевых холодильниках, либо в магистрали, подводящей компримированный газ к потребителю [1]. Преобразование этого отбросного тепла в механическую или электрическую энергию и возврат её обратно в установку с целью снижения затрат мощности на привод компрессорной установки является актуальной научно – технической задачей [2].

В данной работе исследуются возможности рекуперации тепла компрессорной установки с использованием абсорбционной холодильной машины. В основе этого способа лежит выражение для мощности адиабатного компрессора

$$N_{K0} = \frac{k}{k-1} \cdot G \cdot R \cdot T_0 \cdot \left(\pi^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right), \qquad (1)$$

Из выражения (1) следует, что при сохранении постоянными расхода газа G и степени повышения давления ($\pi = Const$) мощность, затрачиваемая на привод компрессора, может быть понижена за счёт понижения температуры сжимаемого газа на входе в компрессор T_0 (в этом выражении k – коэффициент адиабаты, а R – газовая постоянная сжимаемого газа).

Понижение температуры газа может обеспечиваться отводом от него тепла, который реализует абсорбционная холодильная машина (АХМ) [3]. При этом теплота, подводимая к АХМ для обеспечения её работы, отводится от компрессора.

В данной работе рассмотрен модернизированный цикл АХМ с ректификацией без дефлегматора, повышенной кратностью циркуляции в генераторе; единым тепловым стоком в абсорбере после преобразователя – эжектора; при использовании рекуперации остаточного тепла источника и конденсации хладагента. Схема компрессорной установки с системой рекуперации тепловых потерь на основе АХМ с модернизированным циклом представлена на рисунке 1.

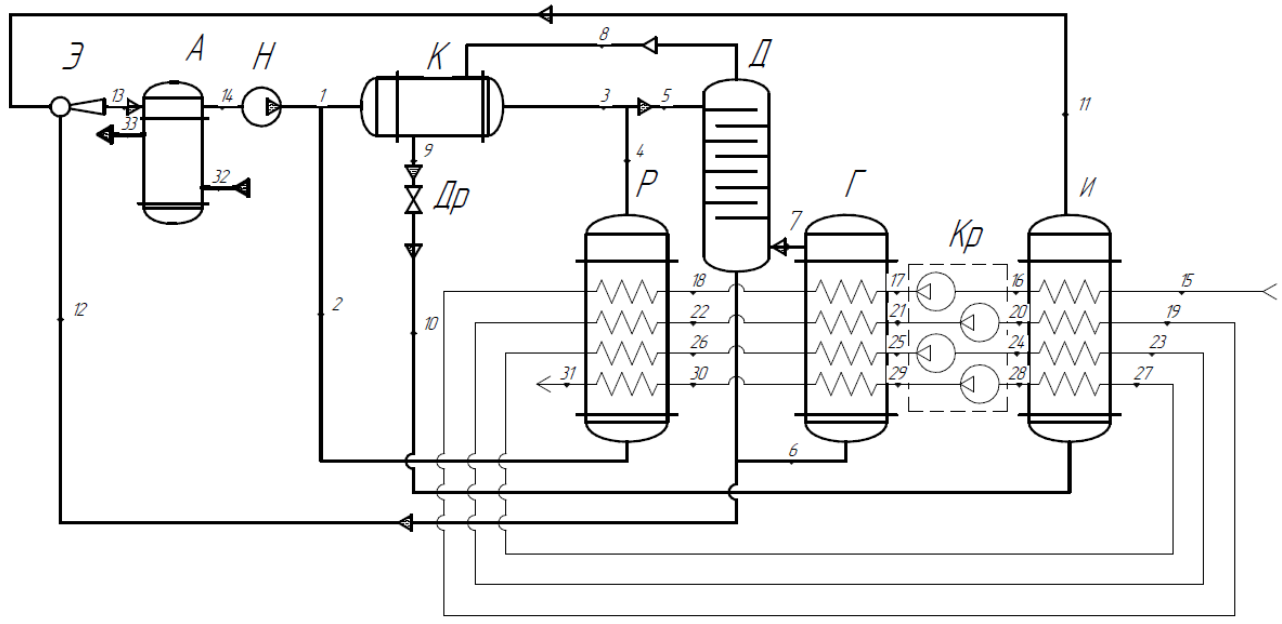


Рис. 1. Схема компрессорной установки с системой рекуперации тепловых потерь на основе АХМ с модернизированным циклом

На это схеме Э – эжектор, А – абсорбер, Н – насос, К – конденсатор, Р – рекуператор, Д – дефлегматор, Г – генератор, Др – дроссель, Кр – компрессор, И – испаритель. Рабочим веществом АХМ является водо – аммиачный раствор. Был произведён по представленной схеме системы рекуперации тепловых потерь расчёт для четырёхступенчатого центробежного турбокомпрессора со степенью сжатия 3,65 в каждой ступени с этом адиабатным КПД 75% и массовым расходом сухого атмосферного воздуха 65 т/ч. Расчёт системы проводился в программе Aspen Hysys. Результаты расчёта показали, что при исходной мощности компрессорной установки 13,45 МВт применение системы рекуперации тепловых потерь на основе АХМ приводит к снижении. Энергопотребления на 14,86 , или на 2,00 МВт. Кроме того, в работе произведён параметрический анализ влияния на экономию энергии таких параметров, как давление раствора после насоса, доля массового расхода раствора, подаваемого после насоса на рекуператор, а также доля массового расхода флегмы, возвращаемой из дефлегматора в генератор.

Библиографический список

1. Поршневые компрессоры / под ред. Б. С. Фотина. – М.: Машиностроение, 1987. – 374 с.

2. В. Л. Юша, Г. И. Чернов, Термодинамический анализ эффективности мобильных компрессорных установок с рекуперацией тепловых потерь : монография. – Омск : Изд-во ОмГТУ. – 2014. – 102 с.

3. Холодильные машины / под ред. Л.С. Тимофеевского. – СПб.: Политехника, 1997. – 992 с.

УДК 621.515

РАЗВИТИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТУПЕНИ МЕТОДОМ УНИВЕРСАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Галеркин Ю. Б.[1], Дроздов А. А.[1], Солдатова К. В.[1], Уцеховский А. А.[1], Соловьёва О. А.[1]

[1] *ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29)*

Лаборатория «Газовая динамика турбомашин» СПбПУ Петра Великого имеет обширный опыт проектирования центробежных компрессоров. Метод универсального моделирования [1] – это комплекс компьютерных программ для расчета характеристик и оптимального проектирования центробежных компрессоров на основе математических моделей КПД и напора. Опыт практического применения позволяет проводить совершенствование математических моделей, лежащих в основе Метода.

Определение безударного режима обтекания лопаток рабочего колеса является важной частью расчета газодинамических характеристик компрессора. На этом режиме направление критической струйки тока (струйки тока, попадающей на входную кромку лопатки) совпадает с входным углом лопаток рабочего колеса. На направление критической струйки тока влияет конечная толщина лопаток и разница давлений на передней и задней поверхностях лопатки, создающая компонент скорости, определяющий перестройку потока. Концепция и схема перестройки потока представлена в [1].

В 8-й версии МУМ была применена следующая формула расчета величины скорости перестройки потока на входе:

$$\Delta\bar{c}_1 = X\frac{\psi_T}{z}\frac{\sin\beta_{л1}}{\left(1-K_{цд}\right)\left(1-\bar{D}_1\right)}. \qquad (1)$$

Эмпирический коэффициент X подбирался индивидуально при идентификации математической модели. Далее на основе подобранных значений была разработана аппроксимирующая формула, для определения значения этого эмпирического коэффициента.

Практика применения показала, что изменение величины эмпирического коэффициента X приводит не только к приближению расчетного режима по МУМ к экспериментальному, но и меняет величину потерь в рабочем колесе на нерасчетных режимах. Причиной этого является то, что моделирование диаграммы распределения скоростей на поверхностях лопаток РК производится по формулам [2]:

$$\bar{w}_{з1} = \bar{w}_1'' + 0.5K_{w1}\Delta\bar{w}X(57), \qquad (2)$$

$$K_{w1} = 2.06\frac{2\bar{b}_1}{1-\bar{D}_1} - 0.261\psi_{Tбу} + 1,69\bar{D}_1^{2.8}, \quad (3)$$

$$\bar{w}_{з2} = \bar{w}_2' + 0.5\left(1.4\bar{D}_{вт} + 0.38 + \left(4.8 - 50\Phi_{бу}\right)(\psi_{Tбу} - 0,75)\right)\Delta\bar{w}, \quad (4)$$

$$\bar{w}_{п1} = \bar{w}_1''. \quad (5)$$

Если $\psi_{Tбу} < 0.6$ то

$$\bar{w}_{п2} = \bar{w}_2' + 0.5\left(-1.45 + 20\ln\Phi_{бу}(0.6 - \psi_{Tбу})\right)\Delta\bar{w}. \quad (6)$$

Если $\psi_{Tбу} >= 0.6$ то

$$\bar{w}_{п2} = \bar{w}_2' + 0.5\left(-1.45 + \left(25\ln\Phi_{бу} + 61\right)(0.6 - \psi_{Tбу})\right)\Delta\bar{w}, \quad (7)$$

Так как по сути эмпирический коэффициент X должен оказывать влияние только на расчетный режим работы ступени, то была предложена новая схема моделирования диаграмм скоростей.

Моделирование диаграммы скоростей производилось для режима работы ступени, соответствующего нулевому углу атаки ступени $i_1' = \beta_{л1} - \beta_1' = 0$.

Успешное применение данной модели для рабочего колеса позволило распространить эту концепцию и на другие лопаточные элементы центробежной компрессорной ступени.

Так же была разработана новая математическая модель расчета параметров потока в тангенциальных выходных устройствах центробежных компрессорных ступеней (круглых и трапециевидных улитках, сборных камерах). В ней был обобщен опыт авторов и анализ литературы, посвященной оптимальному проектированию и расчету тангенциальных выходных устройств.

Была модернизирована математическая модель расчета параметров потока в безлопаточных диффузорах. Граница применимости новой модели была расширена на диапазон диффузоров малорасходных ступеней с относительной шириной до 0.006.

Так же в математическую модель был внесен ряд других уточнений. Получившаяся математическая модель была идентифицирована по результатам испытаний модельных ступеней семейства 20CE, модельных ступеней фирмы «Кларк» и результатов испытаний центробежных компрессоров турбодетандерных агрегатов.

Результаты верификации подтвердили эффективность усовершенствованной математической модели.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10165).

Библиографический список

1. Галеркин, Ю.Б. Турбокомпрессоры. – Изд-во КХТ., 2010. – СПб. – С. 650.

2. Галеркин Ю.Б, Солдатова К.В. Моделирование рабочего процесса промышленных центробежных компрессоров. Научные основы, этапы развития, современное состояние. Монография. – Издательство СПбГПУ, 2011. – С. 327.

УДК 621.515

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОПАТОЧНЫХ ДИФФУЗОРОВ CFD МЕТОДАМИ

Галеркин Ю. Б.[1], Дроздов А. А.[1], Петухов Е. П.[1], Семёновский В. Б.[1], Уцеховский А. А.[1]

[1] *ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29)*

Разработанный в лаборатории «Газовая динамика турбомашин» СПбПУ Метод универсального моделирования в течение многих лет успешно применяется для проектирования компрессоров. Его математическая модель содержит более трех десятков уравнений с более чем шестьюдесятью эмпирическими коэффициентами. В предыдущей версии была усовершенствована модель безлопаточного диффузора – введены

новые уравнения, основанные на обобщении серии CFD расчетов. Аналогичным образом должна быть модифицирована модель лопаточного диффузора.

Для многовариантного CFD исследования лопаточного диффузора выбрана форма лопатки (осесимметричный двухдуговой профиль) и геометрические параметры канала (линейные размеры отнесены к диаметру рабочего колеса): диаметр начала лопаток 1.1, диаметр конца лопаток 1.5, число лопаток по рекомендуемому значению густоты решетки. Условия работы диффузора определяются направлением потока на входе (углом атаки) и критериями подобия Маха (0.5 на входе), Рейнольдса ($1 \cdot 10^5$–$3 \cdot 10^5$) и показателем изоэнтропы.

Рассматривается обобщение расчетных данных для серии диффузоров с параметрами:

– относительная высота лопаток 0.025, 0.045, 0.06 и 0.08,

– входной угол лопаток 15, 20, 25, 30 градусов,

– угол изогнутости лопаток 10, 15 и 20 градусов,

– углы атаки –8...+8 градусов.

В итоге нужное количество CFD-расчетов исчисляется тысячами.

Для проведения расчетов использован программный комплекс Ansys CFX. В большинстве режимов работы течение в лопаточном диффузоре является отрывным. Для качественного разрешения зоны отрыва использована достаточно подробная сетка межлопаточного канала (257 тыс. ячеек) и модель турбулентности k-ω SST с коррекцией кривизны канала.

Рассчитаны характеристики политропного КПД, коэффициента потерь, коэффициента восстановления, отношения скоростей на входе и выходе, угла отставания потока в зависимости от угла атаки. Представлен анализ картины течения в межлопаточных каналах. Увеличение угла изогнутости лопатки приводит к смещению характеристик диффузора в область отрицательных углов атаки. Угол отставания потока практически не зависит от ширины диффузора и растет вместе с углом изогнутости лопатки. В большинстве расчетов узкий диффузор (0.025) показывает более высокие значения характеристик в области положительных углов атаки, что может быть объяснено менее развитым отрывом. Для диффузоров с большим углом входа (25–30°) характеристики не имеют ярко выраженного максимума – в диапазоне углов атаки –4–+4° значения меняются в пределах 5%.

Для построения математической модели необходимо продолжить расчеты лопаточных диффузоров при другой радиальной протяженности и изучить влияние критериев подобия.

Библиографический список

1. Галеркин Ю. Б. и Дроздов А. А., Научно-технический Вестник СПбПУ // Естественные и инженерные науки. – 2015. – № 4 (231). – С. 179–188.

УДК66.023.2

АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТНОВОК НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Евдокимов И. С.[1,2], Земцов А. Е.[1], Титов И. Е.[3], Мартемьянов Д. Б.[1]

[1] Омский государственный технический университет (Россия, Омск, ул. Мира, 11)
[2] АО «Газпромнефть-ОНПЗ» (Россия, Омск, пр. Губкина, 1)
[3] ПАО «ОНХП» (Россия, Омск, бульвар Инженеров, 1)

Нефтеперерабатывающая промышленность играет во многих странах определяющую роль в экономике. Однако технологические установки нефтеперерабатывающих предприятий имеют высокие взрывопожароопасные характеристики.

В настоящее время в связи с внедрением риск-ориентированного подхода и изменением требований в области безопасности технологических установок нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств наметился новый этап в методологии анализа риска аварий на опасных производственных объектах (ОПО) [1–4]. Поэтому на сегодняшний день актуальным является разработка и совершенствование методов анализа опасности и прогнозирования работоспособности технологических установок нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств.

В качестве основных методов анализа опасностей технологических процессов выделяется анализ опасностей и работоспособности (АОР) [1], который в зарубежной и отечественной практике более известен как HAZOP [5–7]. Данный метод позволяет выявить и предупредить отклонения, для которых необходима разработка дополнительных мер, позволяющих осуществлять технологический процесс в штатном режиме.

Целью анализа АОР является идентификация источников опасностей, моделирование сценариев их развития и оценка критичности последствий воздействия на персонал, производство, окружающую среду.

Применение метода HAZOP приобретает принципиально новое и важное значение в связи с определением этой процедуры в качестве требования и рекомендаций в нормативно-методических документах Ростехнадзора [1–3].

Анализ HAZOP является качественным методом исследования возможных отклонений от проектных параметров, при ведении технологического процесса на рассматриваемом объекте. Анализ HAZOP выполняется на основе методологии, изложенной в [5]. Исследование проводится по следующим параметрам технологического процесса и ключевым словам:

поток (увеличение/снижение/отсутствие/обратный);

давление (увеличение /снижение);

температура (увеличение/снижение);

уровень (увеличение/снижение).

По результатам анализа HAZOP определяются рекомендации, направленные на снижение или исключение выявленных отклонений или источника опасности, с учетом их критичности (категории риска). Анализ опасностей технологических процессов с применением методов HAZOP, позволяет провести детальный анализ опасностей инцидентов и аварий, а также получить объективные оценки принимаемых мер безопасности, оптимальности разработанных инженерных, проектно-конструкторских решений.

Библиографический список

1. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. – Сер. 09. – Вып. 37. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. – 127 с.

2. Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. – Сер. 03. – Вып. 73. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2013. – 11 с.

3. Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах: рук. по безопасности: приказ Ростехнадзора от 13 мая 2015 г. № 188. – Сер. 27. – Вып. 8. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015. – 53 с.

4. Жулина С.А., Лисанов М.В., Козельский В.В. Изменения в Общих правилах взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств // Безопасность труда в промышленности. – 2016. – № 10. – С. 48–53.

5. ГОСТ Р 51901.11–2005 (МЭК 61882:2001). Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство. – М.: Стандартинформ, 2006.

6. Применение методов анализа опасностей HAZID и HAZOP при проектировании газотранспортного терминала / М.В. Лисанов, В.В. Симакин, А.И. Макушенко и др. // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – № 8. – С. 63–69.

7. Внедрение методологии анализа опасностей HAZOP при проектировании нефтегазовых объектов компании ТНК-ВР / М.В. Лисанов, В.В. Симакин, Е.В. Ханин, А.П. Елаев // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – № 12. – С. 23–27.

УДК 621.565.3

МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИИ НАПРАВЛЯЮЩИХ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ КОРОТКОГО ДИФФУЗОРА ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Филькин Н. Ю.[1], Глухих А. К.[1], Погорелов К. А.[1], Иванова Ю. А.[1], Ляшко В. А.[1]

[1] *ФГБОУ ВО ОмГТУ (Россия, Омск, Мира, 11)*

На сегодняшний день наибольшее распространение получили воздушные теплообменные аппараты, в конструкции которых используется короткий диффузор (или плоская перегородка). Однако такая конструкция имеет ряд недостатков [1]:

1. Наличие короткого диффузора приводит к вихреобразованию в проточной части аппарата (по охлаждающему воздуху), что приводит к росту аэродинамического сопротивления, а, значит, и энергозатрат на привод вентилятора.

2. Неравномерный обдув теплообменной поверхности за диффузором снижает эффективность теплообменного аппарата в целом, что приводит к переразмериванию теплообменной секции.

В настоящее время появился ряд исследований по решению проблемы применения короткого диффузора в конструкции воздушного теплообменного аппарата. Одно из таких направлений предлагает установку неравномерных направляющих в проточной части диффузора теплообменного аппарата [2], перемещающих большую часть потока охлаждающего воздуха в наиболее нагретую область теплообменной секции, чем достигается повышение эффективности работы всего теплообменника в целом. При этом отсутствуют какие-либо методики выбора числа неравномерных направляющих и угла их установки, т.к. известные на сегодняшний день рекомендации направлены на проектирование равномерно установленных направляющих [3].

Таким образом, задачей представленной работы является разработка методики численного расчета конструкции направляющих в проточной части короткого диффузора воздушного теплообменного аппарата на основании численных и экспериментальных исследований.

Предложенная авторами методика реализована на базе пакета ANSYS CFX. В основе расчетной модели (рис. 1) лежит вертикальный однорядный воздушный теплообменный аппарат с восьмиходовым медным змеевиком. По результатам расчета определяется аэродинамическое сопротивление проточной части воздушного теплообменного аппарата по охлаждающему воздуху, конечная температура воды на выходе из теплообменной секции и тепловая мощность теплообменника по разности температур воды на входе и выходе теплообменной секции. Методика расчета предполагает подбор угла установки направляющих, при котором тепловая мощность будет максимальной, а аэродинамическое сопротивление минимально возможным.

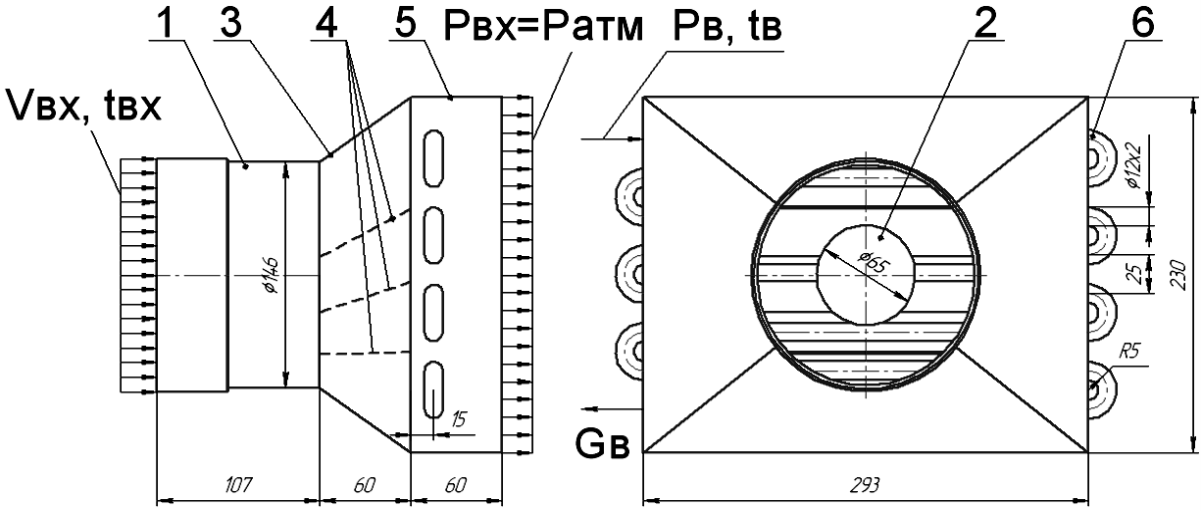


Рис. 1. Расчетная модель воздушного теплообменного аппарата с коротким диффузором:
1 – кольцо вентилятора; 2 – втулка вентилятора; 3 – короткий диффузор;
4 – внутренние направляющие; 5 – корпус; 6 – теплообменная секция

Предложенная методика была верифицирована, и результаты экспериментальных исследований в целом удовлетворительно подтвердили результаты численных расчетов.

Таким образом, предложенная методика численного расчета конструкции направляющих в проточной части короткого диффузора воздушного теплообменного аппарата позволяет определить оптимальное количество направляющих и угол установки каждой из них, что способствует достижению максимальной эффективности теплообменника. Хотя сравнение с экспериментальными данными выявило некоторые расхождения с результатами численных расчетов, предложенная методика позволяет в первом приближении определить конструкцию направляющих, которая впоследствии может быть уточнена опытным путем.

Библиографический список

1. V.L. Yusha, N.Yu. Filkin, A.A. Shipunova, Theoretical analysis of short diffusers implementation efficiency in compact heat exchangers // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines : conference proceeding (2014). Available at: https://ieeexplore.ieee.org/document/7005653?arnumber=7005653&refinements%3D4228429876%26filter%3DAND(p_IS_Number:7005629)=.

2. V.L. Yusha and N.Yu. Filkin, Numerical analysis of gas-dynamic efficiency of the flow part of compact air heat exchangers and filters for mobile compressor units // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2019. – 604. Available at: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/604/1/012038.

3. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М.О. Штейнберга. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

УДК 621:631.84

ВАКУУМНАЯ СУШКА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Копцев Н. Н., Косенков Д. В., Пальцев А. В., Аляев В. А.

ФГБОУ ВО КНИТУ (Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, 68)

Химическая промышленность, растениеводство, животноводство в настоящее время предъявляют высокие требования к чистоте химических веществ и соединений, что требует значительных изменений в существующих технологических процессах.

С целью повышения эффективности и экономичности существующих производств химических веществ, предлагается встраивать в существующие технологические производственные линии модули электрофизической отчески и вакуумной сушки.

В качестве очищаемого вещества выбран карбамид марки А и Б, который имеет широкое применение в различных отраслях народного хозяйства.

Предлагаемый способ очистки и сушки материала позволяет вести процесс без перегрева материала и заключается в распыление (размер капель 20 мкр) мелкодисперсного 32 %-ого водного раствора карбамида в вакууме (до 4 мм рт. ст.), при этом происходит изменение процесса тепло- и массообмена с переходом от послойного к объемному. Скорость сушки вещества при этом возрастает в 5–10 раз.

В качестве пилотной установки для отработки предлагаемого способа очистки и сушки был спроектирован и собран лабораторный стенд (рисунок) вакуумной сушки минеральных удобрений, предназначенный для значительного уменьшения массы исходного материала за счет удаления влаги путем вакуумирования. Его основные технические характеристики представлены в *Таблице 1*. В следствии вакуумирования камеры и подогрева исходного материала, в конце технологического процесса получается готовый продукт (карбамид) с минимальным содержанием влаги (до 3%). Нагрев исходного материала происходит за счет циркуляции подогреваемой воды в «рубашке» камеры 1.

После проведения всех экспериментальных работ предлагается разработать модульную установку для малотоннажного и быстропереналаживаемого производства. Установка будет включать в себя несколько систем: модуль очистки, линию откачки, нагрев камеры, платформу (на которой закреплены камеры, конденсаторы, накопитель) и систему автоматизации. Установка может быть выполнена как во взрывобезопасном, так и в обычном исполнении.

Установки предлагается встраивать в технологические линии, и тем самым меняя технические параметры существующего заводского оборудования в зависимости от выпускаемой продукции. Так на платформу можно ставить один или несколько камер, разной конструкции и объема, встраивать дополнительные аппараты (если меняется выпускаемый продукт), менять место подачи материала (сверху или снизу камеры), состав компонентов и т.д.

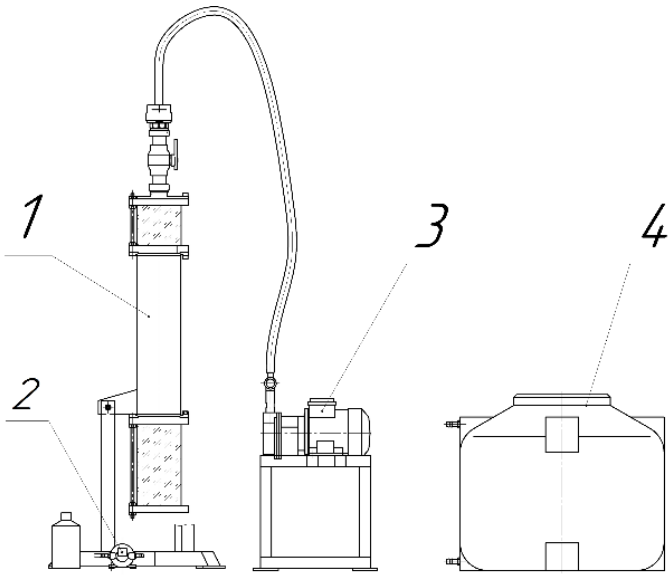


Рис. 1. Стенд вакуумной сушки:
1– вакуумная камера; 2– насос высокого давления; 3 – вакуумный насос;
4 – система оборотного водоснабжения

Таблица 1. Технические характеристики установки

Параметр	Значение
Рабочее давление в камере, мм рт. ст.	760 ÷ 4
Объем камеры, л	100
Рабочий диапазон температур раствора карбамида, °С	20 ÷ 50
Рабочее давление раствора карбамида, атм	10
Расход раствора карбамида в воде, л/ч	1
Макс. расход воды, л/мин	50
Давление воды на входе в установку, Па	$2 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$
Габариты установки, мм	2230×740×1695

УДК 73.01.77, 73.39.31; 50.05.09

ТИПОВОЙ РАСЧЕТ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА В СИСТЕМЕ MATHCAD

Рындин В. В.[1], Гребенкин В. В.[1]

[1] *Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*
(Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64)

В статье приведена программа расчёта магистрального нефтепровода в системе Mathcad, позволяющая автоматически строить *QH*-характеристики трубопроводов и перекачивающих станций, определять положение станций и рабочую точку системы, проводить исследование режимов работы нефтепровода. Дан расчёт эмпирических коэффициентов для напоров насосов по известным значениям *H* и *Q* для двух точек характеристик насосов, а также расчёт обточки рабочего колеса насоса. Цель статьи – привлечь внимание проектировщиков магистральных нефтепроводов к использованию в своих расчётах системы Mathcad. Разработанная программа может быть использована как в курсовом, так и дипломном проектировании, а также в проектных организациях при проектировании и исследовании режимов работы нефтепроводов.

При решении многих математических задач широко используется программирование в средах Fortran, Turbo Pascal, Delphi, Matlab, Mathematica, Maple, Excel и др. При этом для выполнения даже небольших математических расчётов требуется знание основ программирования. При написании формул теряется их наглядность.

Например, на языке Pascal $\sqrt{x}$ записывается как sqrt(x), степень y^x как exp(x*ln(y)) и т. п. Этих недостатков лишена новая математическая система Mathcad – интегрированная математическая система, позволяющая наглядно вводить исходные данные, проводить математическое описание решения задачи в традиционном виде и получать результаты вычислений как в аналитическом, так и в численном виде.

Mathcad является математическим редактором, позволяющим проводить разнообразные научные и инженерные расчеты, начиная от элементарной арифметики и заканчивая сложными реализациями численных методов. благодаря простоте применения, наглядности математических действий, обширной библиотеке встроенных функций и численных методов, возможности символьных вычислений, а также превосходному аппарату представления результатов (графики самых разных типов, мощных средств подготовки печатных документов и Web-страниц).

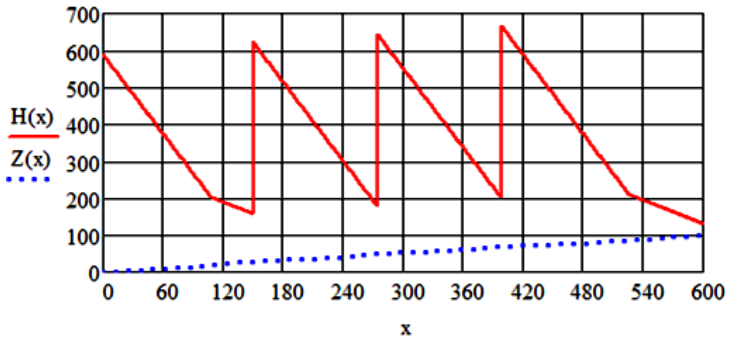


Рис. 1. Расстановка четырёх НПС на МН с двумя лупингами
Z (x) – сжатый профиль трассы; H (x) – линия падения напора

На рисунке 1 приведена кривая профиля трассы $Z(x)$ и зигзагообразная линия полных напоров $H(x)$ для четырёх нефтеперекачивающих станций нефтепровода с двумя лупингами, которая обозначает изменение подачи трубопровода.

Преимущество данной программы перед другими программами заключается в её доступности и возможности любому пользователю изменять её отдельные блоки без изучения логики традиционного программирования.

Данная программа может быть использована как в курсовом, так и дипломном проектировании, а также в проектных организациях при проетировании и исследовании режимов работы нефтепроводов.

Библиографический список

1. Д. В. Кирьянов, Mathcad 13. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 608 с. : ил.

2. Е. Г. Макаров, Инженерные расчёты в Mathcad 15. – Спб. : Питер, 2011. – 400 с. : ил.

3. Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах : учеб, пособие / под общей редакцией Ю. Д. Земенкова. – СПб. : Недра, 2004. – 544 с. : ил.

4. Ю. П. Макушев, Интегральное и дифференциальное исчисления в приложении к технике : монография / Ю. П. Макушев, Т. А. Полякова, В. В. Рындин, Т. Т. Токтаганов. – Павлодар : Кереку, 2013. – 330 с. : ил.

5. П. И. Тугунов, Типовые расчёты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов : учеб. пособие / П. И. Тугунов, В. Ф. Новосёлов, А. А. Коршак, А. М. Шаммазов. – Уфа : ДизайнПолиграфСервис, – 658 с. : ил.

УДК 621.515

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА ВЫСОКОНАПОРНОЙ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТУПЕНИ С ВХОДНЫМ НАПРАВЛЯЮЩИМ АППАРАТОМ МЕТОДОМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

Карабанова В. В., Ваняшов А. Д., Юша В. Л.

ФГБОУВО ОмГТУ (Россия, Омск, пр. Мира, 11)

Высоконапорные центробежные компрессоры и ступени отличают небольшие габариты, высокие значения отношения давлений, большие расходы достигаются за счет увеличения частоты вращения, что определяет появление транс- и сверхзвуковых режимов обтекания лопаток рабочего колеса и диффузора. Из-за этого существенно усложняется структура течения в межлопаточных каналах. Целью данной работы является выполнение проверочного расчета численного моделирования, выполненного методом вычислительной гидродинамики (CFD) с экспериментальными газодинамическими характеристиками высоконапорной центробежной компрессорной ступени при комбинированном методе регулирования, когда характер течения в потоке достигает транс- и сверхзвукового.

В работе использованы результаты экспериментальных исследований центробежной компрессорной ступени с осевым регулируемым входным направляющим аппаратом (ВНА), полуоткрытым осерадиальным рабочим колесом (ОРК), лопаточным диффузором (ЛД) и осевым кольцевым диффузором. Основные геометрические и газодинамические параметры центробежной компрессорной ступени опубликованы в статье [1]. В результате проведенных испытаний получены зависимости $N_{i.пр} = f(G_{пр}, n_{пр})$, $\pi^*_к = f(G_{пр}, n_{пр})$, $\eta^*_{ад} = f(G_{пр}, n_{пр})$ в диапазоне частот вращения от 38 940 об/мин до 28 076 об/мин для 8-ми углов поворота лопаток ВНА.

Численное моделирование выполнялось для всего диапазона регулирования частоты вращения ротора в исходном положении ($\delta\theta_л = 0°$), положительном повороте ($\delta\theta_л = 20°$) и отрицательном повороте ВНА ($\delta\theta_л = -10°$). Выбор параметров расчетной модели исследовался в работе [2].

В результате получено качественное совпадение интегральных характеристик ступени. Минимальное расхождение расчетных и экспериментальных значений получено для диапазона частоты от 28 076 об/мин до 37 538 об/мин для исходного положения входного направляющего аппарата (рис. 1). Для максимальной положительной закрутки потока перед рабочим колесом, что соответствует углу поворота лопаток ВНА $\delta\theta_л = 20$ град, наблюдается смещение кривых по массовому расходу, изменяется и условная линия границы помпажа (крайняя левая точка), однако увеличения расхождения по отношению давлений не происходит.

Поскольку в результате численного моделирования получены наибольшие расхождения с экспериментальными данными на максимальных частотах вращения, соответствующих сверхзвуковому потоку на выходе из рабочего колеса, то данный вопрос требует дополнительного изучения.

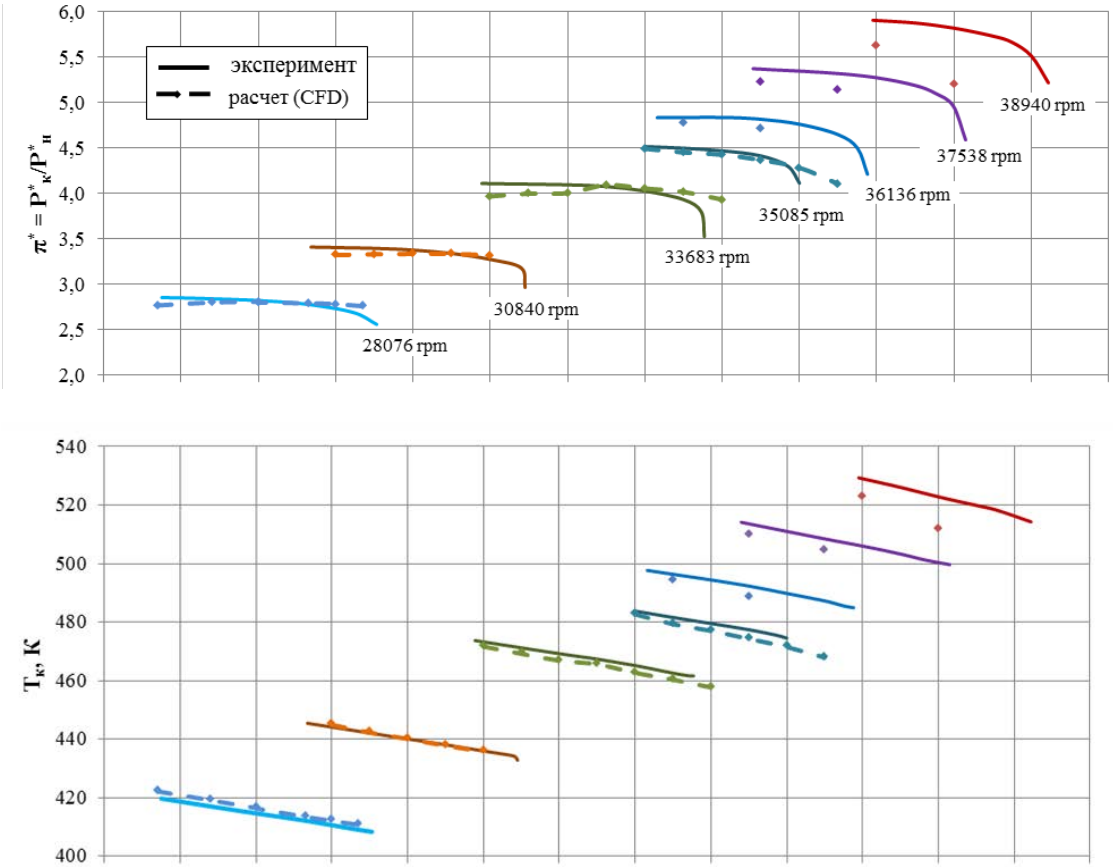


Рис. 1. Сравнение расчетных интегральных характеристик ступени с данными эксперимента для поворота ВНА $\delta\theta_л$ = 0 град

Библиографический список

1. Influence analysis of flow entry conditions on the centrifugal compressor impeller blades to integral gasodynamic characteristics in a combine regulation method / A.D. Vanyashov, V.V. Karabanova, E.M. Vasenko // Procedia Engineering. – 2016. – № 152. – pp. 389–394. – DOI: 10.1016.2016.07.719.

2. Selection of the parameters of CFD calculation model of high-pressure centrifugal compressor stage with the inlet guide vanes / A.D. Vanyashov, V.V. Karabanova // AIP Procedia Engineering 2141, 030013 (2019). – DOI: 10.1063/1.5122063.

3. Assessment of Various Turbulence Models in a High Pressure Ratio Centrifugal Compressor With an Object Oriented CFD Code / Mangani L., Casartelli E., Mauri S. // Journal of Turbomachinery. – 2012. – Vol. 134 (6). 061033. – DOI: 10.1115/1.4006310.

УДК 62-97/-98

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ КЛАПАНОВ ТИХОХОДНЫХ ДЛИННОХОДОВЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТУПЕНЕЙ

Бусаров И. С.[1], Гусельников Д. В.[1], Бурлаков Ю. А.[1], Карпусь В. С.[1], Попков Н. И.[1], Круглей А. О.[1]

[1] *ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (Российская Федерация, г. Омск, пр. Мира, 11)*

В данной работе рассмотрено влияние закона движения запорного органа самодействующего клапана на интегральные характеристики тихоходной ступени ступени.

Решение задачи динамики плапана сводится к построеннию диаграммы движения запорного органа. Из данной диаграммы можно определить некоторые величины, влияющие на интегральные характеристики

поршневого компрессора, такие как: запаздывание открытия и закрытия клапана; величину подъема пластины, через которую возможно определить площадь щели; скорости движения пластины, а так же скорости посадки пластины на седло и ограничитель подъема, а также коэффициент восстановления скорости.

Для построения диаграммы используют различные модели, самой простейшей моделью является модель мгновенного открытия и закрытия запорного органа, которая описана в книге П.И. Пластинина [1].

Более часто используемые модели второго уровня, которые базируются на уравнении динамики запорного органа для одномассовой системы.

$$m_{пл} \cdot \frac{d^2 \overrightarrow{h_n}}{d\tau^2} = \overrightarrow{F_{г,n}} + \overrightarrow{F_{пр,n}} + \overrightarrow{F_{тр,n}} + \vec{G}, \qquad (1)$$

где $m_{ï ë} \cdot \frac{d^2 h_n}{d\tau^2}$ – сила инерции запорного элемента клапана, Н; $m_{пл}$ – масса запорного элемента клапана, кг; $F_{г,n}$ – суммарная сила, действующая на пластину со стороны газа, Н]; $F_{пр,n}$ – сила упругости пружины, Н; $F_{тр,n}$ – сила трения газа, Н; G – вес запорного органа, кг.

Таким образом, решая уравнение (1) при различных подходах к определению кинематики запорного органа получаем результаты, представленные на рис. 1.

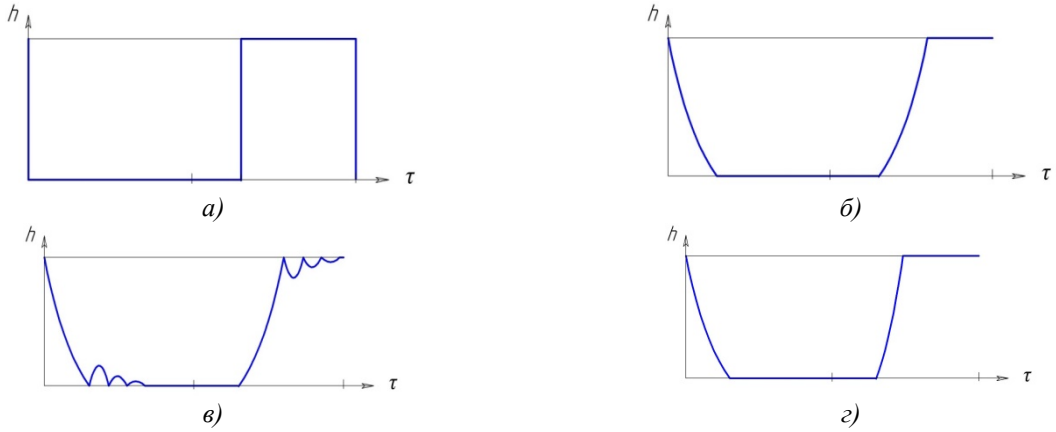


Рис. 1. Диаграмма движения запорного органа:
а – мгновенное открытие клапанов; б – линейное запаздывание;
в – с учётом отскока пластины для быстроходных поршневых компрессоров;
г – для тихоходных поршневых компрессоров

В соответствии с описанной методикой расчёта [2,3] получим:

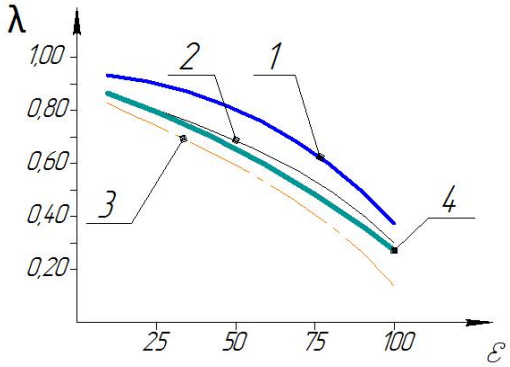


Рис. 2. Зависимость коэффициента подачи от степени повышения давления:
1 – мгновенное открытие клапанов; 2 – линейное запаздывание;
3 – с учётом отскока пластины для быстроходных поршневых компрессоров;
4 – для тихоходных поршневых компрессоров

Проведённые теоретические исследования показали, что качество методики описывающей динамику самодействующих клапанов для тихоходных поршневых агрегатов играет большое значение. Получаемые значения показателей эффективности рабочего процесса поршневой тихоходной машины могут отличаться на 10–20%.

Библиографический список

1. Пластинин П.И. Поршневые компрессоры. Том 1. Теория и расчет. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 2006. – 456 с.

2. Бусаров С.С., Громов А.Ю., Бусаров И.С., Титов Д.С., Васильев В.К. Модернизация методики расчёта процессов теплообмена в рабочей камере воздушного одноступенчатого тихоходного поршневого компрессора среднего давления на основании экспериментальных исследований // Компрессорная техника и пневматика. – 2017. – № 3. – С. 14–18.

3. Busarov, S.S., Busarov, I.S., Titov, D.S. Studies of the Effect of Leaks of the Working Chamber on the Working Process of Long-Stroke Ultra-Low-Speed Piston Compressor and Pump Units // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – Volume 55. – Issue 5-6. – Pages 480–485.

УДК 621.565

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ КИПЕНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ

Фот А. Н., Титов С. А., Барков М. И.

ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»
(Российская Федерация, г. Омск, пр. Мира, 11)

В целях подготовки специалистов высокого уровня в области холодильной и теплообменной техники и предоставления качественных знаний на кафедре ХКТТ разработан стенд (рисунок 1).

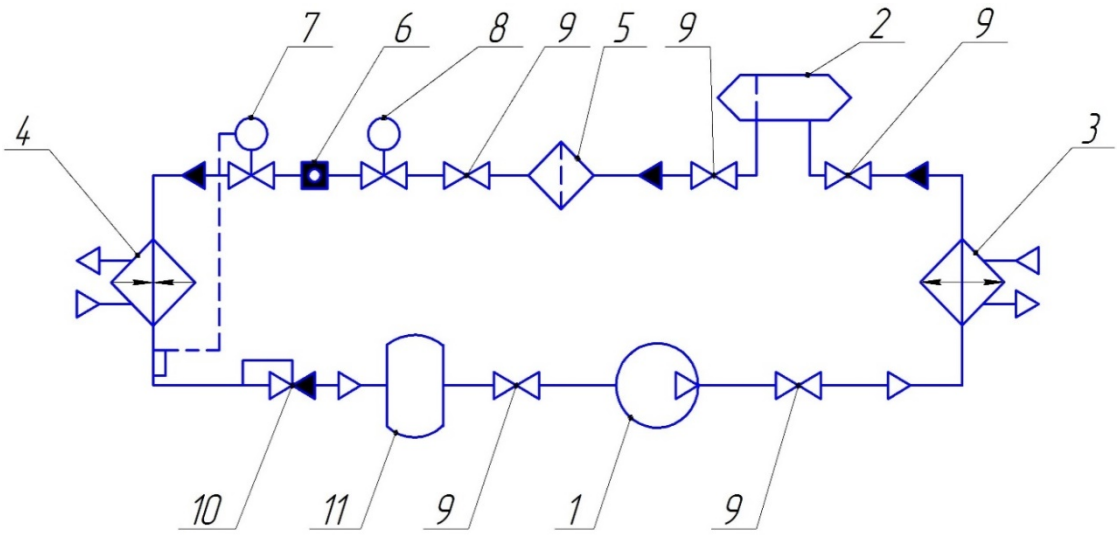


Рис. 1. Пневмогидравлическая схема экспериментального стенда:
1 – компрессор; 2 – ресивер; 3 – конденсатор; 4 – испаритель; 5 – фильтр-осушитель;
6 – смотровое стекло; 7 – терморегулирующий вентиль; 8 – соленоидный вентиль;
9 – шаровой вентиль; 10 – регулятор температуры кипения; 11 – отделитель жидкости

Стенд представляет собой холодильную машину с визуализацией процессов кипения и конденсации. Для наглядности этих процессов испаритель и конденсатор имеют прозрачные поверхности. Испаритель и конденсатор представляют из себя сборную конструкцию из двух латунных плит (позиции 3 и 4 на рисунке 2), в которых вырезаны каналы для прохождения хладагента (позиции 1 и 2 на рисунке 2), и охлаждающей жидкости. Каналы выполнены в виде змеевика. Для разделения хладагента и теплоносителя используется пластина (позиция 5 на рисунке 2) из того же материала, что и плиты. Прозрачные поверхности выполняются из органического или кварцевого стекла (позиции 6 на рисунке 2).

Конденсатор и испаритель принципиально выполнены идентично, отличаются только длиной каналов для теплообменных сред, что обусловлено различными тепловыми нагрузками. Поэтому на рисунке 2 представлен только конденсатор.

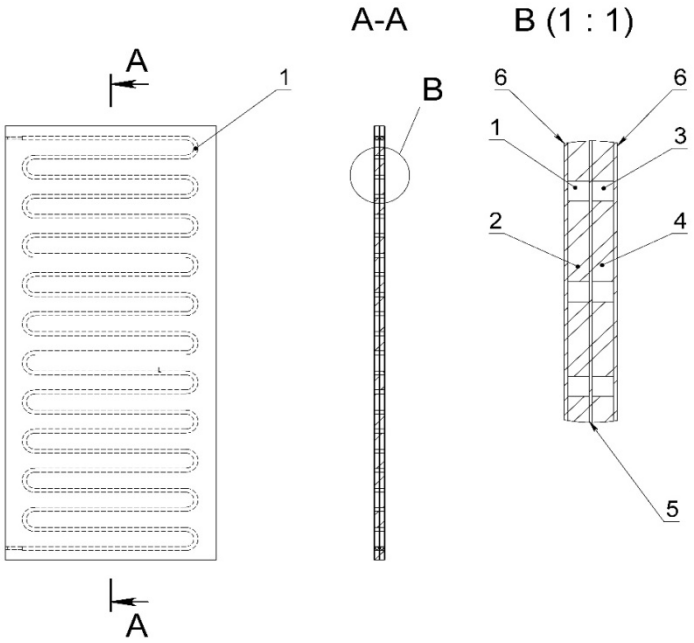


Рис. 2. Конденсатор:
1 – канал для хладагента; 2 – канал для охлаждающей жидкости; 3 – плита хладагента;
4 – плита охлаждающей жидкости; 5 – разделительная пластина; 6 – прозрачная пластина

Наблюдение за процессами кипения и конденсации происходят визуально через прозрачные поверхности, а значения температур и давлений определяются с помощью установленных датчиков в трубопроводах, как показано на схеме (рисунок 1). Данные первичных преобразователей преобразуются и регистрируются в установленной системе мониторинга и выводятся на экран планшета.

Для регулирования подачи хладагента в испаритель предусмотрен терморегулирующий вентиль, поддерживая на выходе из испарителя постоянный перегрев. Так же после испарителя установлен клапан регулятор давления «до себя», который служит для поддержания постоянн температуры кипения.

Изменение давления конденсации обеспечивается регулированием расхода охлаждающей среды.

Наглядные визуализационные стенды, успешно выполняют задачу по подготовке специалистов. С помощью всего многообразия стендов, успешно проводится обучение студентов, а также подготовка и переподготовка специалистов различных уровней, занимающихся эксплуатацией и обслуживанием холодильной техники, с целью контроля уровня профессиональной подготовки и повышения квалификации.

Библиографический список

1. Якобсон В.Б. Малые холодильные машины, 1978. – 368 с.

2. Сакун И.А. Тепловые и конструктивные расчёты холодильных машин. – М., 1987. – 424 с.

3. Температурные измерения. Справочник / Геращенко О.А., Гордов А.Н., Лах В.И. и др. – Киев: Наукова думка, 1984. – 493 с.

УДК 621.575

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ АБСОРБЦИОННЫХ БРОМИСТОЛИТИЕВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

Малинина О. С.[1], Бараненко А. В.[1]

[1] *Университет ИТМО (Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49)*

Абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины (АБХМ) для работы используют возобновляемые источники энергии (ВИЭ) и вторичные энергетические ресурсы (ВЭР), что находится в тренде развития мировой энергетики, ориентированной на увеличение доли названных ресурсов в энергобалансе с целью повышения энергоэффективности и снижения углеродоемкости мировой экономики [1].

Целью работы являлось исследование термодинамических циклов с одно- и многоступенчатыми процессами абсорбции и генерации раствора с внешне связанным потоком массы.

Расчеты выполнялись при следующих исходных данных: температура охлаждаемого источника t_{s1} = 12°C, температура охлаждающего источника составила $t_{w1} = t_{wк1} = t_{wa11} = t_{wa12} = t_{wa13}$ = 20; 25; 30; 35; 40°C, температура греющего источника варьировалась в пределах $t_{h1} = t_{h11} = t_{h12} = t_{h13}$ = (45 ÷ 120)°C, необратимые потери действительного цикла были приняты согласно рекомендациям, изложенным в литературе [2].

Результаты исследования представлены на рисунках 1 и 2.

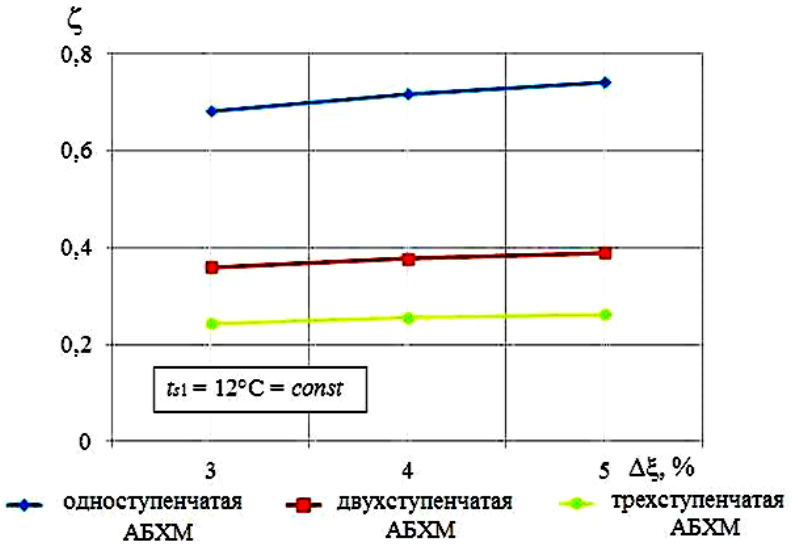


Рис. 1. График зависимости теплового коэффициента от зоны дегазации

Из графика на рисунке 1 видно, что с учетом реальных значений зоны дегазации действительный тепловой коэффициент находится в пределах: для одноступенчатой АБХМ ζ = 0,68 ÷ 0,74, для двухступенчатой АБХМ ζ = 0,36 ÷ 0,39 и для трехступенчатой АБХМ ζ = 0,24 ÷ 0,26.

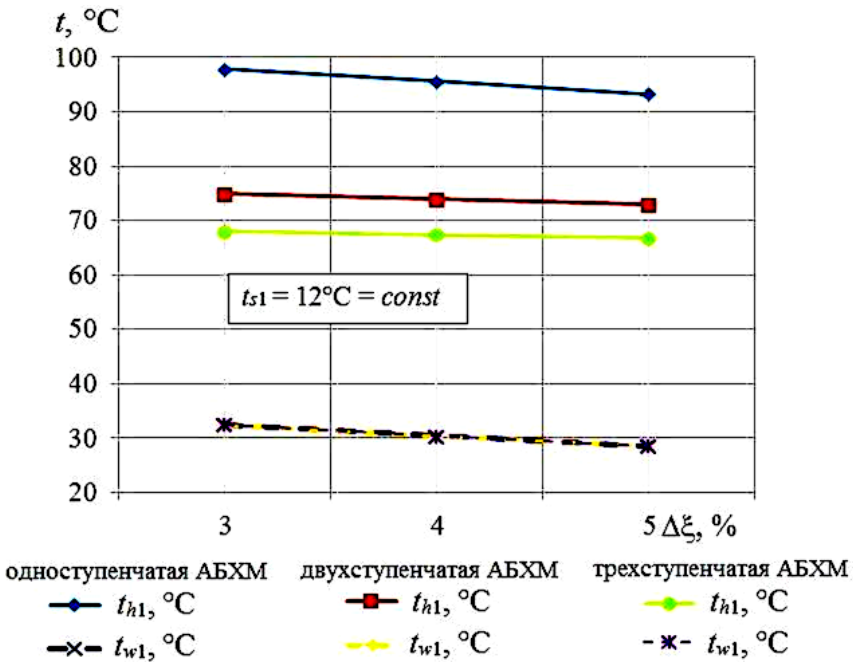


Рис. 2. График зависимости температуры греющего и охлаждающего источников от зоны дегазации

Из графика на рисунке 2 видно, что для реальных значений зоны дегазации циклы осуществимы при температуре охлаждающей среды t_{w1} = (28,5 ÷ 32,4)°C и температурах греющего источника для одноступенчатой АБХМ t_{h1} = (93,3 ÷ 97,9)°C, для двухступенчатой АБХМ t_{h1} = (73,0 ÷ 75,0)°C, для трехступенчатой АБХМ t_{h1} = (66,8 ÷ 68,1)°C.

В результате проведенного исследования, установлено, что изучаемые циклы при условии недопущения кристаллизации раствора и с учетом реальных значений зоны дегазации, а также при величине температуры охлаждаемой воды t_{s1} = 12°С осуществимы при температуре охлаждающей среды t_{w1} = (28,5 ÷ 32,4)°С, температура греющего источника должна составлять: для одноступенчатой АБХМ t_{h1} = (93,3 ÷ 97,9)°С, для двухступенчатой АБХМ t_{h1} = (73,0 ÷ 75,0)°С, для трехступенчатой АБХМ t_{h1} = (66,8 ÷ 68,1)°С. Действительный тепловой коэффициент находится в пределах: для одноступенчатой АБХМ ζ = 0,68 ÷ 0,74, для двухступенчатой АБХМ ζ = 0,36 ÷ 0,39 и для трехступенчатой АБХМ ζ = 0,24 ÷0,26.

Библиографический список

1. Global Energy & CO_2 Status Report 2018 // International Energy Agency. 2019.

2. А.В. Бараненко, Л.С. Тимофеевский, А.Г. Долотов, А.В. Попов, Абсорбционные преобразователи теплоты. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2005. – 338 с.

УДК 621.64+532.528

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО КАВИТАЦИОННОГО ЗАПАСА ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЗАЧИСТКИ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА

Январев И. А.[1,2], Ваняшов А. Д.[1,2], Крупников А.В.[2]

[1] *Омский государственный технический университет (РФ, Омск, Пр. Мира, 11)*
[2] *ОАО «Сибнефтетранспроект» (РФ, Омск, Иртышская набережная, 11 к. 1)*

Требования Международной конвенции о контроле судовых балластных вод и осадков, положения ГОСТ 1510–84 устанавливают цикличность проведения зачистки резервуаров и трубопроводов от нефтепродуктов. Процедура зачистки резервуаров и трубопроводов обуславливает актуальность анализа и соответствующего регулирования параметров системы зачистки (зачистные насосы, запорная и регулирующая арматура) для обеспечения эксплуатационных потребностей трубопроводов и резервуарного парка [1–5].

Центробежные, в том числе зачистные насосы тепловых и атомных электростанций, резервуарных парков, судовых и технологических установок должны иметь межремонтный ресурс работы до 40000 часов [2]. Одним из важнейших направлений на этом пути является устранение кавитационной эрозии лопастей рабочих колёс.

Объектом исследования в общем случае является система зачистки (СЗ) технологических трубопроводов, проложенных от основных резервуарных парков до нефтепирса путем перекачки нефтепродкутов в специальный резервуарный парк, состоящий из «верхнего» и «нижнего» резервуара.

Кавитационный запас насоса устанавливался как минимальное давление жидкости на входе в насос, при котором насос не кавитируется. Он определялся в виде параметра NPSHr (Net Positive Suction Head Required) – требуемый кавитационный запас насоса. Для бескавитационной работы насоса должно соблюдаться условие, чтобы допускаемый кавитационный запас системы (система трубопроводов на входе в насос) NPSHa (Net Positive Suction Head Available) превышал требуемый кавитационный запас насоса как минимум на 0,5 метра. Регулирование параметров зачистного насоса проводилось путем снижения его производительности, что реализовывалось различными способами.

При оценке кавитации и её регулирования были рассмотрены:

– различные рабочие среды (бензины с различными значениями упругости паров при температуре 37,8°С, дизельное топливо, нафта);

– различные уровни заполнения трубы технологического трубопровода;

– различные характеристики насоса (по паспортным данным, по испытаниям) при различных частотах вращения.

– различные значения фитинга-врезки зачистной в основную трубу.

В результате исследований были определены графики зависимостей требуемой производительности насоса (при безкавитационном режиме работы) от уровня заполнения основной трубы технологического трубопровода для различных рабочих сред.

Проведена оценка возможностей успешного регулирования производительности насоса для различных рабочих сред и определены его пределы.

Проведена оценка различных способов регулирования производительности насоса (дроссельное регулирование, регулирование байпасом, регулирование скорости вращения). Определены возможности безкавитационной работы запорной и регулирующей арматуры.

На основании анализа полученных результатов в качестве самого эффективного определен способ регулирования путем изменения скорости вращения насоса при помощи преобразователя частоты. Его эффективность подтверждается обеспечением безкавитационного режима даже для самого малого заполнения основной технологической трубы всеми видами рабочих сред при минимальном потреблении мощности.

Библиографический список

1. Подволоцкий, Н. М. Определение рабочей точки для судовых трубопроводных систем аналитическим способом / Н. М. Подволоцкий // Транспорт российской федерации. – 2013. – № 1. – С. 68–70.

2. Тимушев, С. Ф. Определение коэффициента начальной кавитации в центробежном насосе методом вычислительного эксперимента / С. Ф. Тимушев, С. Ю. Федосеев // Вестник МАИ. – 2012. – № 1. – С. 89–93.

3. Подволоцкий, Н. М. Регулирование подачи центробежного насоса перепуском / Н. М. Подволоцкий // Транспорт российской федерации. – 2017. – № 3. – С. 51–54.

4. Yanvarev, I. A. Thermal analysis elements of liquefied gas storage tanks / I. A. Yanvarev, A. V. Krupnikov // AIP Conference Proceedings. – 2017. – №1876, 020029. – P. 020029-1–020029-8.

5. Беккер, Л. М. К вопросу возможности снижения допускаемого кавитационного запаса нефтяных магистральных насосов / Л. М. Беккер, И.В. Щербатенко, А. С. Иванин // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2015. – № 5. – С. 32–37.

УДК621.521

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ ТИПА РУТС, ОСНОВАННОГО НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ БАЛАНСЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТЕЛА ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ

Исаев А. А.[1,2], Райков А. А.[1], Бурмистров А. В.[1], Саликеев С. И.[1], Капустин Е. Н.[2], Голоднов С. Ю.[2]

[1] *Казанский национальный исследовательский технологический университет, (Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, 68)*

[2] *АО Вакуммаш (Россия, г. Казань, ул. Тульская, 58)*

Введение

Стремительное развитие микроэлектроники, медицины, пищевой промышленности, энергетики и индустрии упаковки требует безмасляного вакуума. Безмасляный низкий и средний вакуум чаще всего получают с помощью мембранных, спиральных, винтовых и двухроторных насосов. Каждому из них присущи свои преимущества и недостатки, однако увеличение объемов откачиваемых камер, например, в металлургии или при имитации космического пространства требует большой быстроты безмасляной откачки. В этой связи очень актуально применение двухроторных вакуумных насосов (ДВН), которые имеют производительность до 40000 м3/ч, агрегатируются как с насосами с масляным уплотнением, так и с «сухими» насосами.

Для модернизации и проектирования безмасляных бесконтактных вакуумных машин, включая ДВН типа Рутс, необходимо применение математического моделирования рабочих процессов, поскольку именно математическое моделирование позволяет прогнозировать влияние геометрических параметров машины на процесс откачки.

Впервые метод расчета откачных характеристик машины Рутса, работающей в вакуумном режиме, предложен Ван-Атта в работе [1].

Прямой поток практически во всех работах рассчитывается одинаково [1–4]. А вот методы нахождения проводимостей каналов и особенно учета скоростной составляющей обратных перетеканий чрезвычайно разнообразны.

В работе [1] предлагается находить «обратную быстроту откачки» на основании экспериментальных зависимостей. То есть данный метод не позволяет определить откачные характеристики на этапе проектирования насоса и предполагает изготовление и испытание опытного образца для снятия кривой противодавления.

В работе [2] предлагается получить «обратную быстроту откачки» для молекулярного режима расчетным путем, без привлечения экспериментальной зависимости.

В работах [3, 4] насос типа Рутс представляется как объемно-скоростное средство откачки. Предлагается определять «обратную быстроту откачки» на основе теории классических молекулярных насосов.

Все вышеперечисленные методы расчета основных откачных характеристик вакуумных насосов типа Рутс обладают одним общим существенным недостатком, а именно в них используются усредненные по углу поворота ротора параметры газа (давление и температура) в рабочей полости насоса и на входе и выходе. Тем самым, ухудшается точность расчёта обратных перетеканий газа, которые определяют точность расчета откачной характеристики.

Совместить точность с относительно высокой скоростью расчета позволяет подход, основанный на решении уравнений состоянии и сохранения энергии в дифференциальной форме, другими словами, уравнений «тела переменной массы». Такие уравнения получены в работе Мамонтова М. А. [5]

Выводы

Проведен обзор существующих методик расчета характеристик насосов типа Рутс. Оптимальной для проведения проектировочных расчетов является методика, основанная на решении дифференциальных уравнений состояния системы с переменной массой. Разработана модель рабочего процесса исключающая необходимость использования эмпирического коэффициента заполнения и тем самым расширяющая область применения модели.

Библиографический список

1. Van-Atta C. M. Theory and performance characteristics of a positive displacement rotary compressor as mechanical Booster vacuum-pump // Nat. Sympos. Vacuum Technol. – Trans. London, New York, Paris, Pergamon Press, 1957. – P. 62–70.

2. В. И. Кузнецов. Объемный КПД двухроторных насосов // Физика и техника вакуума. – Казань, 1974. – С. 177–185.

3. Бурмистров А.В., Беляев Л.А. Концепция объемно-скоростной откачки. Метод расчета двухроторных вакуумных насосов // Вакуумная техника и технология. – 2002. – Т. 12, № 2. – С. 85–90.

4. Бесконтактные вакуумные насосы: учебное пособие / А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев; Федер. Агенство по образованию. Казан. гос. технол ун-т. – Казань: КГТУ, 2010. – 104.

5. Мамонтов, М. А. Вопросы термодинамики тела переменной массы / М. А. Мамонтов. – Тула : Приокскоекнижн. изд-во, 1970. – 87 с.

УДК 621.512, 621.22-225

СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ТРУБОПРОВОДАХ ТИХОХОДНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Бусаров С. С.[1], Дёмин И. С.[1], Кобыльский Р. Э.[1], Зуев С. А.[1], Кузьмицкий А. А.[1]

[1] *ФГБОУ ВО «Омский Государственный Технический Университет»*
(Российская Федерация, Омск, пр. Мира, 11)

Пульсации давления газообразной среды приводят к значительному росту гидравлического сопротивления трубопроводов и снижению их пропускной способности, увеличению нагрузок на элементы трубопровода и присоединенного оборудования, искажению показаний измерительных приборов и нарушению работы систем регулирования, вызывают вибрацию трубопроводов и увеличение уровня шума, приводят к повреждению трубопроводов, нарушению герметичности уплотнений, что особенно опасно при работе с взрывоопасными, токсичными, воспламеняющимися и радиоактивными средами за счёт возникновения резонансных явлений.

Аспект пульсации давления особенно актуален для таких систем, как паропроводы мощного энергетического оборудования, где амплитуды пульсации давления достигают 2,5 МПа; магистральных газопроводов для транспортировки природного газа, где вблизи нагнетательных установок фиксируются вибрации трубопровода амплитудой до нескольких миллиметров.

Для уменьшения либо полного нивелирования резонанса на системы трубопроводов применяются различные методы гашения пульсаций. Наиболее распространенными являются:

1. Проектирование трубопроводов на основе акустического расчета.
2. Установка буферных емкостей и акустических фильтров.
3. Установка диафрагмы.

Для тихоходных компрессорных ступеней, разрабатываемых в настоящее время [2] такие исследования не проводились.

Проектирование трубопроводов на основе акустического расчета.

Длина трубопровода компрессора $l_к$ = 1м, время цикла T = 2с.

Резонансная частота вращения коленчатого вала [1]:

$$n_{0р} = \frac{2z+1}{m} \frac{a_{зв}}{4l},$$

где z = 0 – порядок тона, l – длина трубопровода, m – порядок резонирующей гармоники, $n_{0р}$ = 0,5, откуда l = (369·2)/4 = 184,5 м.

Необходимое условие отстройки:

$$0{,}8 < \frac{mn_0}{f_0} < 1{,}2, \quad (1)$$

где n_0 – частота вращения коленчатого вала, с; f_0 – частота свободных колебаний столба воздуха, Гц.

Подставляя имеющиеся значения в выражение (1), получаем:

$$0{,}00271 < 0{,}8.$$

Таким образом, установлено, что при имеющихся параметрах резонанс возникает при длине трубопровода, равной 184,5 м, что значительно превышает действительные размеры компрессорной установки.

Установка буферных емкостей и акустических фильтров.

По номограмме [1] находят отношение времени нагнетания ко времени одного оборота вала и определяем отношение $V_б/Vs$ величины буферной емкости на нагнетании к объему газа.

При значениях r_1 = 0,1; k = 1,4; δ = 0,058; получаем $V_б/V_s$ = 25.

При V_s = 0,002 м3, $V_б$ = 0,05 м3.

Исходя из полученных результатов, объем буферной емкости превышает объем цилиндра в 25 раз, что отрицательно сказывается на габаритах компрессорной установки.

Установка диафрагмы.

Потеря давления на диафрагме [1]:

$$\Delta p_Д = \xi_Д \frac{w_Д^2}{2} p, \quad (2)$$

где $\xi_Д$ – сопротивление диафрагмы = $(1+0{,}07\sqrt{1-\frac{F_Д}{F_{тр}}})2\ (\frac{F_{тр}}{F_Д} - 1)2$, где $F_Д$ и $F_{ТР}$ – площади сечений отверстия диафрагмы и трубы (максимальное гашение амплитуды колебаний давления достигается при $F_Д / F_{ТР}$ = 0,25) ; $w_д$ – скорость газа в диафрагме; p – плотность газа.

$$\Delta p_Д = (1+0{,}07\sqrt{1-\frac{F_Д}{F_{тр}}})2(\frac{F_{тр}}{F_Д} - 1)2 \frac{w_Д^2}{2} p = (1+0{,}07\sqrt{1-0{,}25})2\ (4-1)\cdot\ 2\cdot \frac{303{,}76\cdot 303{,}76}{2} \cdot 1{,}2 = 561\ 000\ Па.$$

При установке диафрагмы потери давления составят: 561000/10000000 · 100% = 5,61%.

Полученные результаты свидетельствуют о превосходстве метода проектирования трубопровода на основе акустического расчета, т.к. прибегая к этому методу, можно обойтись без установки дополнительного оборудования.

Библиографический список

1. П. И. Пластинин, Поршневые компрессоры. Том 1. Теория и расчет. – 3-е изд., доп. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.

2. Юша В.Л., Бусаров С.С. Перспективы создания малорасходных компрессорных агрегатов среднего и высокого давления на базе унифицированных тихоходных длинноходовых ступеней / Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2018. – Т. 24. – № 4. – С. 80–89. – DOI: 10.18721/JEST.24408.

УДК 621.65.03

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСКОВЫХ РАБОЧИХ КОЛЕС В МАЛОРАСХОДНЫХ НЕФТЯНЫХ НАСОСАХ

Жарковский А. А., Иванов О. А., Клюев А. С.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29)

Актуальность. В нефтедобывающей промышленности широко используются погружные центробежные электронасосы (ЭЦН) [1]. Ступени ЭЦН с низкими расходами $Q = (5 \div 20)$ м^3/сутки имеют низкий напор и КПД, форма напорной характеристики часто имеет «западающий» характер. Дисковые насосы [2], являющиеся насосами трения, хорошо зарекомендовали себя в области перекачивания высоковязких жидкостей и хорошо работают в области малых расходов. Поэтому возникает вопрос о возможности их использования в ступенях погружных нефтяных насосов.

Цели и задачи работы. Была поставлена задача исследовать возможность применения дискового рабочего колеса в погружных нефтяных насосах низкой производительности. Для этого было решено использовать дисковое рабочее колесо, имеющее следующие ограничения: максимально возможный наружный диаметр диска $D_2^{max} = 71{,}5$ мм, частота вращения $n = 2910$ об/мин. Именно такие параметры характерны для рабочих колес ЭЦН, используемых при добыче нефти из малодебитных скважин. Диапазон расходов, принятый для расчетных исследований $Q = 5 \div 75$ м^3/сутки.

Методы. Для выполнения гидродинамических расчетов был использован гидродинамический пакет программ ANSYS CFX [3]. С целью экономии вычислительных ресурсов расчет проводился в стационарной постановке. Была принята $k - \varepsilon$ модель турбулентности. При использовании этой модели система уравнений дополняется двумя уравнениями, описывающими перенос кинетической энергии турбулентности (k) и скорости диссипации (ε). Граничные условия: на входе в расчетную область – полное давление, на выходе – массовый расход жидкости. Рабочая жидкость – вода.

Результаты. Модель дискового рабочего колеса состоит из двух дисков толщиной $\delta = 1$ мм, установленных в корпусе, внутренний диаметр которого составляет $D_{вн} = 75$ мм. Расстояние между боковыми поверхностями дисков и корпусом составляет $a = 1$ мм. Внутренний диаметр дисков $D_1 = 25$ мм, наружный диаметр дисков $D_2 = 71{,}5$ мм. Гидродинамический расчет течения вязкой жидкости выполнен в диапазоне расходов $Q = (5 \div 75)$ м^3/сутки. Исследовано влияния величины осевого зазора между дисками на характеристики рабочего колеса – зависимости напора H и гидравлического КПД от подачи Q (рис. 1) для различных расстояний между дисками b_i.

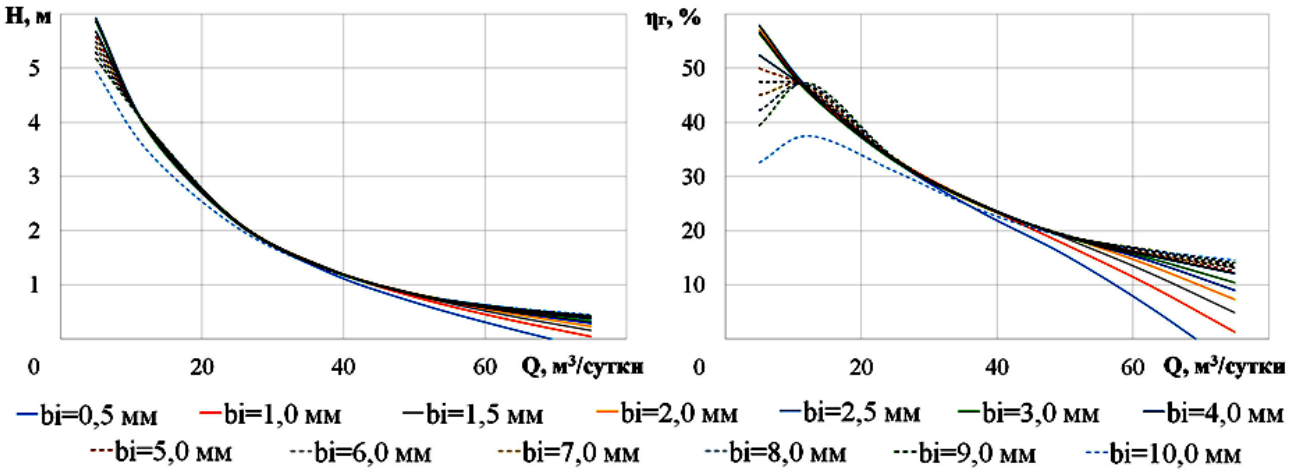


Рис. 1. Зависимость напора и гидравлического КПД рабочего колеса от подачи

Проведенные расчеты показали, что наиболее эффективно использование дисковых колес в ступени погружного нефтяного насоса в области подач менее (20–25) м^3/сутки. При таких подачах напор и гидравлический КПД ступени с дисковым колесом выше, чем у аналогичной ступени нефтяного погружного насоса с центробежным рабочим колесом. Оптимальное значение расстояния между дисками при подачах до (20–25) м^3/сутки находится в диапазоне $b_i = (3{,}0 \div 4{,}0)$ мм, так как при увеличении b_i происходит западание энергетической характеристики, а значение $b_i < 3{,}0$ мм не рекомендуется из-за возможности возникновения

парафиновых отложений. Форма напорной характеристики ступени с исследованным дисковым колесом имеет непрерывно падающий характер в отличие от ступени насоса с центробежным рабочим колесом.

С целью снижения входных и выходных потерь в дисковом рабочем колесе было исследовано влияние углов заточки входных и выходных кромок дисков в широком диапазоне при подаче 15 м^3/сутки; расстояние между дисками 4,0 мм. Результаты показали, что необходимо заострять входные кромки дисков на угол $\alpha_{Д1} = 30°$, а выходные кромки оставлять без заострения.

Также было исследовано оптимальное число дисков в ступени насоса при подачах (10–25) м^3/сутки. Наиболее предпочтительное число дисков в ступени насоса составляет i = 10, так как данный вариант обладает более высокими показателями по напору и КПД, которые выше, чем у имеющихся аналогов.

Библиографический список

1. Богданов А.А. Погружные центробежные электронасосы для добычи нефти (расчет и конструкция). Изд-во «Недра», 1968. – 272 с.
2. Мисюра В.И., Овсянников Б.В., Присняков В.Ф. Дисковые насосы. – М.: Машиностроение, 1986. – 112 с.
3. ANSYS CFX User's Guide Release 17.1 ANSYS, Inc. 2016.

УДК 519.8

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ

Доронина Ю. В.[2], Маловик К. Н.[1], Скатков А. В.[2]

[1] *Омский государственный технический университет (РФ, Омск, Проспект мира, 11)*
[2] *Севастопольский государственный университет (РФ, Севастополь, у. Университетская, 33)*

Для принятия решений по своевременности и снижению интенсивности ремонтов нефтегазового оборудования (НГО) целесообразно иметь механизм управления режимами эксплуатации в рамках заданных условий: $|R_N - R_t| < \varepsilon$, где R – вектор рабочих режимов НГО; R_N – вектор номинальных режимов НГО, N – конечное множество номинальных режимов, R_t характеризует мгновенный «снимок» текущего режима НГО [1]. Таким образом, вводится в рассмотрением множества векторов $R_N^i, i = \overline{1, I}$, где I – количество реализаций исследуемого процесса.

Для оценки системной динамики в подобных задачах рекомендовано применение моделей Маркова (ММ), но не во всех случаях результаты оказываются репрезентативными и достоверными, в связи с чем целесообразно развивать механизмы решения задач анализа динамики состояний НГО с учетом оценки качества решений в рамках ММ. В исследовании рассматривается ММ без поглощающих состояний в рамках квазистационарного режима. В процессе имитационного моделирования для формирования качественных результатов требуется решение задач оптимизации объема выборки и анализа статистической устойчивости моделей. Мера статистической устойчивости (СУ) ММ может быть определена различными способами в зависимости от целей исследования и типа исследуемого объекта. При статистических испытаниях для достижения наилучшего результата предполагается проведение достаточного количества запусков модели [2]. В качестве оценочного параметра авторами принята γ^{M_x}, представляющая интерес для исследования статистики по полученным результатам экспериментов θ; $\tilde{\gamma}$ – заданная ЛПР оценка статистики модели M_x; $\Delta\gamma$ – мера близости текущей и заданной оценок статистики модели M_x. Тогда, оценка СУ ММ имеет вид: $\left|\gamma^{M_x}(\theta(\cdot)) - \tilde{\gamma}\right|_{\varepsilon,p} \le \Delta\gamma$, где p – вероятность оценки параметров, ε – точность модели.

При наличии у ЛПР требований к точности оценке показателей режимов НГО в диапазоне $\varepsilon = 0.01..\ 0.025$ и ресурса, позволяющего проводить не более, чем $k = 20$ репликаций ММ при изменении числа итераций от 100 до 200, на рис. 1 схематически показан принцип, позволяющий принимать решения по дополнительному проведению профилактических работ НГО с учетом роста числа отказов.

Оценки, полученные в результате вычислительного эксперимента для приведенного примера, показали (рис. 1), что, например, для $\varepsilon = 0.015$ оценка достоверности СУ ММ анализа состояния НГО колеблется от 0,67 до 0,81 при различных размерностях выборок. Это существенно при принятии решений о наличии

предотказных состояний, планировании профилактических работ с учетом роста отказов НГО. С учетом введенных определений и свойств СУ в примере модель может считаться достоверной при $\varepsilon = 0.015, n = 100, k = 20$ [2].

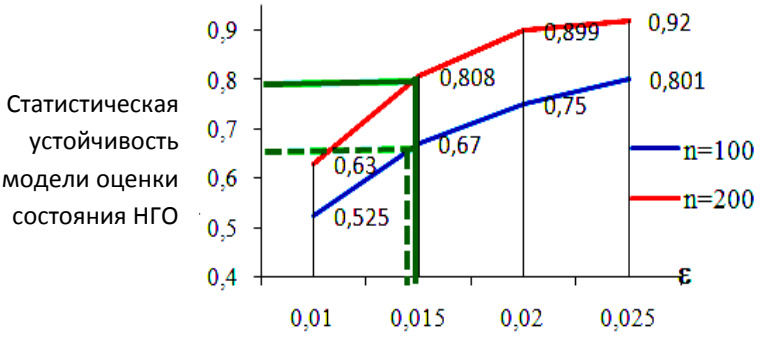


Рис. 1. Оценки статистической устойчивости модели при изменении числа реплицированных переходов с учетом роста отказов НГО

Оценка состояния НГО, безусловно, важная задача, связанная с вложением средств на проведение ремонтно-профилактических работ, что в некоторых случая может быть затруднительно или невозможно в связи с пространственными особенностями функционирования НГО. Моделирование состояния НГО должно опираться на достоверные и качественные модели, что может быть оценено мерой статистической устойчивости квазиоднородной ММ. Предложенный конструктивный подход позволил получить оперативный инструмент и может служить основой для построения системы принятия решений по параметрической и функциональной настройке режимов эксплуатации НГО на долгосрочную и краткосрочную перспективы.

Библиографический список

1. The Application Efficiency Analysis of the Main Heat Carrier as the Mobile Compressor Unit Recovery System Elements «Active» Thermal Insulation [Electronic resource] / V. L. Yusha, G. I. Chernov, A. M. Kalashnikov // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 2007, № 1. – P. 030030. – DOI: org/10.1063/1.5051891.

2. Доронина Ю. В., Скатков А. В. Анализ статистической устойчивости стационарных марковских моделей Труды СПИИРАН. – 2019. – № 5(18). – С. 1119–1148. – DOI: 10.15622/sp.2019.18.5.1119-1148.

УДК621.43 + 621.51

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РОСТА ДАВЛЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ И СТЕПЕНИ ИЗОЛЯЦИИ ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА НА ВЕЛИЧИНУ ЕГО ВНЕШНИХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ

Калашников А. М.[1], Чернов Г. И.[1], Юша В. Л.[1], Капелюховская А. А.[1]

[1] *ФГБОУ ВО ОмГТУ (Россия, Омск, Мира проспект, 11)*

Наиболее энергоёмкими промышленными отраслями с высок уровнем тепловых потерь являются металлургия, химическое производство, производство цемента, металлообрабатывающие производства [1]. Например, на сталелитейных предприятиях крупнейшим потребителем энергии является плавильная печь. В ней тепловые потери составляют значительную часть расхода электроэнергии, в особенности в период выдержки металла, и могут достигать ~35–40%, что обусловлено функциональными особенностями печи. Возврат этой тепловой энергии в технологическую схему или на нужды предприятия могут существенно повысить эффективность всего предприятия. Возврат отбросной тепловой энергии обратно в технологический цикл в виде механической или электрической энергии осуществляется с использованием систем рекуперации тепловых потерь (СРТП), одним из основных элементов которых является теплообменный аппарат, собирающий и вводящий в СРТП отбросное тепло. Это значит, что эффективность системы рекуперации во многом зависит от эффективности рекуперативного теплообменника [2]. Эффективность теплообменного

аппарата определяется, с одной стороны, эффективностью передачи тепла от одного потока к другому, а с другой стороны – потерями тепла от теплообменного аппарата в окружающую среду. Величина внешних потерь теплообменника также зависти от внутренних процессов передачи тепла между вещественными потоками теплообменника. Одним из параметров потока, влияющих на величину внешних тепловых потерь, является его давление.

В данной работе выполнен анализ влияния рабочего давления воды величину внешних тепловых потерь кожухотрубного теплообменного аппарата СРТП на основе парового цикла Ренкина.

Объектом исследования являются рекуперативный противоточный кожухотрубный теплообменный аппарат, имеющий длину 2,1 м.

Анализ теплообменных процессов в рекуперативном ТА проводился на базе уравнений, содержащиеся в пакете ANSYS Fluent.

На рисунке 1 представлено отношение значения тепловых потерь (в ваттах) с внешней поверхности кожуха рекуперативного ТА к избыточному давлению воды на входе в ТА (температура газа на входе 600 ^{o}C), с учетом разной степени изолированности (толщина изоляции 20 мм).

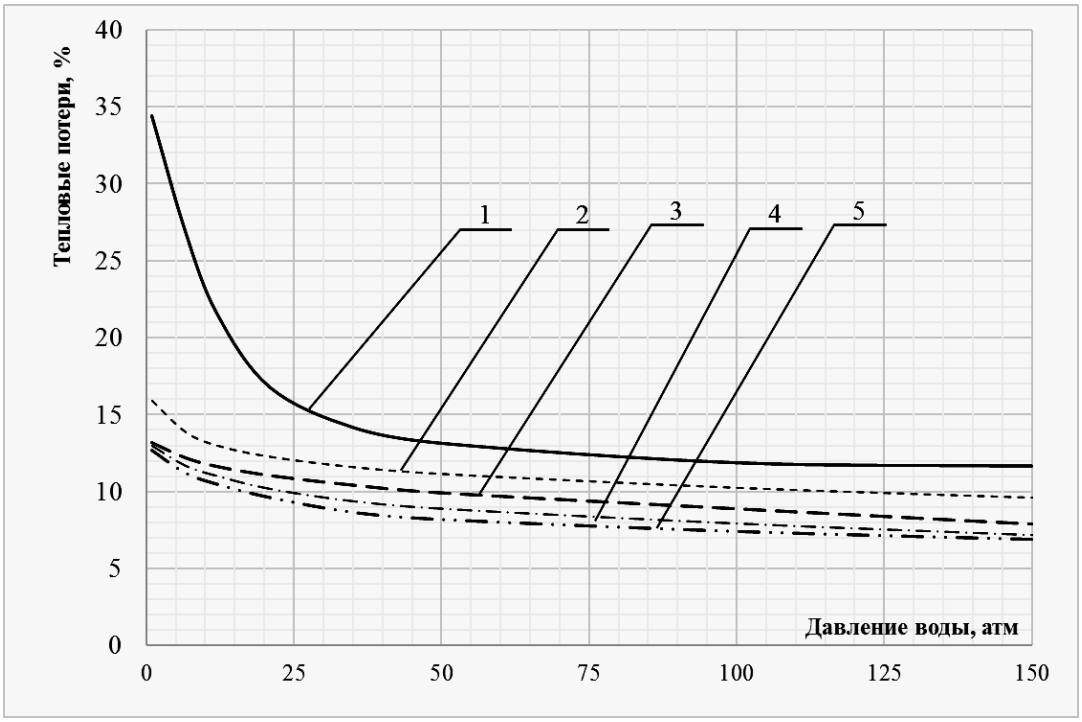


Рис. 1. Зависимость относительных тепловых потерь [%]
с внешней поверхности кожуха рекуперативного ТА от избыточного давления воды
при разной степени изолирования кожуха и без изоляции:
1 – 0%; 2 – 25%; 3 – 50%; 4 – 75%; 5 – 100%

На основе графиков рисунка 14 также можно сделать вывод, что с ростом избыточного давления воды величина тепловых потерь уменьшается с ~40% до ~8% (при температуре газа на входе 800^{o}C) и ~34% до ~7% (при температуре газа на входе 600^{o}C) при изменении степени изолирования поверхности кожуха с 0% до 100% и изменения давления воды с 1 до 150 атмосфер соответственно. Это объясняется тем, что рост давления воды приводит к увеличению её температуры кипения, а значит и участка нагрева воды в жидком состоянии с высокой теплоёмкостью. Последнее увеличивает тепловой поток, воспринимаемый водой от горячего газа, а значит приводит к уменьшению внешних тепловых потерь.

Библиографический список

1. Jouhara H., Khordehgah N., Almahmoud S., Delpech B., Chauhan A., Tassou S.A. Waste heat recovery technologies and applications // Thermal Science and Engineering Progress. – 2018. – Vol. 6. – P. 268–289. – DOI: 10.1016/j.tsep.2018.04.017.

2. Yusha V. L., Chernov G. I., Kalashnikov A. M. Analysis of the thermal efficiency of solid and vacuum thermal insulation in an exchanger of the heat losses recovery system in mobile compressor units // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2141, Issue 1. – P. 030069-1– 030069-8. – DOI: 10.1063/1.5122119.

УДК 621.1, 621.03

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ ТУРБИНЫ ВНУТРИЦИКЛОВОГО СЖАТИЯ ТОПЛИВНОГО ГАЗА В МОДЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Калашников Д. А.[1,2], Борисов Ю. А.[1,2], Чернышов А. В.[2], Калашникова Е. О.[3]

[1] *Объединенный институт высоких температур РАН (Россия, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)*
[2] *Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, (Россия, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1)*
[3] *Публичное акционерное общество «Научно-производственное объединение «Алмаз» территориально обособленное подразделение «Лианозовский электромеханический завод» (Россия, г. Москва, Дмитровское ш., д. 110)*

Для современной энергетики характерно широкомасштабное внедрение парогазовых установок (ПГУ) [1]. До недавнего времени самым распространенным способом повышения КПД подобных установок являлось увеличение температуры и давления рабочего тела перед турбиной газотурбинной установки (ГТУ) [2]. Однако дальнейшее повышение этих параметров связано со значительным увеличением затрат (в том числе и энергетических) на вспомогательное оборудование. В связи с этим был предложен вариант усовершенствования способа подачи топливного газа в камеру сгорания (КС) ГТУ – надстройка внутрициклового сжатия топлива.

Надстройка внутрициклового сжатия топливного газа в общем виде представляет собой систему, состоящую из высокооборотного малогабаритного газового компрессора, паровой турбины и синхронного мотор-генератора, смонтированных на одном валу. Для привода паровой турбины в составе системы организуется один или несколько отборов острого пара перед силовой турбиной ПГУ, т.е. энергия для привода надстройки берется непосредственно в рамках теплового цикла ПГУ, за что система и получила свое название. Приводимый в движение паровой турбиной газовый компрессор сжимает топливный газ до значения давления, необходимого в данный момент в камере сгорания ГТУ. Управление давлением и текущим расходом газа осуществляется с помощью синхронного мотор-генератора. В зависимости от требований конкретного режима работы ГТУ, синхронный мотор-генератор может добавлять приводную мощность на валу системы, или выступать дополнительной нагрузкой, работая в генераторном режиме.

Параметры паровой турбины в составе системы заметно влияют на эффективность работы надстройки внутрициклового сжатия топливного газа, а значит и на КПД ПГУ в целом с учетом затрат на собственные нужды. Соответственно быстрая и недорогая разработка эффективной турбинной ступени системы внутрициклового сжатия топливного газа для каждого конкретного случая является актуальной задачей.

Целью данной работы является экспериментальное определение характеристик спроектированной паровой турбины системы внутрициклового сжатия топливного газа, обладающей (по данным, полученным в результате расчета) КПД не менее 85%.

Результаты расчетно-теоретических исследований необходимо подтвердить экспериментальными исследованиями. Однако проведение натурных экспериментов с использованием в качестве рабочего тела пара с температурой более 650 К технически сложно и требует значительных затрат. С целью уменьшения затрат на проведение исследований было предложено проводить испытания в модельных условиях. При этом в качестве испытуемого объекта выступает полноразмерный макет турбины [3], изготовленный из пластмассы методами аддитивного производства.

Поскольку геометрические размеры макета такие же, что и у натурной турбины, то для обеспечения работоспособности макета при испытаниях необходимо уменьшать скорость вращения макета чтобы избежать его разрушения под действием центробежных сил.

Для соблюдения условий равенства критериев Маха и Рейнольдса натурной и макетной ступени при меньшем числе оборотов необходимо обеспечить пониженные значения температуры, давления и массового расхода на входе в макетную ступень.

В результате проведения испытаний макетной ступени на газодинамическом стенде получается семейство точек, на основании которых строятся экспериментальные зависимости КПД и степени понижения давления от расхода раза. С помощью обратного пересчета определяются зависимости, соответствующие натурной турбинной ступени, на которые наносятся расчетные точки для заключения о соответствии результатов расчета и испытаний.

Библиографический список

1. Теплоэнергетика и централизованное теплоснабжение России в 2015–2016 годы. Информационно-аналитический доклад ФГБУ «РЭА» Минэнерго России. – М., 2018. – 137 с.

2. V. M. Batenin, Yu. A. Zeigarnik, A. S. Kosoy, M.V. Sinkevich, Thermodynamic evaluation of the possibility to increase cogeneration turbine efficiency by using a heat pump operating with water vapor // Thermal Engineering. – 2016. – Vol. 63, №1. – P. 1–6.

3. В.Н. Матвеев, Л.С. Шаблий, А.В. Кривцов, Опыт применения стереолитографических моделей при газодинамических исследованиях // Вестник СГАУ. – 2015. – № 3. ч. 2. – С. 296–304.

УДК 621.565.83

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

Карагусов В. И.

ОмГТУ (Россия, Омск, пр. Мира, 11)

Радиационные системы жизнеобеспечения являются экологически чистым оборудованием, которое работает от возобновляемых источников энергии – солнечного излучения в светлое время суток и охлаждающих ресурсов ночного неба в темное время суток [1]. Радиационные системы жизнеобеспечения могут реализовывать несколько функций: обогрев помещений в холодное время, кондиционирование воздуха и длительное хранение охлажденных или замороженных продуктов для сохранения ими высоких потребительских качеств в жаркое время, а также могут обеспечивать горячее водоснабжение.

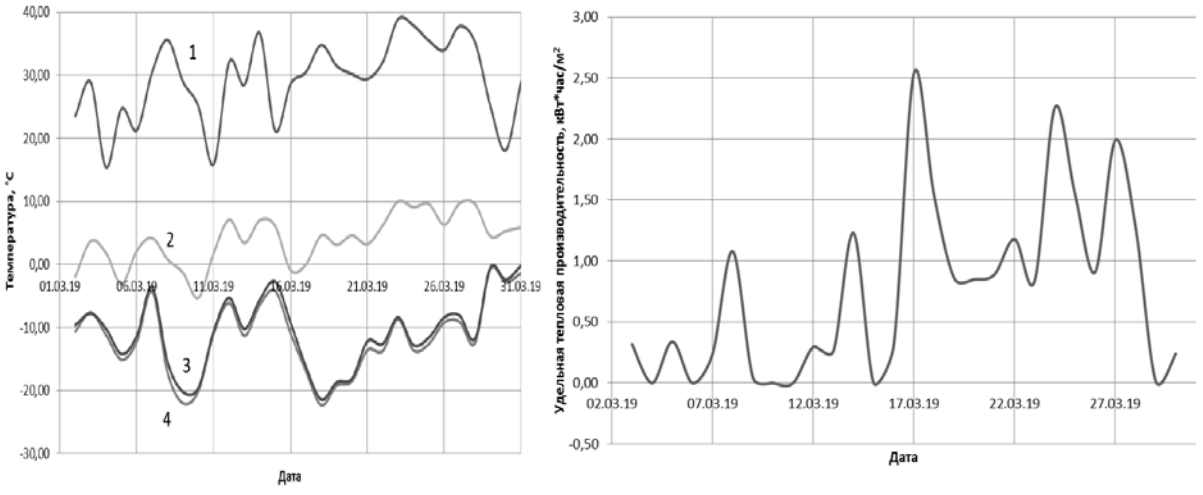
Двухлетняя эксплуатация экспериментального стенда показала, что ячейка с вакуумной теплоизоляцией требует регулярного обслуживания, заключающееся в откачивании воздуха из теплоизолирующего объема. Так как стенд функционировал практически непрерывно круглые сутки и круглый год с резервным электропитанием, то значительную часть времени он находился в необслуживаемом режиме, при котором давление в вакуумной теплоизоляции было переменным.

Нестабильное давление в вакуумной теплоизоляции вносило дополнительную погрешность в результаты измерений. Результаты предыдущих экспериментов показали [2], что разница в производительности ячеек с вакуумной и воздушной теплоизоляцией не превышает 10…20 % на различных режимах. С другой стороны, первоначальные и эксплуатационные затраты отличаются на сотни процентов, поэтому сделан вывод об экономической и эксплуатационной целесообразности применения солнечных коллекторов с воздушной теплоизоляцией и увеличенной на 10…20 % площадью теплообменной поверхности [2].

В итоге экспериментальные исследования в весенний период проводились на ячейке с воздушной теплоизоляцией. Внутри стеклянной трубы размещалась черненная медная труба с площадью теплообменной поверхности 0,02 м^2.

На рисунке 1 приведены графики максимальной и минимальной температуры измерительной ячейки за сутки в марте 2019 г., соответствующие им максимальные и минимальные температуры окружающего воздуха вблизи измерительной ячейки и экспериментальная зависимость удельной тепловой производительности радиационной системы обогрева за сутки в марте 2019 г.

Обработка экспериментальных данных показала, что светлое время суток солнечный коллектор прогревается до температур 40…60 °С, что говорит о возможности обогрева помещений в весенний период.



а *б*

Рис. 1. а – экспериментальные исследования солнечного коллектора с воздушной теплоизоляцией в марте 2019 г.: 1 – максимальная температура измерительной ячейки днем; 2 – минимальная температура измерительной ячейки ночью; 3 – максимальная температура окружающего воздуха днем; 4 – минимальная температура окружающего воздуха ночью. б – экспериментальная зависимость удельной тепловой производительности радиационной системы обогрева за сутки в марте 2019 г.

В весенний период в темное время суток радиационный коллектор охлаждается незначительно ниже окружающего воздуха. Кроме того окружающий воздух в весенний период в темное время суток как правило холодней поддерживаемой температуры в помещениях. Поэтому в весенний сезон вместо радиационного кондиционирования целесообразно применять вентиляцию.

В условиях сибирского резкоконтинетального климата в весенний, как и в зимний период необходимо иметь резервную систему отопления.

Библиографический список

1. V.I. Karagusov, R.Yu. Goshlya, V.S. Serdyuk, I.S. Kolpakov, V.A. Nemykin, and I.N. Pogulyaev. Experimental stand for investigation of the radiation life – support systems: First experiments // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 2007.

2. V.I. Karagusov, I.S. Kolpakov. Influence of Clouds and Air Temperature on the Performance of the Radiation Heating System // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2141.

УДК 621.512

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТЫ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА НА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Котлов А. А.[1], Попова Е. Ю.[1], Кузнецов Л. Г.[2], Бураков А. В.[2]

[1] *ФГАОУ ВО «СПбПУ», (РФ, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29)*
[2] *ООО «Компрессор Газ» (РФ, г. Санкт-Петербург, пр. Сампсониевский пр., 64, Б)*

Сегодня большинство проектируемых компрессорных установок должны обеспечивать работу в широких диапазонах режимных параметров. Например, при проектировании ПК для АГНКС входное давление, в зависимости от ее местоположения, может меняться от 0,15 до 12,0 МПа. Обеспечение работоспособности компрессора в широких диапазонах изменения параметров требует многовариантных расчетов с целью поиска наилучших конструктивных параметров компрессора.

При моделировании работы многоступенчатого поршневого компрессора (МПК) возникает ряд трудностей. Во-первых, это разработка самой математической модели компрессора. При составлении полной модели компрессора необходимо моделировать рабочий процесс не только в ступени компрессора, но и в промежуточных коммуникациях. Что требует больших временных затрат, связанных не только с составлением модели, но и с ее программной реализацией. Поэтому, как правило, полные модели компрессора разрабатываются только для двухступенчатой машины. Во-вторых, в большинстве случаев при моделировании работы МПК моделируют работу не самого компрессора, а отдельных его ступеней. Распределение промежуточных давлений по ступеням зависит от многих факторов. Изменение промежуточных давлений может быть связано с изменением мертвого пространства, с утечками газа, с неисправностью клапанов и т.п. Поэтому задача по расчету промежуточных давлений между ступенями является актуальной.

Разработанная математическая модель основана на упрощенном описании состояния газа в промежуточной полости компрессора. Основные допущения следующие: газовая среда непрерывна и гомогенна; объем промежуточных коммуникаций много больше объема предыдущей ступени; пульсации параметров газа отсутствуют; параметры газа по всему объему рабочей полости изменяются мгновенно; изменение потенциальной и кинетической энергий газа пренебрежимо мало; параметры теплообмена описываются уравнением Ньютона; средний коэффициент теплоотдачи берется на основании теплового расчета теплообменного аппарата.

Система уравнений для описания параметров газа в промежуточной полости записывается в следующем виде:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{dQ}{dt} + i_{k-1}\dot{m}_{k-1} - i_k\dot{m}_k - i_{\text{отб}}\dot{m}_{\text{отб}},\ k = 2..z;$$

$$\frac{dM}{dt} = m_{i-1} - m_i - m_{\text{отб}};\ \rho = M / V;\ u = U / M;$$

Для идеального газа

$$T = (k-1)u / R;\ p = \rho RT;\quad i = k / (k-1)RT$$

Для реального газа

$$T = f(u, \rho);\ p = f(\rho, T);\ i = u + p / \rho;$$

где z – число ступеней; $m_{\text{отб}}$ – масса газа, отводимого из промежуточной полости.

Сжимаемость реального газа отличается от сжимаемости идеального газа. В первую очередь влияние сказывается на перераспределении промежуточного давления. Причем это влияние более заметно на ступенях высокого давления. В какой-то момент может наступить режим «продувки» четвертой ступени, т.е. газ полностью будет сжиматься в трех ступенях. Этот факт наглядно иллюстрирует рисунок 1 на котором приведены индикаторные диаграммы четвертой ступени при различных значениях начального давления.

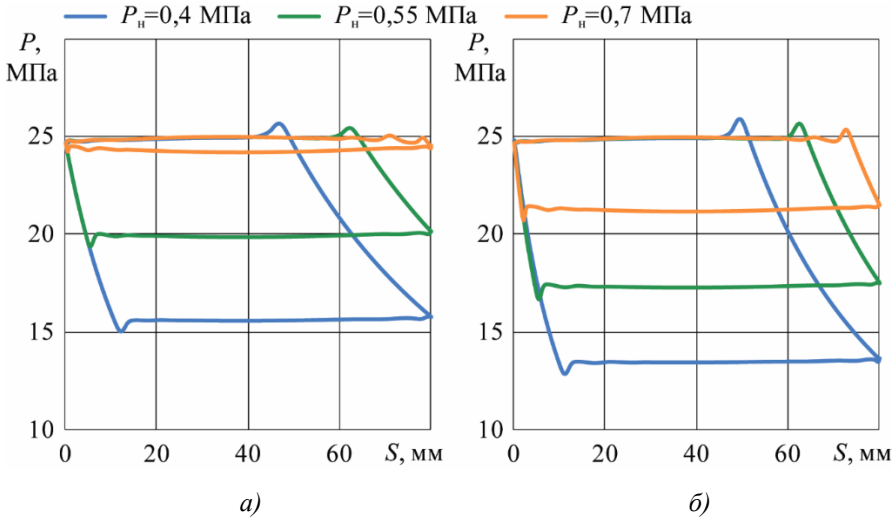


Рис. 1. Индикаторные диаграммы четвертой ступени при сжатии идеального (а) и реального (б) газа

Ошибка при расчете параметров компрессора при допущении идеальности газа может быть весьма существенной. Так, в зависимости от режима работы, ошибка при определении индикаторной мощности ступени может быть пятикратной, в основном это касается ступеней высокого давления. При определении конечной температуры максимальная разница составляет 35 %, при определении промежуточного давления – 15 %, при определении производительности – до 10 %.

Библиографический список

1. Хрусталев, Б. С. Математическое моделирование рабочих процессов в объемных компрессорах для решения задач автоматизированного проектирования: дис. ... д-ра техн. наук / Хрусталев Борис Сергеевич. – СПб., 1999. – 377 с.

2. Котлов, А. А. Математическая модель воздушного поршневого компрессора среднего давления для решения задач энергоаудита: дис. ... к-та техн. наук / Котлов Андрей Аркадьевич. – СПб., 2011. – 138 с.

УДК 621.515

ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ СЕТОЧНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ МАЛОРАСХОДНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТУПЕНЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЯЗКОГО ПОТОКА

Карташов С. В.[1], Кожухов Ю. В.[1]

[1] *ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого (Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29)*

В работе рассматривается вопрос определения расчетной области проточной части (ПЧ) при численном моделировании (RANS-подход) вязкого потока газа [1–7, 10] в малорасходной ступени центробежного компрессора [8–9] с условным коэффициентом расхода Ф = 0,008. Рассматривается несколько вариаций замены конструкционной сборки проточной части модельной ступени газодинамической моделью: основной рабочий тракт ступени; основной рабочий тракт ступени с учетом входного участка – патрубок и обтекатель; основной рабочий тракт ступени с учетом притрактовых областей с полным и частичным присоединением к проточной части; основной рабочий тракт ступени с учетом поверхностей трения ступицы рабочего колеса. Показано, что в случае осевого всасывания в ступень входной патрубок и обтекатель не оказывают существенного влияния на

профиль параметров перед рабочим колесом и газодинамические характеристики ступени; моделирование без притрактовых областей показывает неудовлетворительный качественный и количественный результаты. Наиболее актуальный вариант учета потерь дискового трения и протечек – полное двустороннее соединение притрактовых областей по дискам рабочего колеса с проточной частью, т.к. при соединении только на выходе из рабочего колеса моделируются потери трения и протечек, но не учитывается влияние на поток в рабочем колесе. В некоторых случаях важен учет дополнительных областей, участвующих в потерях трения. Проведена оценка влияния измерительных приборов полного давления, расположенных в 3 сечениях по диаметру диффузора. Сделан вывод о незначительном влиянии измерительных приборов по сравнению с другими видами потерь в малорасходной ступени. Рассмотрен вопрос сеточной независимости решения модели в рабочем тракте ступени и притрактовых областях. Показано, что обеспечение сеточной независимости решения в притрактовых областях малорасходной ступени важно не менее, чем в лопаточных аппаратах. Оценено влияние безразмерного расстояния первого пристеночного слоя y+ при использовании низкорейнольдсовой модели турбулентности Spalart-Allmaras.

Библиографический список

1. Рахманина Л.А., Аксенов А.А. Исследование влияния неравномерного распределения абсолютной скорости потока на входе в осерадиальное рабочее колесо центробежного компрессора с применением методов численного моделирования в Ansys CFX. Компрессорные технологии. – № 2. – 2019. – С. 18–25.

2. Неверов В.В., Кожухов Ю.В., Яблоков А.М., Лебедев А.А. Расчетная модель при численной оптимизации рабочих колес центробежных компрессоров. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Вып. 4(254)/2016. – Изд. СПбГПУ. – С. 45–58.

3. Неверов В.В., Чеглаков И.В, Любимов А.Н. Проектирование центробежных компрессорных машин с использованием методов вычислительной газодинамики. Компрессорная техника и пневматика. – № 4. – 2018. – С. 24–28.

4. Бурдюгов С.И., Ерышкин Ю.П., Касьянов С.В., Макаров А.А. Опыт пусконаладочных работ многоступенчатых ЦБК с магнитным подвесом. Компрессорные технологии. – № 1. – 2019. – С. 12–17.

5. Kozhukhov Y.V., Danilishin A.M., Kartashov S.V., Lebedev A.A., Malev K.G., Mironov Y.R. Design optimization opportunity of the end stage output plenum chamber of the centrifugal compressor for gas pumping unit. AIP Conference Proceedings 2007, 030044 (2018); DOI: 10.1063/1.5051905.

6. Denton J.D. Some Limitations of Turbomachinery CFD. ASME. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, Volume 7: Turbomachinery, Parts A, B, and C:735-745. DOI:10.1115/GT2010-22540.

7. Pinto, R. N., Afzal, A., D'Souza, L. V., Ansari, Z., & Mohammed Samee, A. D. Computational Fluid Dynamics in Turbomachinery: A Review of State of the Art. Archives of Computational Methods in Engineering, 24(3), 467–479. (2016). DOI:10.1007/s11831-016-9175-2.

8. Lettieri C.C., Baltadjiev N.N., Casey M.M., Spakovszky Z.Z. Low-Flow-Coefficient Centrifugal Compressor Design for Supercritical CO2. ASME. J. Turbomach. (2014);136 (8):081008-081008-9. DOI:10.1115/1.4026322.

9. Иванов В.М., Кожухов Ю.В., Данилишин А.М., Садовский Н.И. Моделирование и валидация рабочего процесса в модельной малорасходной ступени центробежного компрессора. Новое в российской электроэнергетике. – № 6. – 2019. – С. 12–19.

10. Neverov, V.V., Kozhukhov, Y.V., Yablokov, A.M., Lebedev, A.A. Optimization of a centrifugal compressor impeller using CFD: The choice of simulation model parameters. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 232(1),012037. (2017). DOI: 10.1088/1757-899X/232/1/012037.

УДК 621.5.041

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНОСТИ ТРЕНИЯ В РОТАЦИОННО-ПЛАСТИНЧАТЫХ МАШИНАХ

Райковский Н. А.[1], Юша В. Л.[1], Кузнецов К. И.[1], Коренев В. А.[1], Карпусь В. С.[1]

[1] *Омский государственный технический университет (Россия, г. Омск, пр-т Мира, 11)*

Ротационно-пластинчатые машины занимают важное место в инженерных приложениях. При этом существует ряд существенных недостатков таких машин, которые сдерживают активное внедрение пластинчатых компрессоров. Это прежде всего большие механические потери на трение (от 30 до 82% [1, 2] в узлах трения, формирующих рабочую камеру, причем основной резерв снижения таких потерь находится в сопряжении "пластина-цилиндр" (до 87% от всех механических потерь [3, 4]).

Целью данной работы является экспериментальное исследование потерь на трение в сопряжении "пластина-цилиндр" при смазке рабочей камеры ротационно-пластинчатой машины маслом, водой и в отсутствии смазочного материала. Результаты испытания представлены на рис. 1.

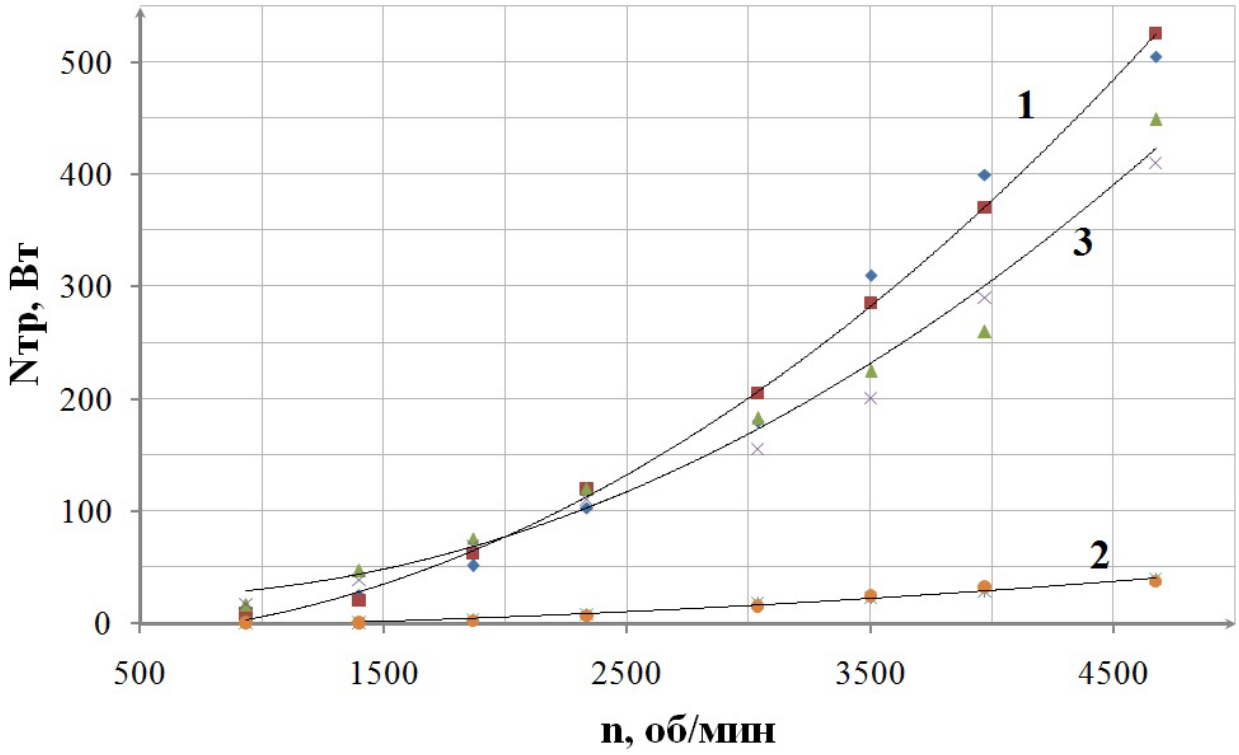


Рис. 1. Зависимость мощности трения одной пластины о стенку цилиндра от частоты вращения ротора: 1 – без смазочного материала; 2 – при смазке водой; 3 – при смазке маслом

Наибольшие потери мощности на трение в диапазоне частот вращения вала 2000÷4700 об/мин соответствуют условиям "сухого" трения, что ожидаемо, при этом мощность трения не превышает 530 Вт в диапазоне исследований. Неожиданно большие значения мощности трения были получены при испытаниях со смазыванием цилиндра маслом. В таких условиях мощность трения достигала значений, равных 450 Вт при частоте вращения вала 4700 об/мин, что всего на 15% ниже аналогичных показателей при сухом трении. При этом существенно меньшие потери на трение были выявлены при смазке цилиндра водой. В этом случае мощность трения составила не более 40 Вт при частоте вращения до 4700 об/мин. Высокие значение мощности трения в сопряжении "пластина-цилиндр" при смазке маслом можно объяснить гидромеханическими потерями и сравнительно высокой вязкостью масла.

Таким образом, результаты испытания показали перспективность применения в качестве смазывающих и охлаждающих жидкостей ротационно-пластинчатых машин, тех жидкостей, которые имеют малую вязкость, например воду, что позволит улучшить энергетические показатели машины. Применение в качестве смазывающей жидкости масла требует исследования влияния количества масла на энергетическую эффективность ротационно-пластинчатой машины с учетом влияния сжимаемого газа.

Библиографический список

1. Головинцев А.Г. Ротационные компрессоры / А.Г. Головинцев, В.А. Румянцев, В.И. Ардашев и др. – М. : Машиностроение, 1964. – 315 с.

2. Aradau, D. and Costiuc, L., "Friction Power in Sliding Vane Type Rotary Compressors" (1996). International Compressor Engineering Conference. Paper 1357. http://docs.lib.purdue.edu/icec/1357.

3. Ma G Y . Li H Q . (2001). Vane Compressor. In Ma G Y & Li H Q (Eds.), Rotary Compressor (92-183) (in Chinese). BeiJing : China Machine Press.

4. Ma G Y and Li H Q 2001 Rotary Compressor, China Machine Press, p. 140–166. BeiJing.

УДК621.56/.59:621.64

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ ПОДВЕСА СОСУДА КРИОГЕННЫХ КОНТЕЙНЕРОВ-ЦИСТЕРН ДЛЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОЗАЩИТЫ

Зиновьева А. В.[1], Насонова Е. Е.[1,2], Рогальский Е. И.[2], Царёв В. Г.[2]

[1] *Омский государственный технический университет (РФ, г. Омск, пр. Мира,11)*
[2] *АО «НТК «Криогенная техника» (РФ, г. Санкт-Петербург, пр. Стачек, д. 105, корп. 5 лит. А, пом. 9Н)*

Создание компактных эффективных теплозащитных систем подвеса сосудов криогенных контейнеров-цистерн для хранения и транспортирования сжиженного природного газа (СПГ) является актуальной инженерно-технической задачей. В процессе ее решения с одной стороны требуется обеспечение достаточной прочности конструкции подвеса при воздействии эксплуатационных нагрузок, с другой – минимизация теплопритока от окружающей среды к продукту с криогенной температурой, что, в сочетании с необходимостью снижения массогабаритных характеристик для максимального увеличения полезного объема продукта, требует оптимизации геометрии узлов подвеса.

В работе проведено расчетно-теоретическое исследование дискового и штангового креплений, предназначенных для фиксации теплоизолированного сосуда ISO-контейнера-цистерны при продольных инерционных нагрузках. Расчетные схемы данных креплений приведены на рисунке 1.

Вариант крепления 1 (рисунок 1а), предложенный в [1–2], представляет собой диск 1 из материала с низкой теплопроводностью (например, стеклопластика), который взаимодействует с пальцем 2 посредством втулки 3.

Вариант крепления 2 (рисунок 1б) представляет собой несколько штанг 4, жестко закреплённых к сосуду 5 и кожуху 6 пластинами 7.

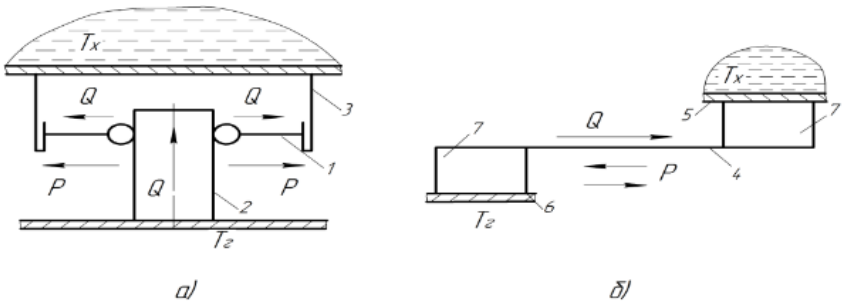


Рис. 1. Расчетная схема креплений:
а – дисковая, б – штанговая

Для каждого из вариантов крепления разработана методика расчета, которая позволяет на основе расчетов на прочность определить оптимальные геометрические характеристики элементов крепления (поперечное сечение и длину) и вычислить теплоприток, поступающий по нему в сосуд. Данные методики учитывают передачу тепла теплопроводностью по твердым элементам рассматриваемых креплений, а также приток тепла по прилегающей теплоизоляции.

По разработанным методикам проведено расчетно-теоретическое исследование, результаты которого приведены на рисунках 2 и 3 в виде кривых зависимости теплопритока от диаметра диска (для варианта дискового крепления) и диаметра штанг (для варианта штангового крепления).

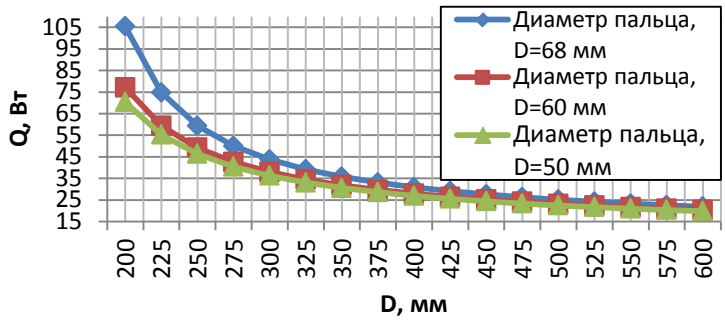


Рис. 2. Результаты расчёта дискового крепления

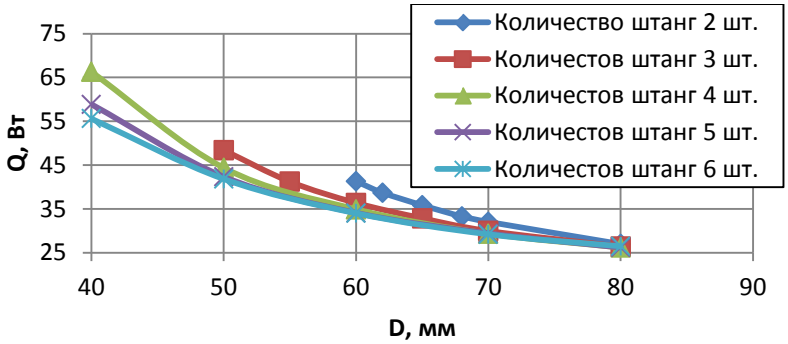


Рис. 3. Результаты расчёта варианта штангового крепления

Как показал анализ рассматриваемых вариантов конструкций креплений подвеса сосудов криогенных контейнеров-цистерн, величина теплого потока закономерно снижается при увеличении расстояния теплового пути между теплой и холодной поверхностями стенок. При больших расстояниях кривая асимптотически приближается к некоторому значению, делая дальнейшее увеличение пути экономически и технически нецелесообразным.

Из рисунка 3 также следует, что при большой длине между закреплениями штанг снижается роль влияния на теплоприток их количества.

Разработанная методика и полученные результаты легли в основу создания криогенных контейнеров-цистерн в АО «НТК «Криогенная техника».

Библиографический список

1. Пат. 166539 Российская Федерация, МПК B 65 D 88/12. Контейнер-цистерна / А. А. Ершов, И. Ю. Васильева, А. Ю. Кромов. – № 2016120100/12; заявл. 24.05.2016 ; опубл. 27.11.2016, Бюл. № 33.

2. Пат. WO 2005/100210 A1 Китай, МПК B 65 D 88/128. Super-vacuum insulation tank for cryogenic liquefied gas / Wang Rongshun, Sun Hongli, Luo Yongxin, Shi Yumei. – № PCT/CN2005/000447 ; заявл. 05.04.2005 ; опубл. 27.10.2005.

УДК621.515

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРА Y+ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНФУЗОРНОГО ТЕЧЕНИЯ ВО ВХОДНОМ УСТРОЙСТВЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Гилева Л. В.[1], Аксенов А. А.[1], Кожухов Ю. В.[1] , Петров А. Ю.[1]

[1] *Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого, (Россия, г. Сакнт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29)*

В данной работе производится исследование входного радиального устройства центробежного компрессора методами вычислительной газодинамики [1, 3–7].

Целью работы являлась подбор математической модели для проведения численного эксперимента с ее последующей валидацией с натурным экспериментом [2]. Подбор математической модели является чрезвычайно важным этапом численного исследования т.к. необходимо удостовериться в том, что численный эксперимент соответствует действительности.

Параметр y^+ – это безразмерное расстояние от первого узла сетки до стенки. Существуют определенные рекомендации по значению параметра y^+ для соответствующих моделей турбулентности [6], однако данные рекомендации представлены для обтекания пластины. В данной работе приведены рекомендации по значению параметра y^+, а также была получена аппроксимационная зависимость по результатам численного эксперимента влияния среднего значения y^+, коэффициента конфузорности камеры и числа Рейнольдса на потери входного радиального устройства:

$$\zeta_c = f(y^+_{mean}, Re, K_F) = a + b(y^+)^{-2} \quad (1)$$

где $a = (0.38 - 0.11 \cdot K_F) - (0.2 \cdot Re^2 \cdot K_F)/10^{12}$

$b = (0.009 - 0.0015 \cdot K_F)$

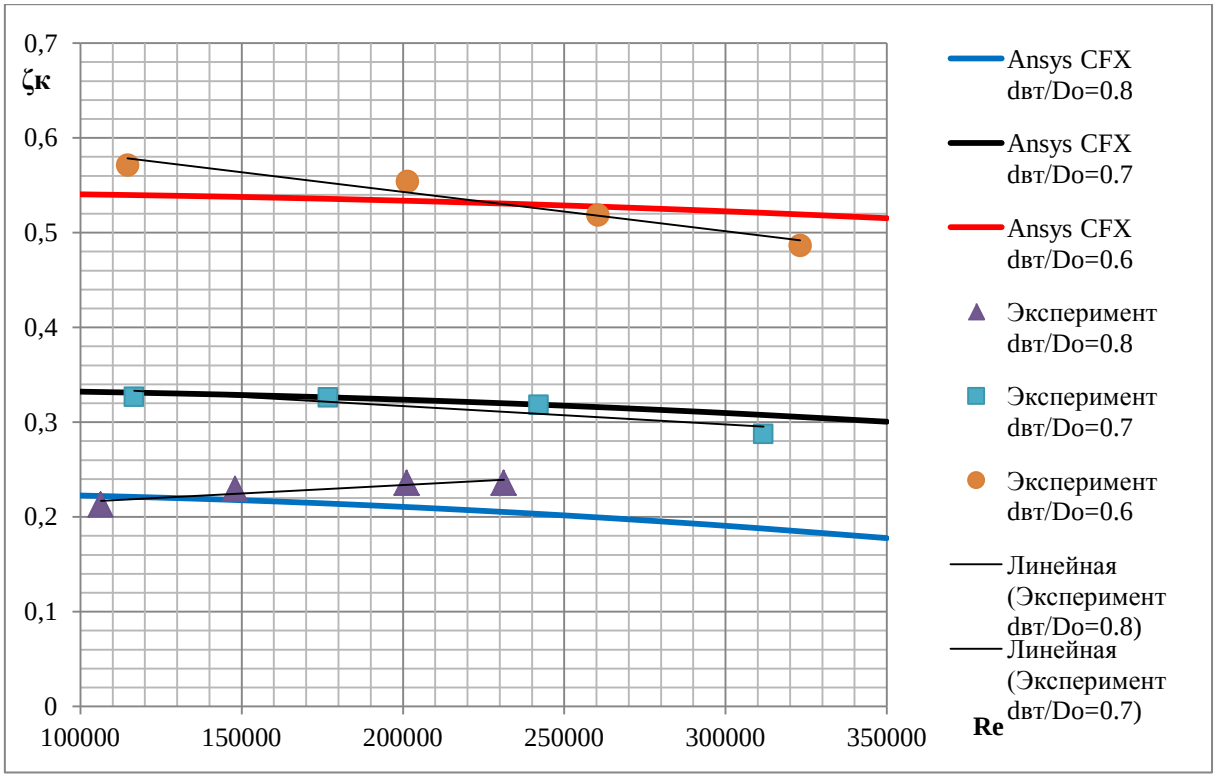


Рис. 1. Сравнение численного моделирования и экспериментальных данных исследования входного радиального устройства [2]

В завершении исследования, полученная зависимость была принята для определения оптимального значения $y+_{mean}$ и пристеночного слоя для экспериментальных камер. Ниже на рисунке 1 представлено сравнение экспериментальных характеристик входного радиального устройства с результатами численного исследования при оптимальном $y+_{mean}$ и пристеночном слое равном 0.001–0.002 мм

Полученная зависимость и результаты демонстрируют, что значение y^{+}_{mean} для камер переменной конфузорности $K_F = 1.1 \div 2.0$ находится в диапазона $y^{+}_{mean} = 0.18 \div 0.25$ соответственно.

Библиографический список

1. Никитин А.А. Исследование входных патрубков центробежных компрессоров. – Дисс., к.т.н., Л., ЛПИ, 1965.

2. Danilishin, A.M., Kartashov, S.V., Kozhukhov, Y.V., Kozin, E.G. The methodology for the existing complex pneumatic systems efficiency increase with the use of mathematical modeling // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017.

3. Danilishin, A.M., Kozhukhov, Y.V., Neverov, V.V., Malev, K.G., Mironov, Y.R. The task of validation of gas-dynamic characteristics of a multistage centrifugal compressor for a natural gas booster compressor station // AIP Conference Proceedings. 2017.

4. Danilishin A.M., Kozhukhov Y. V., Yun V.K. Multi-objective optimization for impeller shroud contour, the width of vane diffuser and the number of blades of the centrifugal compressor stage based on the CFD calculation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015.

5. Neverov, V. V. , Kozhukhov, Y. V. , Yablokov, A. M., Lebedev, A. A. Optimization of a centrifugal compressor impeller using CFD: The choice of simulation model parameters // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017.

6. Kozhukhov, Y. V. ; Yun, V. K. ; Reshetnikova, L. V.; Prokopovich, M. V. Numerical Investigation of Different Radial Inlet Forms for Centrifugal Compressor and Influence of the Deflectors Number by Means of Computational Fluid Dynamics Methods with Computational Model Validation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015.

7. Aksenov, A.A., Danilishin, A.M., Kozhukhov, Y.V., Simonov, A.M. Numerical simulation of gas-dynamic characteristics of the semi-open 3D impellers of the two-element centrifugal compressors stages // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2007.

УДК 621.515

СОЗДАНИЕ ПАРАМЕТРИЗИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ОНА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ В ВИРТУАЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

Галеркин Ю. Б.[1], Рекстин А. Ф.[1], Маренина Л. Н., Солдатова К. В.[1]

[1] *ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29)*

Важным элементом проточной части многоступенчатого центробежного компрессора является обратно-направляющий аппарат, который имеет сложную конфигурацию, его проточная часть определяется большим количеством параметров и размеров. Проектирование и оптимизация неподвижных элементов – это долгий и трудоемкий процесс. Применение современных вычислительных систем позволяет значительно сократить затраты времени и производить расчёты различных вариантов исполнения обратно-направляющих аппаратов, изучать полученную структуру течения, рассчитывать газодинамические характеристики и выбирать наилучший вариант.

Целью данной работы было построение параметризированной модели неподвижных элементов, которая позволяет автоматизировать процесс изменения геометрии проточной части, перестраивая размеры и расчетную сетку в соответствии с новой поставленной задачей. В работе подробно рассмотрен процесс построения эскизов меридионального контура проточной части и лопаток обратно-направляющего аппарата в программе DesingnModeler программного комплекса ANSYS CFX с выводом изменяемых величин в таблицу параметров Workbench. Также описан процесс передачи данных в сеточный генератор TurboGrid, особенности постановки граничных условий для параметризированной модели в CFX-Pre и возможности вывода данных в таблицу параметров по результатам расчёта из программы CFD-Post (рис. 1).

Table of Design Points

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Name	P4 - FlowAngle	P5 - massflow	P8 - Plane6 .b6	P12 - TotTempInl	P13 - TotPressInl	P22 - Alfa4	P24 - z	P14 - summ...	P15 - delt...	P21 - Flow...
2	Units	degree	kg s^-1	mm	K	Pa	degree			Pa	degree
3	DP 13 (Current)	18	0.92079	30.5	295	1.3361E+05	-56	22	0.44855	692.91	40.771
4	DP 14	18	0.92079	25	295	1.3361E+05	-56	22	0.44855	692.91	40.771
5	DP 15	18	0.92079	20	295	1.3361E+05	-56	22	0.44855	692.91	40.771
*											

Рис. 1. Задание значений параметров для разных вариантов расчёта

1	b6	z	ΔP* (Pa)
2	30.7	20	832.34
3	30.531	20	827.16
4	30.5	20	826.11
5	30.349	20	820.97
6	29.689	20	788.45
7	29.525	20	781.45
8	30.5	22	761.62
9	30.349	22	756.88
10	29.525	22	728.84
11	24.499	20	623.39
12	24.353	20	618.19
13	20.5	20	581.8
14	20.627	20	579.27
15	20.5	22	573.24
16	21.986	20	571.63
17	21.877	20	571.11
18	24.353	22	557.96
19	21.877	22	542.17

Рис. 2. Таблица вариантов, рассчитанных в программе Direct Optimization

В качестве исследуемого объекта были выбраны неподвижные элементы модельной ступени 0028-058-0373 [1]. При построении проточной части в программе DesignModeler определены геометрические параметры, которые подлежат оптимизации. Для проведения простой оптимизации в Direct Optimization достаточно указать диапазон изменения требуемого параметра, в данном случае это высота лопатки на выходе из лопаточного аппарата, отнесенная к высоте лопатки на входе b_6/b_5 и число лопаток z. Для оценки эффективности лопаточной решётки задавалась потеря полного давления $\Delta p^*_{3-out} = p^*_3 - p^*_{out}$. Результаты оптимизации в программе представлены в табличном виде (рис. 2), для наглядности строится график. Каждую рассчитанную точку можно открыть в CFD-Post, посмотреть картину течения и рассчитать необходимые газодинамические характеристики.

Использование современных вычислительных систем делает возможным проведение более сложной оптимизации с несколькими изменяемыми параметрами и разными критериями эффективности, что позволяет рассчитать большое количество вариантов и значительно экономит время на постановку новой задачи.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10165).

Библиографический список

1. Труды научной школы компрессоростроения СПбГПУ / под редакцией Галеркина Ю.Б. – М.: Изд. «СПбГПУ». – 2010.

УДК 536.24

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ГЕОМЕТРИИ РАДИАТОРА С ЛОКАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКОЙ

Сулин А. Б.[1], Рябова Т. В.[2], Никитин А. А.[3]

Университет ИТМО (Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., дом 49)

Применение радиаторов с естественной конвекцией для отвода теплоты от модулей Пельтье является оправданным, например, для термоэлектрических охладителей малой производительности в связи с высокой надежностью и простотой реализации такого типа конструкций [1]. В то же время расчет системы теплоотвода с оптимальными геометрическими параметрами при локально приложенной тепловой нагрузке осложнен неодномерностью температурного поля в основании радиатора и требует применения обоснованной расчетной методики.

Решение задачи оптимизации геометрических параметров оребренной системы выполняется на основе совместного анализа процессов теплопроводности в ребрах и теплоотдачи на их поверхности с целью достижения максимального теплового потока при заданном объеме радиатора [2]. Геометрическая схема рассматриваемой системы приведена на рис. 1.

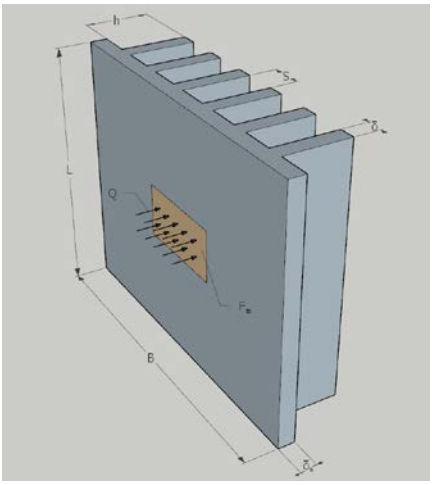


Рис. 1. Геометрическая схема системы

На базе разработанной методики выполнена серия расчетов оптимальных геометрических характеристик свободно конвективных радиаторов в функции от температурного напора, высоты ребра и толщины основания. Соотношение габаритных размеров основания заданы как 3:1; 1:1; 1:3. На рис. 2 приведены расчетные зависимости для площади основания радиатора оптимальной геометрии при заданном температурном напоре в основании оребрения 15 К для различных толщин основания и высоты ребер от 20 до 40 мм. Мощность тепловой нагрузки принята равной 25 Вт. Площадь локального источника теплоты принята равной 20 × 20 мм.

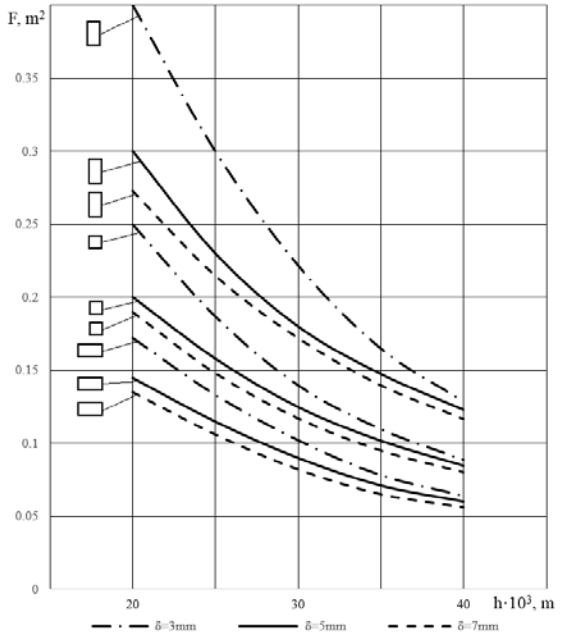


Рис. 2. Геометрические характеристики радиатора оптимальной геометрии

По результатам серии расчетов могут быть сделаны следующие выводы.

Изменение ориентации основания радиатора с вертикальной (1:3) на горизонтальную (3:1) приводит к снижению площади основания примерно вдвое. Увеличение высоты ребра с 20 мм до 40 мм приводит к снижению площади основания в 2 … 2,5 раза. Увеличение температурного напора от основания ребра к окружающему воздуху от 10 К до 20 К приводит к снижению требуемой площади основания в 3 раза при высоте ребра 40 мм и в 4 … 5 раз при высоте ребра 20 мм.

Библиографический список

1. Muhammad Sajid, Ibrahim Hassan, Aziz Rahman. An overview of cooling of thermoelectric devices / Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Volume 78. – October 2017. – Pages 15–22.

2. Ройзен Л.И., Дулькин И.Н. Тепловой расчет оребренных поверхностей. – Москва : Энергия, 1977. – 254 с.

УДК 621.643.539

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕГО ПАТРУБКА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Сергаева М. Ю.[1], Строков И. М.[2], Сергаев А. А.[1]

[1] *Омский государственный технический университет (Россия, г. Омск, проспект Мира, 11)*
[2] *ФГУП «Федеральный научно-производственный центр «Прогресс»» (Россия, г. Омск, ул. 5-я Кордная, 4)*

В настоящей работе на основе моделирования виброизолирующего напорного патрубка в среде Ansys определены прочностные и жесткостные параметры резинокордной оболочки (РКО).

Задача моделирования напряженного состояния виброизолирующего патрубка решается на основе метода конечных элементов [1]. Объектом исследования в настоящей работе является резинокордная оболочка виброизолирующего напорного патрубка трубопроводных систем [2].

Рассматриваются две модели РКО, созданные стандартными средствами программного пакета Ansys [3, 4]:

1) модель из трехмерных элементов с армированием балочными элементами;

2) композитная модель, представленная оболочечными элементами, матрица жесткости которых вычисляется на основе ортотропного материала.

Структура резинокордной оболочки представлена на рисунке 1. В цилиндрической части она состоит из герметизирующего слоя резины, двух слоев кордной ткани и покровного слоя резины.

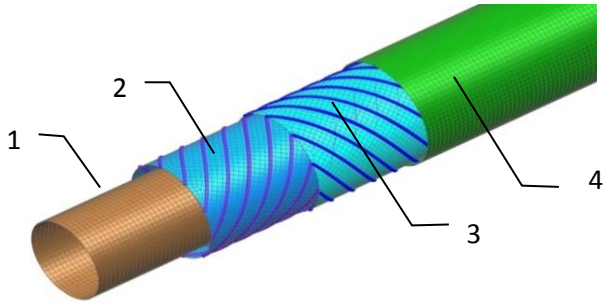


Рис. 1. Структура оболочки:
1 – герметизирующий слой, 2 – армированный слой,
3 – армированный слой, 4 – покровный слой

При моделировании рассматривались два расчетных случая. В первом – ставится задача определения распорного усилия при подаче номинального внутреннего давления. Во втором – определению подлежит осевая жесткость патрубка и ее сравнение с экспериментальными данными (C = 38÷79 Н/мм).

В результате расчета модели из трехмерных элементов получаем усилие распорности F = 7.6 Н, что удовлетворяет условию по распорности эксперимента (F = ±235 Н). При анализе напряженно-деформированного состояния РКО [5] показано, что наибольшие напряжения возникают в нитях корда оболочки (рисунок 2):

– наиболее напряженным является наружный слой корда;

– максимальные напряжения возникают в покровном слое резины, в месте контакта с фланцами наблюдается концентрация сдвиговых напряжений, возникающих в месте контакта оболочки с фланцем.

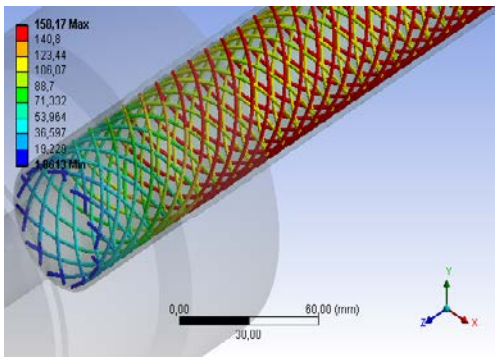


Рис. 2. Усилие в нитях корда оболочки патрубка

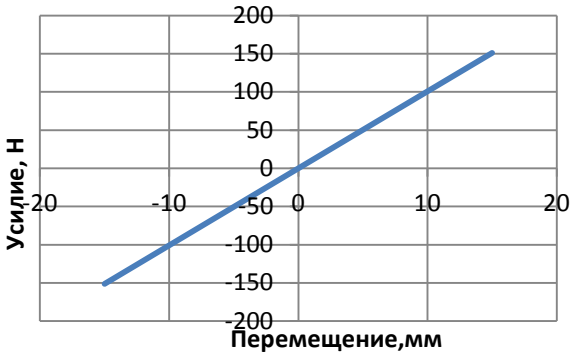


Рис. 3. Нагрузочная характеристика патрубка

Графическая зависимость возникающего усилия от перемещения патрубка является линейной (рисунок 3), что позволяет считать жесткость постоянной величиной

$$C = \frac{\Delta F}{\Delta x} = \frac{73{,}659 - 0}{5 - 0} = 14{,}7 \text{ Н/мм}.$$

При рассмотрении композитной модели РКО [6] в первом расчетном случае по определению усилия распорности выявилось, что полученное значение F = 2843.5 Н превышает полученное экспериментальным путем значение усилия распорности F = ±235 Н.

Анализ напряженно-деформированного состояния композитной оболочки [7, 8] в каждом слое резинокорда (рисунки 4, 5) показал, что наиболее нагруженными слоями являются армированные слои. Но индекс

разрушения превышает предельное значение только на краях оболочки, где должна моделироваться бортовая зона.

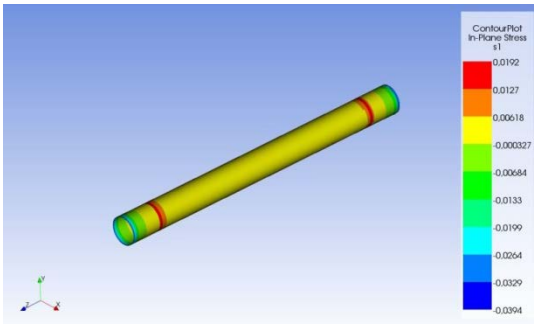


Рис. 4. Напряжения в первом слое (по Мизесу, МПа)

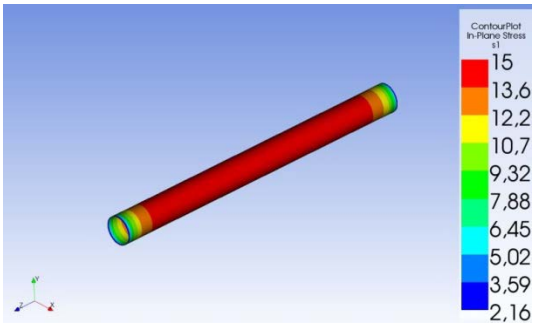


Рис. 5. Напряжения в третьем слое (по Мизесу, МПа)

Рассмотрим второй расчетный случай для композитной модели по определению осевой жесткости:

$$C = \frac{\Delta F}{\Delta x} = \frac{61 - 0}{5 - 0} = 12{,}2 \text{ Н/мм}$$

Таким образом, проведенная расчетно-экспериментальная работа позволяет сделать следующее выводы:

1. Модель, состоящая из трехмерных элементов, позволяет получить необходимые выходные характеристики по условию распорности, которые не превышают значения, полученные экспериментальным путем, но требует дальнейшего исследования способов объединения слоев и сравнения с экспериментальными данными по жесткостным характеристикам.

2. Композитная модель позволяет получать приемлемые результаты расчета жесткостных характеристик. Вместе с тем получаемые по этой модели результаты распорности патрубков превышают значения, полученные экспериментальным путем.

Библиографический список

1. P. Areias, K. Matous. Finite element formulation for modeling nonlinear viscoelastic elastomers. Comput. Methods Appl. Mech. Eugrg, **197**, 4702-4717 (2008).
2. V. G. Tsyss, M. S. Sergaeva. Oil and Gas Engineering (OGE-2018) AIP Conf. Proc. **2007**, P. 030013 (2018).
3. APDL Programmer's Guide. ANSYS Releas 11.0 Documentation. Canonsburg: ANSYS Inc. (2001).
4. V. G. Tsyss, M. S. Sergaeva. Oil and Gas Engineering (OGE-2019) AIP Conf. Proc. **2141**, P. 030043 (2019).
5. D. L. Logan, A First Course in the Finite Element Method, 5th ed. USA: Cengage Learning (2012).
6. O. Daniel, I. M. Ishai, Engineering Mechanics of Composite Materials, Oxford, 2nd (2006).
7. Цысс, В. Г., Иванов А.А., Сергаева М.Ю. (Нефтегазовый терминал, **2**, Тюмень, 2008), с. 45–47.
8. V. G. Tsyss, M. Yu. Sergaeva (Procedia Engineering, **152**, 2016), pp. 251–257.

УДК 661.961.3;662.76.032

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНЫХ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ И СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Низовский А. И.[1,2], Белькова С. В.[2], Рогожников В. Н.[1]

[1] *ФГБУН "Федеральный исследовательский центр "Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН" (Россия, г. Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, 5)*
[2] *Омский государственный технический университет (Россия, г. Омск, пр. Мира, 11)*

Развитие инфраструктуры добычи и транспортировки углеводородов требует оснащения строящихся и действующих объектов системами контроля технологических параметров, системами наблюдения и охраны, устройствами связи. Учитывая удаленность таких объектов, автономность их эксплуатации, возникает необходимость оснащения их автономными источниками питания небольшой мощности. Очевидным лидером в этом случае являются аккумуляторные батареи, в том числе литиевые. Однако и такие источники имеют

недостатки, такие как необходимость периодической зарядки или замены, что в условиях географической удаленности районов их эксплуатации существенно увеличивает затраты на обслуживание, а при использовании в составе автономных охранных систем частая замена является демаскирующим фактором.

Одним из решений данной проблемы является использование источника энергии на базе топливных элементов мощностью ≤ 100 Вт. Такие источники могут быть весьма компактны и иметь размер ~1 дм^3. Одним из типов топливных элементов является водородный топливный элемент, в котором происходит электрохимическое окисление водорода. Окислителем при этом является атмосферный кислород, продуктом окисления – чистая вода, без включений каких-либо тяжелых металлов или органических соединений.

Важнейшим аспектом создания такого электрического устройства является разработка источника водорода, соответствующего требуемым рабочим параметрам топливного элемента. Вопрос об обеспечении такого устройства сжатым водородом вообще не рассматривается, т.к. очевидно, что баллонное хранение и транспортировка водорода не соответствует уровню «компактного источника энергии». В данной работе предлагается получение водорода на месте в момент использования с помощью реакции окисления алюминия водой. Эта идея не нова, автономные генераторы водорода многие десятилетия успешно использовались на удаленных метеостанциях в условиях Крайнего Севера для наполнения метеорологических шаров-зондов. Принципиально важно отметить, что в этих генераторах использовались высококонцентрированный раствор щелочи и алюминиевый порошок.

Алюминиевые сплавы разнообразных марок широко используются в различных областях машиностроения, в том числе в ответственных силовых элементах конструкций, работающих в коррозионно-активных условиях. Существуют, тем не менее, методики, в которых с помощью специальных активаторов можно добиться резкого повышения их реакционной способности по отношению к воде [1]. Ниже приведена реакция взаимодействия алюминия с водой при нейтральном pH при комнатной температуре и атмосферном давлении, в которой выделяется чистый водород в количестве 1.24 л/г, не требующий дополнительной очистки при его использовании в топливном элементе:

$$Al + 2H_2O = Al(OOH) + 1.5H_2$$

В данной работе в качестве активатора применялся эвтектический сплав Ga-In (76 % – 24 %, Тпл. = 15.9 ^oC), которым обрабатывалась поверхность алюминиевого образца [2]. В качестве исходных материалов для активирования использовались промышленные конструкционные сплавы АК5М2, Д1Т, Д16Т, АМг6 и др.

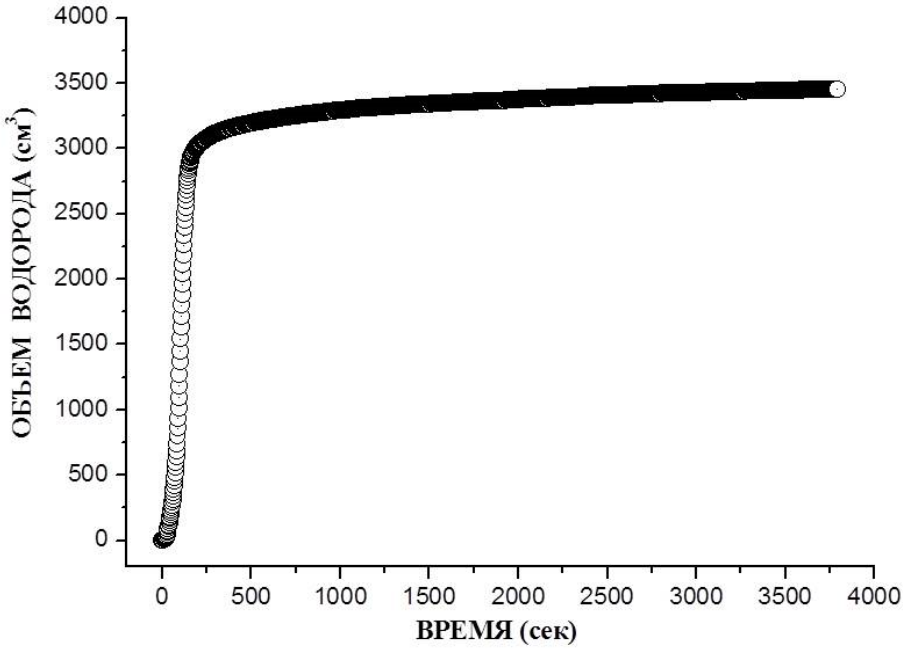


Рис. 1. Зависимость количества выделенного водорода от времени при реакции активированного сплава Д16Т с водой

Библиографический список

1. Deng Z-Y, Sakka Y. Hydrogen-Generation Materials for Portable Applications // J Am. Ceram. Soc. – 2008. – 91(12). – P. 3825–3834.

2. Тренихин М.В., Бубнов А.В., Низовский А.И., Дуплякин В.К. Взаимодействие эвтектики системы In-Ga с алюминием и его сплавами // Неорганические материалы. – 2006. – Т. 42. – № 3. – С. 298–303.

УДК 621.671

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ НА ОПОРАХ И МЕТОДЫ ИХ СНИЖЕНИЯ

Мустафин А. Х.[1], Сейтенова Г. Ж.[1], Кабылкаиыр Д. Н.[1]

[1] *ПГУ им. С. Торайгырова (Казахстан, г. Павлодар ул. Ломова, 64)*

Рассматривая основные причины вибрации насосного агрегата, можно определиться со спектром частот, по которым необходимо произвести подбор амплитудно-частотных характеристик демпферных устройств (ДУ) и оптимизацию их параметров. Неуравновешенность ротора (дисбаланс) при его вращении вызывает переменные нагрузки на опорах ротора и изгиб вала. Это наиболее общая из часто встречающихся причин вибрации. Частота вибрации (в Гц), характерная для дисбаланса, равна $f = n/60$, где n – частота вращения ротора в минуту. Согласно исследованиям, проведенным [1], одной из наиболее значимых по величине вибрации является пульсация давления потоков в проточных частях насосов. Она происходит при понижении подачи насосов с лопастной частотой, кратной количеству лопастей в рабочем колесе, а при повышении подач сверх номинальной с лопастной частотой кратной произведению лопастной частоты и количеству лопаток отвода. Данный вид вибрации относится к внешним и сопровождается колебаниями корпуса насоса. В работе [2] предлагается устанавливать упруго-демпферные опоры агрегата между фундаментом и рамой агрегата, которые, по их мнению, должны снизить до 50 и более раз передачу на фундамент динамических (вибрационных) нагрузок генерируемых агрегатом. Применение таких амортизаторов направлено на вибрационную защиту фундамента и не снижает уровень вибрации действующих на опоры ротора. Амортизаторы устанавливают под рамой, что усложняет монтаж с целью их замены при повторной разборке и сборке конструкции .В отличии от известных трудов в предлагаемой работе исследуется влияния вибрации на техническое состояние насосных агрегатов за счет применения демпферных устройств, параметры которых определены и оптимизированы с учетом колебании отдельных частей насоса [3]. С этой целью разработана модель колебаний ротора и корпуса насоса с учетом упругих c_1, c_2 и диссипативных связей b_1, b_2 между их массами m_1 и m_2 (рис. 1). Принципиальной особенностью модели является то, что источником колебании является пульсация давления жидкости, передающееся на корпус насоса F_1, а также возмущения, передаваемые на опоры ротора от его неуравновешенности F_2. Воспользовавшись программой для решения систем линейных уравнений матричным методом (методом обратной матрицы), получим результаты расчетов в виде амплитуд колебании масс, которые с помощью коэффициентов жесткостей преобразуется в величины сил упругой деформации. По результатам расчетов модели проведена оптимизация параметров демпферов по инерционным, демпфирующим и упругим характеристикам.

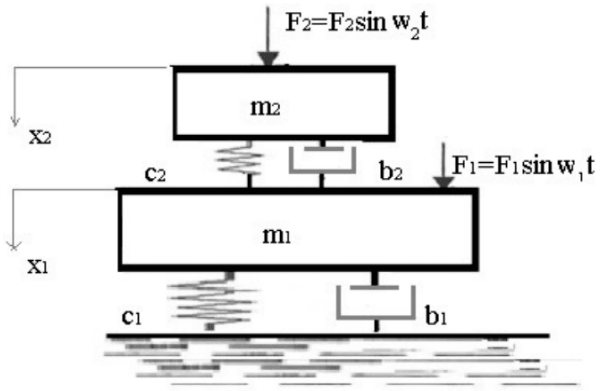


Рис. 1. Модель колебаний корпус-ротор насоса

Показано, что ДУ значительно снижают силы упругой деформации опор ротора в корпусе и насоса на раме. Так для перекачивающего насоса НМ 10000-210 применение ДУ на 2-х массах приводит к снижению амплитуды силы упругой деформации опоры насоса на раме в 315,5/39,79 = 7,9раз ,а силы на подшипниковой опоре в 131,75/14,01 = 9,4раз.Демпфирование опор не взаимосвязано и применение ДУ на одной из опор практически не отражается на демпфировании колебании другой опоры. Наибольшие амплитуды сил возникают от неуравновешенности ротора, поэтому при выборе параметров ДУ с линейными характеристиками жесткости следует ориентироваться на соответствующие возмущающие частоты. Для демпфирования колебаний от нескольких частот рекомендовано применение ДУ с нелинейными или ступенчатыми характеристиками.

Библиографический список

1. Шабаров А.Б. Модель и метод расчета периодически квазитрехмерного потока в межлопастных каналах рабочих корлес центробежных насосов / Шабаров А.Б., Перевощиков С.И., Сальников С.Ю. // Изв. вузов. Нефть и газ. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. – № 4. – С. 72–77.
2. Гумеров А.Г., Гумеров Р.С., Исхаков Р.Г., Новикова Л.Ф., Хангильдин Т.В. Виброизолирующая компенсирующая система насосноэнергетических агрегатов. – Уфа, 2008. – 328 с.: ил.
3. Балякин В.Б., Барманов И.С.Обобщенная методика расчета и проектирования упругодемпферных опор для роторов авиационных газотурбинных двигателей // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 14. – № 4. – 2012.

УДК 621.643, 624.042.7

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ В ТРУБОПРОВОДЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК

Косьмина А. О.[1], Пугачук А. С.[1,2], Мюллер Д. В.[1], Чернышев А. В.[1], Тухбатуллин Ф. Г.[3]

[1] *МГТУ им. Н. Э. Баумана (Российская Федерация, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1)*
[2] *ОИВТ РАН (Российская Федерация, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)*
[3] *РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина (Российская Федерация, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 65, корп. 1)*

Трубопроводный транспорт углеводородного сырья является наиболее широко распространенным на сегодняшний день. Магистральные трубопроводы позволяют транспортировать сырьё (нефть и газ) в самых сложных климатических условиях, что обеспечивает поставку энергоносителей с месторождений, находящихся вдали от основных центров проживания населения, к перерабатывающим предприятиям. Трубопроводы, как один из важнейших элементов топливно-энергетической системы, должны удовлетворять ряду требований во избежание аварийных ситуаций, особенно при возникновении сейсмической активности и других внешних нагружающих динамических воздействий.

В сейсмоактивных регионах строительство трубопроводов происходит в соответствии со сводом правил [1], подразумевающих применение рациональных конструктивных решений и антисейсмических мероприятий. При сейсмической активности подвергаются колебаниям не только элементы магистральных трубопроводов, но и транспортируемая среда в них. В области изучения внешних колебательных нагрузок и сейсмических воздействий на трубопроводы имеется множество исследований [2–5]. В большей степени рассматриваются вопросы обеспечения прочности трубопроводных систем, однако слабо освещена проблема изменения параметров транспортируемой среды и ее воздействия на элементы пневмогидравлических систем.

Работа направлена на выявление характера влияния на поток рабочей среды и исследование изменения его основных параметров (распределение давлений и скоростей) при внешних воздействиях на трубопроводы, представляющих имитацию действия поперечных сейсмических волн. Для проведения исследований разработан экспериментальный стенд, принципиальная схема которого изображена на рисунке 1.

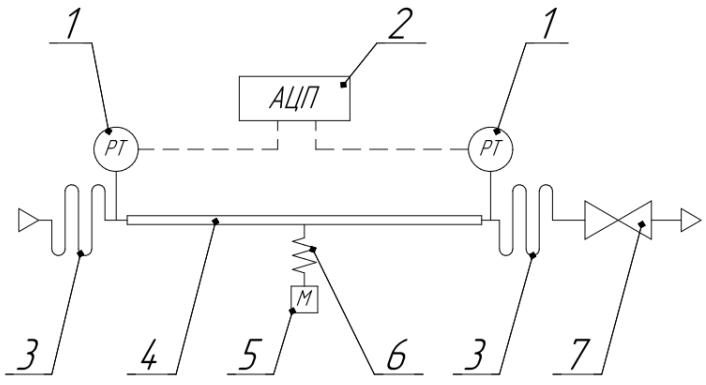


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда:
1 – манометр электроконтактный; 2 – аналого-цифровой преобразователь;
3 – гибкий шланг; 4 – трубопровод; 5 – масса; 6 – упругий элемент; 7 – вентиль

Объектом исследования является трубопровод поз. 4, который соединен на входе через гибкий шланг поз. 3 с пневматической магистралью (в качестве рабочей среды рассматривается воздух). Абсолютное давление на входе может изменяться от 0,4 до 1 МПа. На выходе трубопровод соединен с вентилем поз. 7 через гибкий шланг. На входе и выходе трубопровода подключены два манометра поз. 1, которые необходимы для определения изменения величины давления в начальном и конечном сечениях при колебательном воздействии на трубопровод. Манометры через электрическую цепь подключены к аналого-цифровому преобразователю поз. 2. К трубопроводу через упругий элемент поз. 6 подвешена масса поз. 5, с помощью этой системы прикладываются внешние колебательные нагрузки.

Библиографический список

1. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы (Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*) / Госстрой. – М.: ФАУ «ФЦС». 2013. – 93 с.

2. Хакимов А.Г., Шакирьянов М.М. Пространственные колебания трубопровода под действием переменного внутреннего давления // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2010. – Т. 14, № 2 (37). – С. 30–35.

3. Худаяров Б.А., Тураев Ф.Ж. Численное исследование колебаний трубопроводов с учетом вязкоупругого основания грунта // Вестник НТУ ХПИ. – 2017. – № 50 (1271).

4. Худаяров Б.А., Тураев Ф.Ж, Комилова Х.М. Численное моделирование колебаний трубы с потоком жидкости // Вестник НТУ ХПИ. – 2018. – № 42 (1318).

5. Семенова Ирина Ивановна Математические модели в описании колебаний и разрушения подводных трубопроводов: обзор // ОНВ. – 2000. – № 13.

УДК621.59 (66.078)

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Попов Л. В.[1], Царёв В. Г. [1]

[1] *АО «Научно-технический комплекс «Криогенная техника», Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, пр. Стачек, д. 105, корп. 5 лит. А, пом. 9Н*

В последние годы Россия непрерывно наращивает производство сжиженного природного газа (далее – СПГ), став одним из ведущих его экспортеров в мире [1]. Также возрастает роль СПГ и на внутреннем рынке. Основными перспективными направлениями его использования внутри страны являются:

– газификация объектов теплоэнергетического комплекса и населенных пунктов, удаленных от источников газопроводного природного газа, методом регазификации СПГ;

– использование на транспорте в качестве моторного топлива.

Для получения СПГ применяют установки, использующие обратные термодинамические циклы, наибольшее распространение получили следующие из них [2]:

– цикл среднего давления с детандером;

– дроссельно-эжекторный цикл высокого давления с предварительным охлаждением;

– цикл с азотным циркуляционным контуром;

– каскадный цикл со смесевым хладагентом.

Первый из циклов применяется на газораспределительных станциях для утилизации имеющегося перепада давления между магистральным и сетевым газопроводом. При этом природный газ сжижается частично и дополнительная энергия на сжижение не затрачивается.

Последние три цикла используются в установках с полным сжижением. Перечислены данные циклы в порядке возрастания производительности и термодинамической эффективности.

В современных установках с полным сжижением на основе цикла со смесевым хладагентом удельные затраты энергии составляют около 0,35 МВт·ч/т. В настоящее время минимальная производительность таких установок составляет от 1,5 до 600 т/ч. Крупные установки зачастую располагаются на побережье морей или шельфе и используются для заправки танкеров. Малые установки располагаются возле газопроводов и предназначены для снабжения крупных потребителей. Одним из направлений работ предприятия является создание комплекса оборудования для сжижения природного газа на цикле со смесевым хладагентом производительностью 2 т/ч для нужд Омской области.

Для снабжения СПГ потребителей создается инфраструктура дистрибуции, включающая системы хранения, транспортирования и регазификации СПГ на основе криогенных резервуаров и цистерн.

В отличие от других криогенных емкостей резервуары и цистерны для СПГ имеют свои особенности, связанные с пожаровзрывоопасностью. Это требует обеспечения прочности конструкции оборудования при высоких и очень низких (криогенных) температурах, защиты арматуры от прямого воздействия пламени, снабжения системой сигнализации и противоаварийной защиты.

Для создания хранилищ СПГ рядом с ожижителем планируется установка криогенных горизонтальных цистерн и вертикальных резервуаров вместимостью до 50 м^3 СПГ.

Транспортирование СПГ планируется осуществлять специальными транспортными средствами с криогенными емкостями вместимостью 1-50 м^3. Выдача СПГ из них осуществляется без подвода электроэнергии под давлением до 0,8 МПа за счет испарения небольшого количества СПГ, для чего полуприцепы оснащены атмосферными испарителями, гибкими металлорукавами, а также средствами продувки инертной средой. По индивидуальному заказу могут поставляться транспортировщики с центробежными насосами с повышенным темпом и давлением выдачи СПГ.

Для доставки СПГ потребителям также могут использоваться контейнеры-цистерны. Благодаря особенностям конструкции и соблюдению стандартных массогабаритных характеристик и специальных требований, их перевозка может осуществляться водным, железнодорожным и автомобильным видами транспорта, а также выполняться погрузка, разгрузка с продуктом унифицированным стандартным крановым оборудованием. Разработанная контейнер-цистерна КЦ-46/0,7-П вместимостью 46 м^3 имеет кожух из нержавеющей стали и может использоваться в качестве двухоболочечного резервуара, что позволяет сокращать расстояния безопасности до прочих блоков и зон комплекса СПГ.

Для газификации объектов газопотребления изготавливаются стационарные газификаторы холодные криогенные объемом резервуара от 1 до 50 м3, позволяющие регазифицировать СПГ. Производительность газификатора холодного криогенного при этом может составлять от 25 до 5000 нм^3/ч, давление выдачи до 1,6 МПа поддерживается автоматически.

Одной из выполняемых в настоящее время разработок является криогенный топливный бак БК-2/1,6 для карьерных самосвалов БЕЛАЗ 75306. Бак имеет вертикальное исполнение и отличается увеличенной вместимостью (по сравнению с аналогами) в предусмотренном габарите его установки.

Библиографический список

1. Сергей Тихонов, СПГ вне политики. Международная группа импортеров СПГ (GIIGNL) опубликовала отчет за 2018 год // «Нефтегазовая вертикаль. – 2019. – № 9. – С. 12–21.

2. Архаров А.М., Семенов В.Ю., Лихачева Н.И. Исследование эффективных малотоннажных установок сжижения природного газа // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2017. – № 4. – С. 1–11.

УДК 621.56

ВОДООХЛАЖДАЮЩАЯ ХОЛОДИЛЬНАЯ МАШИНА

Зайцев Ю. В.

АО «НТК «Криогенная техника» (Россия, г. Омск, ул. 22 Партсъезда, 97 корп. 1)

Разработка водоохлаждающей холодильной машины МХМВ-0,18 для обеспечения холодной водой систем кондиционирования воздуха выполнялась в кооперации с рядом специализированных предприятий РФ.

Тип машины – холодильная, судовая, автоматизированная, компрессионная с винтовым компрессором одноступенчатого сжатия, с конденсатором водяного охлаждения, с внутритрубным кипением хладагента в испарителе, с плавным регулированием производительности от 100 % до 25 %.

Компрессор – винтовой маслозаполненный с двумя винтами; конденсатор – кожухотрубный с U-образными трубками с внутритрубным течением охлаждающей воды; испаритель – кожухотрубный с внутритрубным кипением хладагента; регулирующий орган – электронный регулирующий вентиль.

Отличительные возможности машины:

– возможность работы при электропитании постоянным и переменным током;

– использование в качестве рабочего тела озонобезопасного хладагента;

– использование для охлаждения конденсатора морской воды;

– автоматическое регулирование холодопроизводительности путем изменения частоты вращения вала электродвигателя компрессорного агрегата;

– автоматическое поддержание температуры хладоносителя на выходе из машины.

Таблица 1. Основные технические характеристики машины

Наименование	Значение
Холодопроизводительность, кВт, не менее	180
Потребляемая мощность, кВт, не более	70
Диапазон регулирования температуры хладоносителя на выходе	от 5 до 15 °С
Точность поддержания температуры хладоносителя на выходе	±1°С
Регулирование холодопроизводительности	плавное от 100 до 25%
Хладагент	R134a

Для исключения несанкционированных ситуаций и оптимизации энергопотребления разработаны алгоритмы работы холодильной машины, предусматривающие работу МХМВ – 0,18 в ручном и автоматическом режимах.

Система управления обеспечивает местное (со встроенного пульта управления) и дистанционное автоматическое управление работой машины (плавное регулирование холодопроизводительности, поддержание требуемой температуры хладоносителя на выходе из испарителя, управление электроприводом, регулирующим вентилем и насосами охлаждающей воды и хладоносителя), защиту от аварийных режимов работы и диагностирование технического состояния оборудования машины.

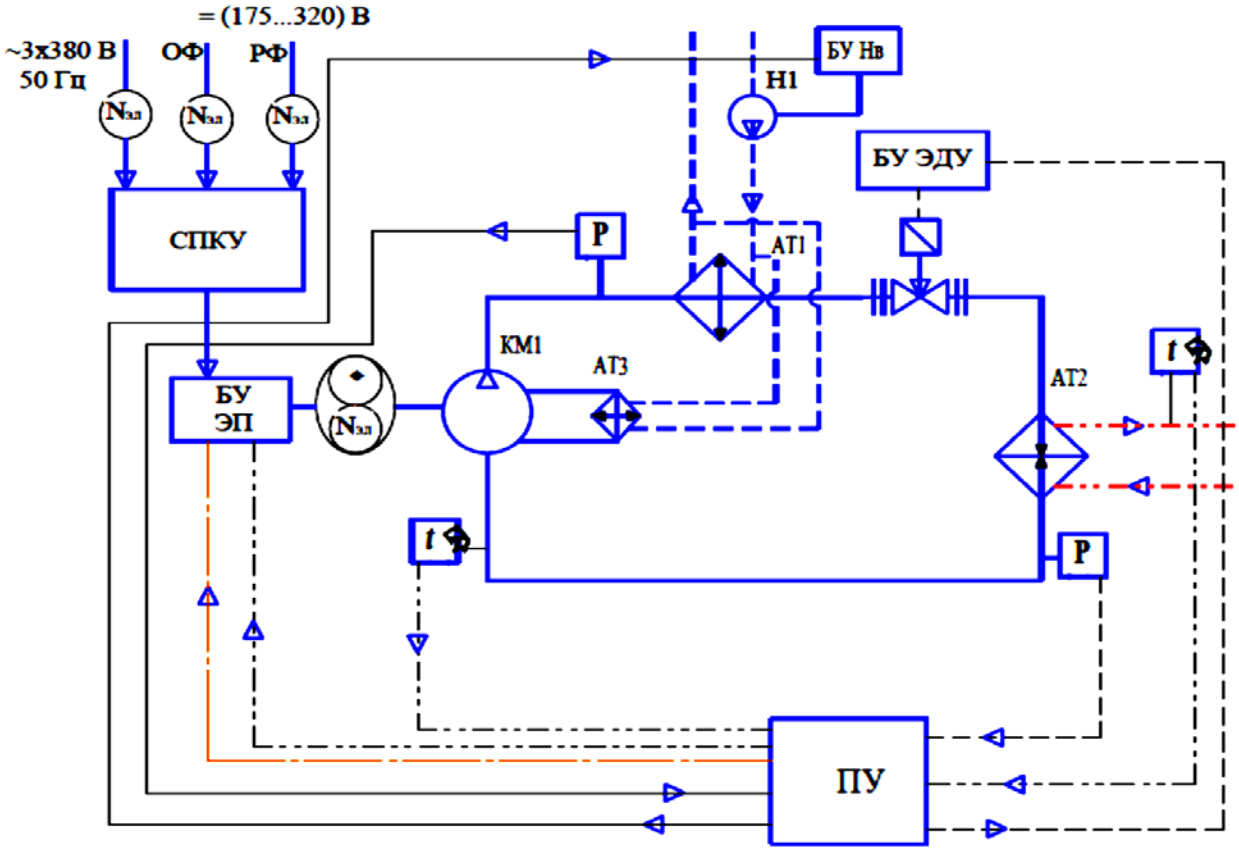


Рис 1. Схема холодильной машины:
КМ1 – компрессор, АТ1 – конденсатор, АТ2 – испаритель, АТ3 – маслоохладитель, Н1 – насос охлаждающей воды, ПУ – пульт управления, БУ ЭДУ – блок управления электронного дроссельного устройства, БУ ЭП – блок управления электропривода, БУ Нс – блок управления насоса охлаждающей воды

В автоматическом режиме работы реализуются следующие алгоритмы:
- алгоритм поддержания температуры хладоносителя;
- алгоритм ограничения давления кипения (температуры кипения) хладагента;
- алгоритм поддержания давления конденсации хладагента;
- алгоритм поддержания перегрева хладагента (защиты от «влажного хода»).

В ручном режиме работы реализуются следующие алгоритмы:

- алгоритм поддержания перегрева хладагента;
- алгоритм поддержания давления конденсации хладагента.

Библиографический список

1. Холодильные машины: Учебн. для вузов по специальности “Холодильные машины и установки” / Н.Н. Кошкин, И.А. Сакун, Е.М. Бамбушек [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1985. – 510 с.

УДК 621.565.3

ПОВЫШЕНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ВХОДНОГО КОЛЛЕКТОРА АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Филькин Н. Ю.[1], Седельников П. В.[1], Калижников В. Ю.[1], Финагин К. В.[1], Кучеров А. С.[1]

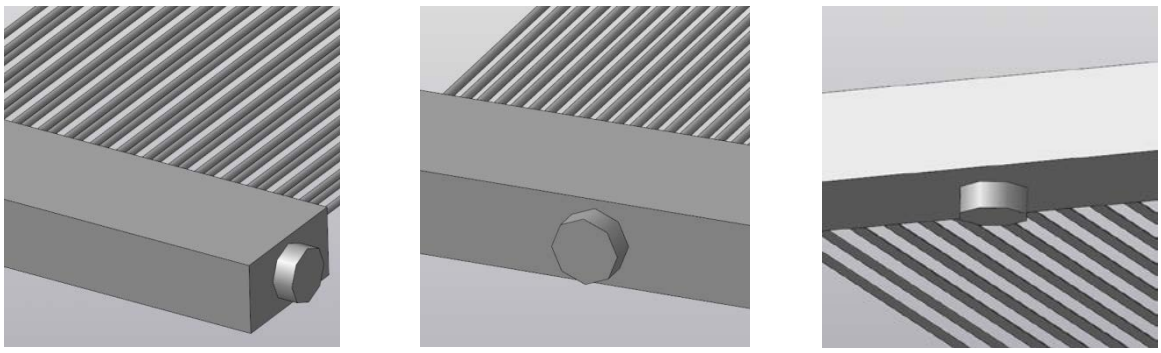
[1] *ФГБОУ ВО ОмГТУ (Россия, Омск, Мира, 11)*

На сегодняшний день одним из путей повышения эффективности аппаратов воздушного охлаждения (АВО) является снижение потерь давления потока охлаждаемой среды в теплообменной секции [1].

Возникновение этого направления связано с внедрением энергосберегающих технологий на нефтехимических и нефтегазовых предприятиях, одной из которых является снижение мощности насосного и компрессорного оборудования.

Анализ конструктивной схемы теплообменной секции горизонтального АВО позволяет выделить три ее основных элемента: входной коллектор, трубный пучок и выходной коллектор [2]. При этом наибольшие потери давления наблюдаются во входном коллекторе [3], так как в нем происходит перераспределение потока, поступающего из общего трубопровода, по трубкам теплообменной секции, что сопровождается интенсивными вихреобразованиями.

Поток охлаждаемой среды во входной коллектор может подводиться спереди, снизу и сбоку (справа или слева) (рис. 1), причем последний вариант встречается реже. Для оценки газодинамической эффективности каждого из вариантов были проведены численные газодинамические исследования в программе ANSYS CFX.



а *б* *в*

Рис. 1. Расчетные модели теплообменной секции АВО с подачей охлаждаемой среды во входной коллектор сбоку (а), спереди (б) и снизу (в)

Анализ результатов расчета показал, что подача потока спереди и снизу приводит к примерно одинаковым потерям давления, в то время как подача сбоку обеспечивает снижение потерь на 5,5%. Такие результаты можно объяснить дополнительными потерями на удар при подаче спереди и снизу по сравнению с боковой подачей, где таковые потери практически отсутствуют. Однако, как уже было сказано, боковая подача используется редко, а прямая подача спереди или снизу, напротив, применяется практически повсеместно, поэтому вопрос повышения газодинамической эффективности проточной части входного коллектора при прямой подаче является актуальным.

Для снижения потерь на удар в проточной части входного коллектора можно установить дополнительные элементы, например, плоские дефлекторы, позволяющие отклонять часть потока от центральной области. Наиболее эффективно такое решение может быть реализовано при подаче спереди (рис. 2).

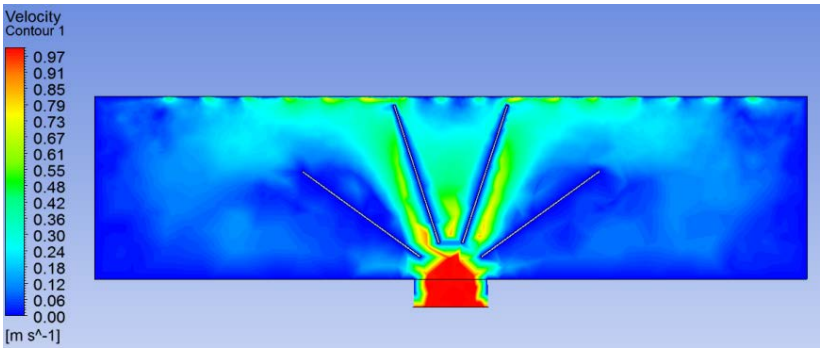


Рис. 2. Поле скоростей во входном коллекторе АВО с дефлекторами

Дополнительным положительным эффектом от установки дефлекторов является более равномерное распределение потока по трубкам теплообменной секции, что, в свою очередь, несколько снижает скорость охлаждаемой среды в трубках, а, значит, и потери давления в трубном пучке.

Анализ результатов расчета теплообменной секции с усовершенствованной проточной частью входного коллектора в целом подтвердил высказанные предположения. Потери давления снизились относительно варианта без дефлекторов на 8,7 %, а максимальное отклонение скорости потока по трубкам теплообменной секции от расчетной средней скорости уменьшилось на 13 %.

Таким образом, применение дефлекторов в проточной части входного коллектора позволяет повысить его газодинамическую эффективность, и, как следствие, все теплообменной секции АВО в целом.

Библиографический список

1. Н.П. Крюков, Аппараты воздушного охлаждения. – М.: Химия, 1983. – 168 с.

2. ГОСТ Р ИСО 13706-2006. Аппараты с воздушным охлаждением. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 56 с.

3. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М.О. Штейнберга. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

УДК 621.51

РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Белова О. В., Вульф М. Д.

МГТУ им. Н. Э. Баумана (Россия, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5)

Современная реализация проектов по модернизации или строительству в отраслях добычи, транспортировки и переработки нефти и газа требует организации работ под ключ: от разработки концепции, организации финансирования до проектирования, строительства, обеспечения поставки оборудования, пусконаладки, ввода в эксплуатацию и достижения запланированных проектом технико-экономических показателей их эксплуатации. [1].

Выбор целей, показателей и критериев эффективности часто является центральной проблемой анализа и синтеза любых систем. Чтобы при синтезе сложных технических систем сравнивать альтернативные варианты структуры и характеристик системы и выбрать наиболее предпочтительный вариант, необходимо выбрать показатели и критерии эффективности [2]. Так, на предварительную оценку проектов технико-экономического обоснования планирования выделяется фирмами в среднем в США – не менее 25 % и Японии – до 40% от общих затрат [3].

Перечисленный спектр работ требует глубокой автоматизации принятия оптимальных решений на всех этапах выполнения работ. Как правило, для каждой стадии жизненного цикла проекта существует свой специализированный IT-продукт, и в настоящее время разработка единой PLM-платформы занимаются ведущие производители ПО. Важным является разработка математической модели, которая закладывается в основу такого продукта для эффективного принятия решений при решении разнообразных задач анализа и синтеза систем.

Выбор и обоснование компрессорной техники, в особенности для нефтегазодобывающего комплекса и химической промышленности, является часто многокритериальной задачей. Работа на переменных режимах, при переменном составе газа, и другие особенности эксплуатации требуют больших расходов на обслуживание и ремонт. Разработкой методик обоснования выбора компрессорного оборудования занимаются ведущие отечественные и зарубежные специалисты [4–9]. Актуальной задачей является разработка методики автоматизированного выбора оборудования для оценки операционных расходов на эксплуатацию компрессорной установки, а значит, и стоимости жизненного цикла оборудования в целом.

Библиографический список

1. Комплексный EPC-проект ЭЛОУ-АВТ-6: лучшие практики // «Нефть. Газ. Новации». № 8 ноябрь 2019.
2. Семенов С.С. Оценка качества и технического уровня сложных систем: Практика применения метода экспертных оценок. – М.: ЛЕНАНД, 2019. – 352 с.
3. Крянев А.В., Семенов С. С. Особенности развития современной техники и метод оценки технического уровня сложных технических систем, основанных на использовании зарождающихся технологий // Управление большими системами: Сборник трудов. Выпуск 39. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – 2012. – С. 5–36.
4. Vulf M.D., Rogov P.A., Belova O.V., Gorunov S.V., Kalinkin D.A. The methodology for gas direct drive piston compressor under gas reservoir depletion constructive optimization // AIP Conference Proceedings 2141, 030025 (2019); DOI 10.1063/1.5122075.
5. Yusha V.L., Busarov S.S., Nedovenchanyi A.V. Analysis of the operating cycle efficiency of the long-stroke slow stage under the changing ratio of the piston forward and backward stroke time // AIP Conference Proceedings 2007, 030058 (2018); DOI 10.1063/1.5051919.
6. Chernov G.I., Medkova E.Y., Belova O.V., Vasilev V.K., Evdokimov V.S. The analysis of the climate conditions impact on the mobile compressor unit heat losses recovery system operation efficiency // AIP Conference Proceedings 2007, 030023 (2018); DOI 10.1063/1.5051884.
7. Kotlov A.A., Kuznetsov L.G., Burakov A.V. Analysis of reciprocating booster compressor performance by mathematical modelling methods // AIP Conference Proceedings 2141, 030012 (2019); DOI10.1063/1.5122062.
8. Larralde E., Ocampo R. Selection Of Gas Compressors: Part 3 // World Pumps. V. 2012, Issue 2, P. 36–38, 40–41. DOI 10.1016/S0262-1762(12)70031-7.
9. Brown R.N. Compressors: Selection and Sizing, 3rd ed. 2005. Elsevier Science & Technology Books. 625 p.

УДК 621.56

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ

Петров Е. Т.[1], Круглов А. А.[1], Паршин В.[1]

[1] *Университет ИТМО (РФ, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, д. 9)*

Обеспечение экологической безопасности и эффективности как на действующих, так и на проектируемых предприятиях в настоящее время требует системного подхода при скоординированных действиях по всему комплексу нижеперечисленных проблем:

– формирование государственной стратегии перехода на экологически безопасные рабочие вещества с учетом технико-экономических особенностей;

– формирование списка перспективных хладагентов и хладоносителей;

– формирование стратегий технического перевооружения объектов;

– формирование новых схем холодоснабжения, обеспечивающих высокий уровень эффективности и безопасности эксплуатации при минимальной вместимости рабочих веществ.

Постоянный рост тарифов на электроэнергию, потребность в снижении стоимости выпускаемой продукции и т.д. требуют повышения эффективности проектируемых и действующих систем холодоснабжения, модернизации холодильного оборудования, совершенствования различных схемных решений.

Особое внимание уделяется в настоящее время возможности использования систем с совмещением обратных и прямых энергетических циклов, когда применение диоксида углерода в прямом цикле позволяет использовать его при низких давлениях для отвода теплоты от потребителей.

На предприятиях нефтехимической, нефтеперерабатывающей и газоперерабатывающей промышленности в значительной степени используются центробежные компрессоры, что позволяет существенно повысить эффективность систем холодоснабжения за счет комплексного использования ряда мероприятий:

– использования схем многоступенчатого сжатия и холодильных циклов с многократным дросселированием;

– использования контактного ("испарительного") промежуточного охлаждения перегретых паров;

– использования частотных преобразователей в системах электропривода.

Практически полное отсутствие масла в системе ЦКМ и возможность регулирования всех секций позволяют прогнозировать высокую эффективность этих машин при любом характере изменения тепловой нагрузки ($Q_o = const$; $Q_o = var$) в любых климатических условиях.

Основными методами повышения эффективности и экологической безопасности систем холодоснабжения являются:

1) Создание высокоэффективного и надежного компрессорного оборудования, новых схем, информационно-измерительных систем, средств управления и программного обеспечения, позволяющих решать задачи оптимального проектирования и комплексного оптимального управления в процессе эксплуатации [1, 2, 3, 4].

2) Разработка и использование многоступенчатых, каскадных и однопоточных холодильных циклов с оптимальными значениями необратимых потерь.

3) Разработка и использование высокоэффективных и экологически безопасных холодильных агентов и хладоносителей [5].

4) Количество температурных уровней и распределение по ним охлаждаемых потоков определяются на основе результатов термодинамической оптимизации с учетом размеров капиталовложений.

5) Разработка и использование эффективных контактных тепломассообменных аппаратов для охлаждения перегретых паров.

6) Разработка и использование алгоритмов оптимального проектирования и адаптивного управления в процессах проектирования и эксплуатации систем.

Библиографический список

1. Петров, Е.Т. Особенности автоматизированного проектирования систем хладоснабжения предприятий большой мощности [Текст] / Е.Т. Петров // Известия СПбГУНиПТ. – 2004. – № 1(6). – С. 20–26.

2. Петров, Е. Т. Анализ методов снижения энергопотребления систем холодоснабжения предприятий в процессе круглогодичной эксплуатации [Текст] / Петров Е. Т., Круглов А. А., Рукобратский Н. И. // Вестник MAX. – 2015. – № 1. – С. 34–38. ISSN: 1606-4313.

3. Холодильная установка [Текст] : полезная модель RU 26262 U1 Рос. Федерация : МПК F25B 1/00 / Петров Е.Т., Наместников С.Н. ; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский гос. ун-т низкотемпературных и пищевых технологий. – № 2002114144/20 ; заявл. 27.05.2002 ; опубл. 20.11.2002, Бюл. № 32.

4. Холодильная установка [Текст] : полезная модель RU 140261 U1 Рос. Федерация : МПК F25B 1/00 / Петров Е.Т., Наместников С.Н., Круглов А.А., Цупиков Д.В. ; заявитель и патентообладатель Минпромторг России (RU), ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский НИУ ИТМО (RU). – № 2013115955/06 ; заявл. 09.04.2013 ; опубл. 10.05.2014, Бюл. № 13.

5. Хладоноситель [Текст] : патент RU 2318010 C2 Рос. Федерация : МПК C09K 5/02, A23L 3/36 / Бараненко А.В., Кириллов В.В., Петров Е.Т.; заявитель и патентообладатель Бараненко А.В., Кириллов В.В., Петров Е.Т. – № 2006100637/04 ; заявл. 10.01.2006 ; опубл. 27.02.2008.

УДК 621.56

ХОЛОДИЛЬНАЯ УСТАНОВКА ОДНОВРЕМЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА И ХЛАДОНОСИТЕЛЯ

Пиндзин Л. Р.

АО «НТК «Криогенная техника» (Россия, г. Омск, ул. 22 Партсъезда, д. 97/1)

Холодильная установка предназначена для охлаждения хладоносителя, подаваемого в теплообменники охлаждаемых устройств, и охлаждения и одновременного осушения воздуха, поступающего от внешнего вентилятора, в системах микроклимата.

Тип установки – судовая, шкафного типа, компрессионная, с водяным охлаждением конденсатора и герметичным воздушным трактом.

В качестве хладоносителя и охлаждающей воды должна применяться пресная вода. В качестве хладагента – фреон R134a.

Установка работает в следующих режимах:

а) охлаждение хладоносителя одним компрессором (режим 1);

б) охлаждение хладоносителя двумя компрессорами (режим 2);

в) охлаждение воздуха одним компрессором (режим 3);

г) одновременное охлаждение хладоносителя и воздуха двумя компрессорами (режим 4).

Управление установкой осуществляется по командам центральной системы управления (дистанционное управление) или с дисплея локальной системы управления установки (местное управление). Связь локальной системы управления установки с центральной системой управления осуществляется по интерфейсу RS-485 (протокол обмена Modbus RTU).

Установка работает по циклу одноступенчатого сжатия паров хладагента в компрессорах (рис. 1).

Пары хладагента, сжатые в одном или обоих компрессорах (в зависимости от выбранного режима), поступают по трубопроводам в межтрубное пространство конденсатора КН1, где отдают тепло охлаждающей воде, проходящей по трубкам конденсатора, охлаждаются и конденсируются.

Жидкий хладагент поступает в адсорбер АД1, который служит для очистки хладагента от механических примесей и осушения от паров влаги.

В установке применен один холодильный контур для одновременного или поочередного (по необходимости) охлаждения двух сред. Подача (прекращение подачи) хладагента в воздухоохладитель ВО1 и испаритель И1 в соответствие с выбранным режимом, осуществляется открытием/закрытием электромагнитных клапанов КЭМ1 и КЭМ2.

Газообразный хладагент после воздухоохладителя ВО1 и (или) испарителя И1 по трубопроводам поступает на всасывание одного или двух компрессоров (в зависимости от выбранного режима). Далее цикл повторяется.

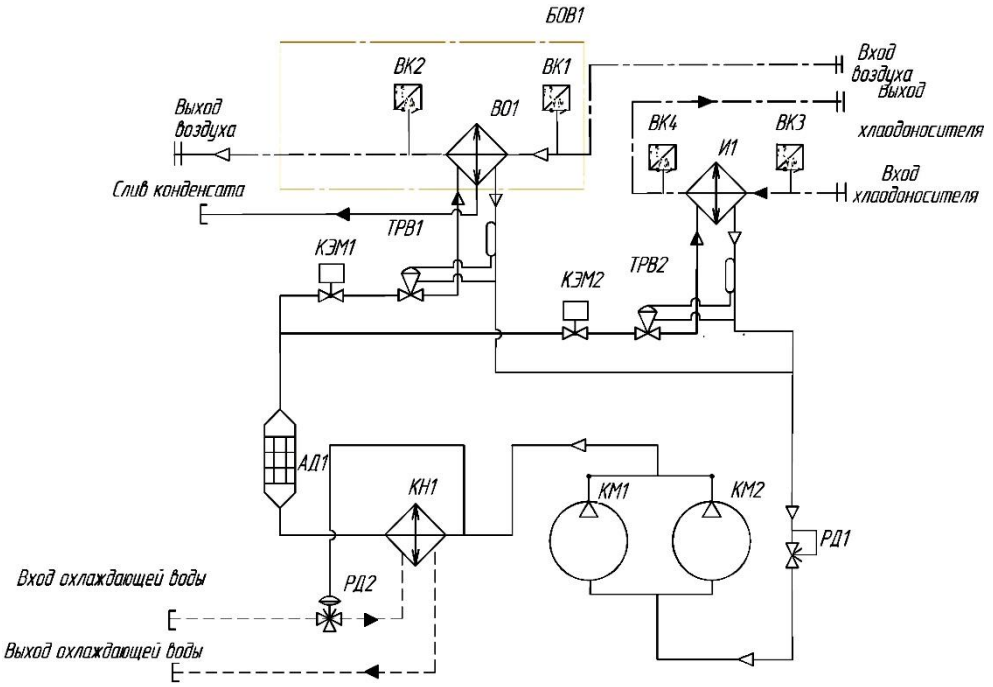


Рис. 1. Пневмогидравлическая схема установки:
А1 – адсорбер; БОВ1 – блок обработки воздуха; ВО1 – воздухооладитель;
ВК1-ВК4 – термометры сопротивления; И1 – испаритель; КМ1, КМ2 – спиральные компрессоры;
КН1 – конденсатор-ресивер; КЭМ1, КЭМ2 – клапаны электромагнитные; РД1 – регулятор давления кипения;
РД2 – регулятор давления конденсации; ТРВ1, ТРВ2 – вентили терморегулирующие

Применение установок с возможностью одновременного или поочередного охлаждения двух сред позволяет оптимизировать проектируемые системы с точки зрения повышения их эффективности, сокращения энергозатрат, массогабаритных характеристик и капиталовложений.

Библиографический список

1. Богданов С. Н. Холодильная техника. Свойство веществ: справочник / С.Н. Богданов, О.П. Иванов, А.В. Куприянова; под ред. С.Н. Богданова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 208 с.

УДК 624.131, 624.154

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТА В ОКОЛОСВАЙНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ФУНДАМЕНТОВ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ И НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛЕЙ

Грузин А. В.

ФГБОУ ВО ОмГТУ (Российская Федерация, г. Омск, пр. Мира, д. 11)

Задача снижения капитальных затрат при устройстве оснований и фундаментов объектов нефтегазовой и нефтеперерабатывающей отраслей не теряет своей актуальности в современных экономических условиях. Особенность современного этапа развития отраслей заключается в существенном изменении как климатических, так и инженерно-геологических условий размещения объектов технологической инфраструктуры нефтяной отрасли в сравнении с традиционными районами добычи транспорта и хранения углеводородов прошлого века. Для успешного освоения новых месторождений необходимы новые ресурсосберегающие конструктивные решения и технологии для их реализации [1]. Примером рационального использования материальных ресурсов в районах, удалённых от баз материального снабжения, могут служить фундаменты на набивных сваях [2]. Одним из достоинств набивных свай является техническая и технологическая простота их устройства. Другим достоинством набивных свай является возможность использования дешёвых материалов, рассчитанных только на эксплуатационную нагрузку, в отличие от забивных свай, материал которых рассчитан на ударную нагрузку, которая во много раз выше эксплуатационной [3].

В ходе теоретических исследований было получено уравнение, описывающее пространственное распределение сжимающих напряжений σ в околосвайном пространстве

$$\sigma = K_1 \cdot \int_0^{\pi/2} \cos^2 \alpha \cdot \left(r + r_c \cdot (1 - \cos\alpha)\right)^3 \cdot I_1 \cdot d\alpha,$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от величины распределённой нагрузки p на боковую поверхность скважины и радиуса скважины r_c; r – расстояние от оси скважины до исследуемой точки околосвайного пространства; r_c – радиус скважины; I_1 – интегральное выражение, зависящее от радиус-вектора R, соединяющего центр нагруженной элементарной площадки и исследуемую точку околосвайного пространства, и глубины заложения скважины z_c.

Поскольку аналитическое решение полученного уравнения не представляется возможным, предлагается для его решения использовать численные методы. Исходными данными для решения интегрального уравнения являются следующие параметры: радиус скважины r_c и глубина её заложения z_c, а так же величина давления на стенку скважины p.

Известно, что на величину уплотнения грунта влияют сжимающие напряжения, возникающие под действием прикладываемой внешней нагрузки [4]. В процессе уплотнения грунта существенным образом изменяются характеристики его механических свойств, в частности характеристики деформационных свойств, такие, как, например, модуль деформации грунта. Уплотнение грунта приводит к увеличению его модуля деформации, что положительно сказывается на несущей способности свайного фундамента по грунту основания. Предварительные результаты аналитических исследований полученного интегрального уравнения подтвердили возможность увеличения несущей способности висячей набивной сваи по грунту основания, что обеспечивает возможность значимого сокращения капитальных затрат на этапе строительства фундаментов объектов нефтегазовой отрасли по сравнению с традиционно используемыми технологиями.

Библиографический список

1. Gruzin A.V., Tokarev V.V., Shalai V.V., Logunova Yu.V. The Artificial Additives Effect to Soil Deformation Characteristics of Oil and Oil Products Storage Tanks Foundation // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 113. – Pp. 158–168.

2. Грузин, В. В. Прогрессивные конструкции висячих свай для работы в сложных грунтовых условиях / В. В. Грузин, А. В. Грузин, А. Д. Русанова // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2019. – № 5 (89). – С. 34–39.

3. Gruzin, A. V. Method of the cast-in-place friction pile well walls local soil compaction [Electronic resource] / A. V. Gruzin, V. V. Gruzin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1050. – DOI: 10.1088/1742-6596/1050/1/012031.

4. Gruzin, A. V. Improvement of a dispersed non-cohesive soil deformation model [Electronic resource] / A. V. Gruzin, V. V. Gruzin // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1210. – DOI: 10.1088/1742-6596/1210/1/012055.

УДК 621.515; 532.5

РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЯ В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАЗИТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ

Поташев А. В.[1], Поташева Е. В.[1], Хисамеев И. Г.[2]

[1] *Казанский кооперативный институт (филиал) Российского университета кооперации (Россия, г. Казань, ул. Н. Ершова, 58)*

[2] *Казанский национальный исследовательский технологический университет (Россия, г. Казань, К. Маркса, 68)*

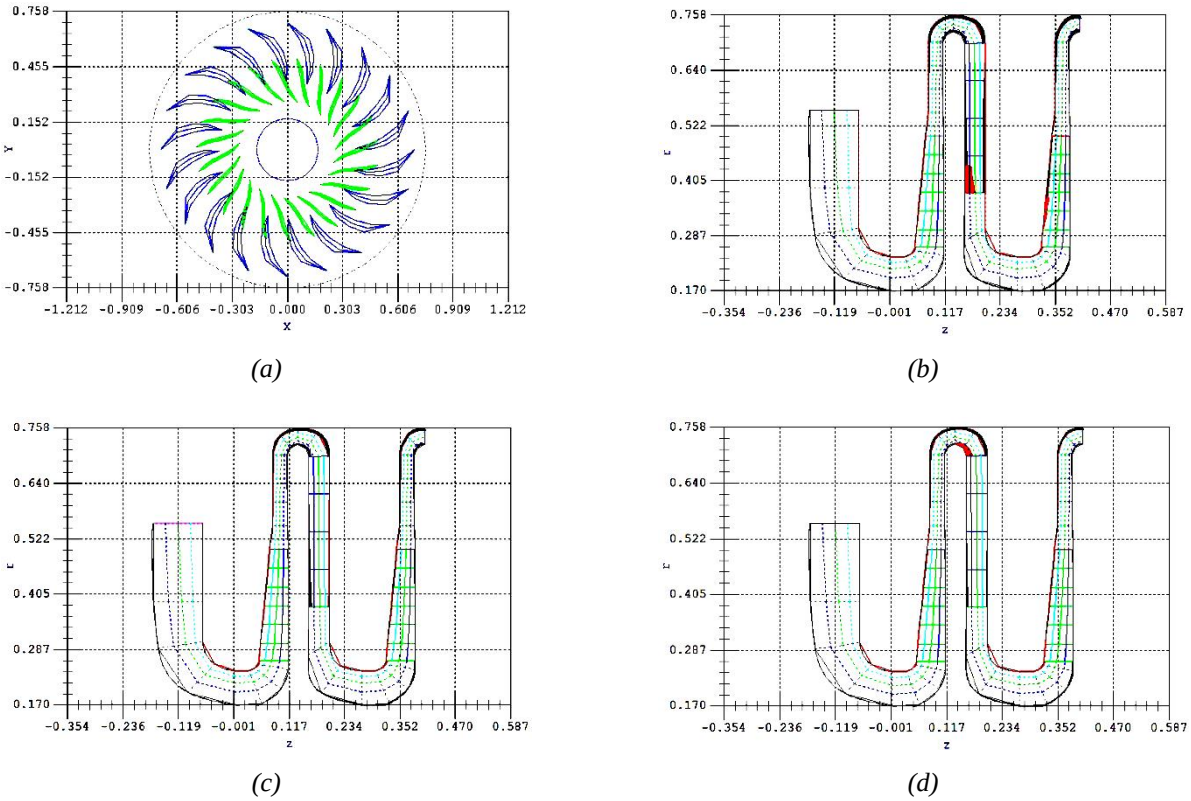
При проектировании турбомашин различного назначения необходимо проводить расчет течения через их неподвижные и подвижные элементы. Одним из подходов к решению этой задачи является использование хорошо себя зарекомендовавшей классической квазитрехмерной модели [1]. В работе [2] эта модель распространена на дозвуковой поток газа при расчете осредненного осесимметричного потока.

В настоящей статье показана работа составленного на этой основе программного комплекса, проводящего расчеты с учетом взаимовлияния решений двух двумерных задач друг на друга и с учетом сжимаемости газового потока.

Как было показано в [2], учет сжимаемости среды по сравнению с несжимаемым потоком приводит к необходимости проведения итераций для определения поля плотности газа в проточной части. В этой связи удалось построить единую методику расчета осредненного осесимметричного потока, как несжимаемой жидкости, так и газа. Эта программа является реализацией методики [3], доработанной с учетом работы [2].

Также, при составлении программы была полностью построена методика расчета течения газа через проточную часть турбомашины с учетом взаимовлияния решений двух двумерных задач друг на друга. Для расчета потерь энергии была применена методика, описанная в работе [4].

Приведены примеры использования составленной программы при проведении расчета течения в проточных частях центробежных компрессоров. В частности, был проведен расчет двухступенчатой проточной части, состоящей из семи участков, включающих в себя три лопаточных участка (два рабочих колеса и обратный направляющий аппарат) и четыре безлопаточных (рис. 1).



(a) *(b)*

(c) *(d)*

Рис. 1. Форма лопаток рабочих колес и ОНА для двухступенчатой проточной части (a); форма поверхностей тока для двухступенчатой проточной части при $\varphi_0 = 0.05$ *(b),* $\varphi_0 = 0.07$ *(c),* $\varphi_0 = 0.10$ *(d)*

Разработанные методика и программа расчета осесимметричного потока обеспечивают расчет проточной части центробежных компрессоров, включая как безлопаточные, так и лопаточные неподвижные и вращающиеся элементы. Учет переменности стеснения потока дает возможность существенно усовершенствовать процесс проектирования, так как приводит к более точному расчету осредненного осесимметричного потока и, как следствие, к более точному определению значений коэффициента потерь, а, следовательно, и КПД. В результате получен инструмент проектирования, пригодный для проведения многовариантных расчетов с существенно меньшими затратами машинного времени по сравнению с конечно-разностными методами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-41-160026.

Библиографический список

1. Степанов Г.Ю. Гидродинамика решеток турбомашин. – М.: Физматгиз, 1962. – 512 с.

2. Поташев А.В., Поташева Е.В. Учет сжимаемости осредненного осесимметричного потока в проточной части турбомашин // Компрессорная техника и пневматика. – 2017. – № 6. – С. 4–8.

3. Поташев А.В., Поташева Е.В. Разработка методики и программы расчета осредненного осесимметричного потока с учетом переменности стеснения потока // Компрессорная техника и пневматика. – 2005. – Вып. 2. – С. 8–12.

4. Поташева А.В., Поташева Е.В., Кочергин А.В., Павлов Г.И. Расчет интегральных характеристик течения в турбомашинах на основе квазитрехмерной модели // Вестник КГТУ им А.Н. Туполева. – 2014. – № 3. – С. 62–64.

УДК 004.891, 621.646

МЕТОД РАЗРАБОТКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Пугачук А. С.[1,2]

[1] *МГТУ им. Н. Э. Баумана (РФ, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1)*
[2] *ОИВТ РАН (РФ, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)*

Трубопроводная арматура является одним из важнейших элементов нефте- и газотранспортных систем, систем теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения. Управление потоками рабочих сред в системе трубопроводов осуществляется с помощью запорно-регулирующей арматуры (ЗРА). Арматуростроение Российской Федерации в настоящее время представлено более 400 предприятиями, выпускающими ежегодно более 20 млн. единиц продукции на сумму около 1,7 млрд. долларов. Однако перспективам развития российской нефтегазовой отрасли препятствует технологическое отставание, невосприимчивость к появлению и внедрению новых технологий.

Применение цифровых двойников [1] технических устройств как элемента четвертой промышленной революции позволяет перейти на более качественный уровень разработки и эксплуатации трубопроводных систем, ЗРА и агрегатов, принцип действия которых основан на использовании в качестве рабочих сред жидкости или газа (пневмогидравлических систем – ПГС).

От стабильной работы запорно-регулирующей арматуры зависит бесперебойность работы сложнейших дорогостоящих ПГС. Этот ответственный тип устройств подвержен неисправностям и отказам по производственным, конструкционным и эксплуатационным причинам [2].

Выход из строя ЗРА связан с проблемой коррозии и механического воздействия транспортируемой среды в рабочей полости. Значительную часть общих потерь при транспортировке рабочих сред составляют гидравлические потери энергии из-за сужения проточной полости в ЗРА. Привод запорно-регулирующими органами пневмогидравлических систем имеет в подавляющем большинстве случаев избыточную мощность по причине недостаточной информации о силовых факторах, действующих на элементы ЗРА при различных режимах работы. Возникновение вибраций в результате автоколебательных процессов и пульсаций давления, а также сейсмическое воздействие являются одной из важнейших проблем, особенно в отдаленных от промышленных центров объектах ПГС. Надежность ЗРА должна быть обеспечена в ряде случаев в широком диапазоне термических, внешних и внутренних негативных воздействий, что связано с дополнительными требованиями к конструктивному исполнению таких систем [3].

Все вышеописанные проблемы требуют обобщенного решения и связаны с одной научной задачей – разработкой комплексного подхода к цифровому моделированию рабочих процессов движения рабочих сред и их взаимодействия с элементами проточной части ЗРА.

В работе предлагается концепция метода разработки и совершенствования пневмогидравлических систем, позволяющего получить не только работоспособную совокупность трубопроводов и ЗРА, но и спрогнозировать рабочие характеристики с учетом условий эксплуатации изделий. Метод основан на применении цифровых двойников элементов трубопроводной арматуры и пневмогидравлических систем в целом. Цифровой двойник как виртуальный аналог физического устройства является набором математических моделей и данных виртуальных и натурных экспериментов, нейросетевых моделей [4], характеризующих протекание рабочих процессов в реальных пневмогидравлических системах. На этапе разработки системы такой двойник позволяет получить информацию о рабочих параметрах и взаимовлиянии внутренних процессов, смоделировать работу устройств с учетом воздействия внешних факторов. На этапе эксплуатации систем применение цифрового двойника с интеграцией в него данных с датчиков реальных объектов позволяет провести прогнозирование рабочих параметров и определить долговечность пневмогидравлических систем, получить информацию, необходимую для своевременного обслуживания.

Реализация предложенной концепции и создание метода разработки и совершенствования пневмогидравлических систем способствует энергоэффективности и надежности технических объектов нефтегазовой отрасли, а также снижению финансовых затрат, требуемых для обеспечения жизненного цикла изделий.

Библиографический список

1. Цифровая трансформация экономики и промышленности: сборник трудов научно-практической конференции с зарубежным участием, 20–22 июня 2019 г. / под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 780 с.

2. М.Р. Ишмеев. Идентификация технического состояния трубопроводных систем: дис. … канд. техн. наук. Оренбург. – 2009. – 161 с.

3. М.И. Панченко. Методика назначения срока службы трубопроводной арматуры // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2011. – № 4. – С. 261–271.

4. А.Н. Васильев., Д.А. Тархов, Г.Ф. Малыхина. Методы создания цифровых двойников на основе нейросетевого моделирования // Современные информационные технологии и ИТ-образование. СПбПУ. – 2018. Т. 14. – № 3. – С. 521–532.

УДК 621.577

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛОВОГО НАСОСА В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Татаренко Ю. В.[1], Рачковский Н. О.[1], Жилкин А. Ю.[3], Сухов П. С.[4]

[1] *Национальный исследовательский университет ИТМО*
(Российская Федерация, г. Санкт – Петербург, Кронверкский пр., 49)

В настоящее время тепловые насосы занимают важное место в развитии альтернативной энергетики на возобновляемых источниках энергии. В центральной (Великобритания, Германия, Франция, Швейцария) и северной Европе (Норвегия, Швеция, Финляндия), а также в Китае и Японии тепловые насосы активно применяются для отопления и горячего водоснабжения.

Необходимо отметить, что развивающиеся страны также уделяют большое внимание развитию альтернативной энергетики на тепловых насосах. Хорошим примером служит Китайская Народная Республика. В последние несколько лет в КНР уделяется внимание энергосбережению и выбросов парниковых газов. В связи с этим были приняты ряд законов и постановлений правительства касающиеся применения возобновляемых источников энергии и энергосбережения в целом [1].

В настоящей работе объектом исследования является тепловой насос с одноступенчатым сжатие рабочего вещества. В качестве источника низкопотенциальной теплоты принята теплота Финского залива Балтийского моря. Передача теплоты от теплового насоса к потребителю осуществляется промежуточным теплоносителем – водой. Принципиальная схема теплового насоса представлена на рис. 1. Для анализа работы теплового насоса были выбраны следующие рабочие вещества (холодильные агенты): *R134a* и *R410a*.

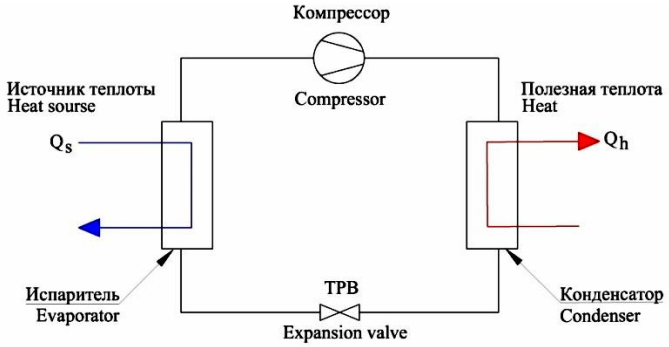


Рис. 1. Принципиальная схема теплового насоса

Анализируя полученные данные, можно говорить о том, что коэффициент преобразования в период с ноября по апрель изменяется слабо и применять тепловой насос можно как для отопления, так и для горячего водоснабжения. Резкий рост значения наблюдается с мая по июль, что обусловлено ростом температуры источника низкопотенциальной теплоты t_s. В период с мая по октябрь применение теплового насоса возможно только для горячего водоснабжения в связи с отсутствием потребности в отоплении. Количество отбираем теплоты Q в течении года изменяется слабо. Необходимо отметить, что на увеличение значения *COP* в период с мая по октябрь сильное влияние оказывает снижение потребляемой мощности компрессором W, которое затрачивается на сжатие рабочего вещества. Разница значений коэффициентов преобразования рассматриваемых рабочих веществ изменяется в интервале от 7,58% до 9,70% в зависимости температуры источника низкопотенциальной теплоты t_s. Методика построения данных характеристик приведена в литературе [3–4].

Библиографический список

1. Z. Fang, N. Diao, L. Fang, The ground-coupled heat pump technology in China International Geothermal Conference // IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – С. 249

2. Татаренко Ю.В., Введение в математическое моделирование характеристик паровых компрессорных холодильных машин. – СПб.: Университет ИТМО, Институт холода и биотехнологий, 2015. – 98 с.

3. Морозюк Т.В., Теория холодильных машин и тепловых насосов. – Одесса: Студия «Негоциант», 2006. – 712 с.

4. A.F. Atwan, N.K. Kasim, W.A. Khudhair, Effect of geothermal heat pump on carbon dioxide emissions // International journal of scientific & technology research. – October 2016. – № 5 (10). – С. 175–178.

УДК 621.512.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАНЖЕТНОГО УПЛОТНЕНИЯ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ РАБОЧЕЙ КАМЕРЫ

Бусаров И. С., Недовенчаный А. В., Кобыльский Р. Э., Демин И. С., Соломкин А. А.

ФГБОУ ОмГТУ (Россия, 644050, г. Омск пр. Мира, 11)

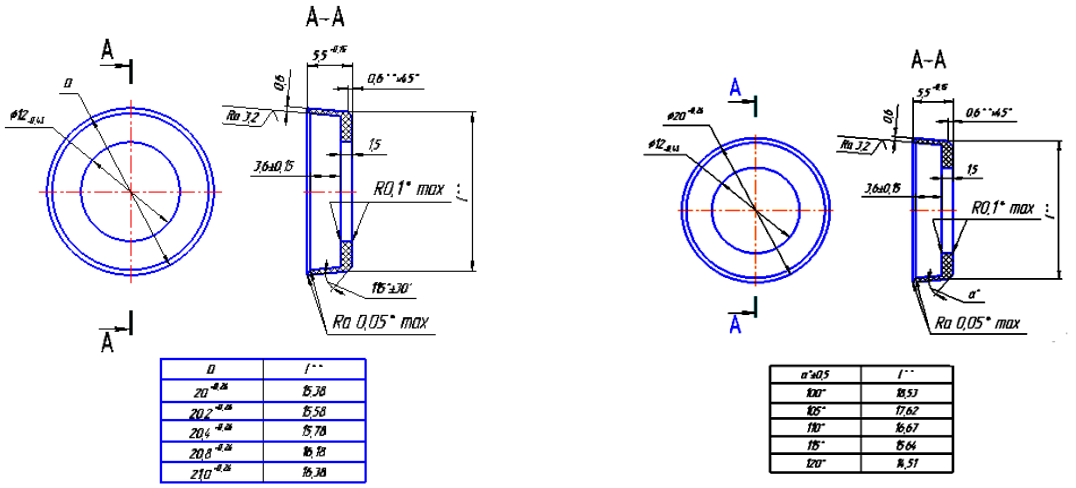
В следствие негерметичности рабочей камеры в процессе работы тихоходной ступени всегда присутствуют утечки сжимаемого газа, которые негативно сказываются на эффективности рабочего процесса. Основными факторами, влияющими на величину утечек в данном случае является величина перепада давления на уплотнений и время рабочего цикла, которые может составлять 2...4 с. [1].

Для определения влияния конструктивных особенностей манжетного уплотнения на герметичность рабочей камеры были проведены статические продувки, состоящие из двух этапов: 1 этап – проведение статических продувок манжетного уплотнения с одинаковым диаметром при разном угле раскрытия (см. рис. 1а); 2 этап – проведение статических продувок манжетного уплотнения с наилучшим углом (углом при котором достигалась максимальная герметизация рабочей камеры) при разном диаметре манжет (см. рис. 1б).

После проведения испытаний, были получены экспериментальные графики: зависимость давления в камере от времени для различных конфигураций манжетного уплотнения (см. рис. 2).

Проведённые экспериментальные исследования могут быть в дальнейшем использованы в качестве рекомендаций при проектировании уплотнений цилиндропоршневой группы тихоходных длинноходовых компрессорных ступеней.

Полученные результаты позволили определить геометрические параметры манжетного уплотнения, при котором утечки имеют наименьшее значение для номинального диаметра цилиндра – 20 мм. Такими параметрами являются внешний диаметр – 20,8 мм и угол раскрытия манжеты – 115°.

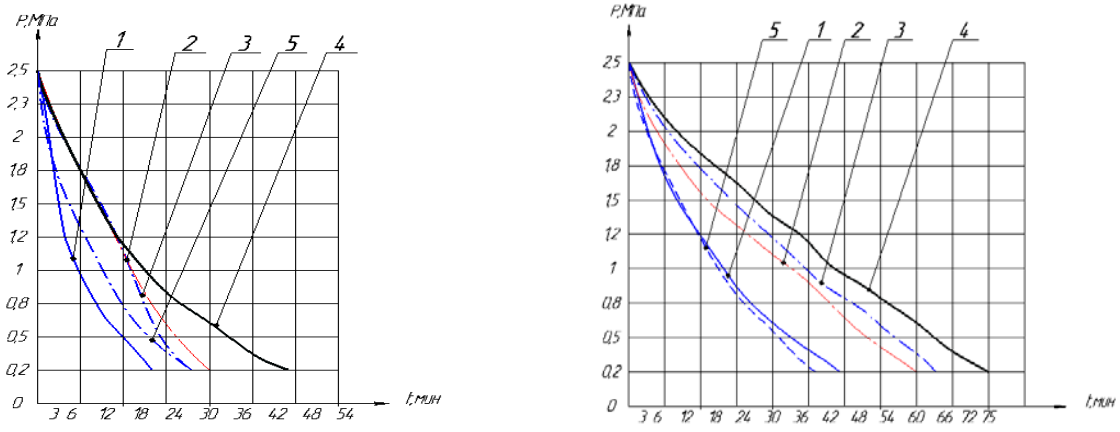


d	l**
20	15,38
20,2	15,58
20,4	15,78
20,8	16,18
21,0	16,38

α*±0,5	l**
100°	18,53
105°	17,62
110°	16,67
115°	15,64
120°	14,51

а *б*

Рис. 1. Чертежи манжетного уплотнения:
а) Чертеж манжетного уплотнения при постоянном диаметре с разными углами раскрытия;
б) Чертеж манжетного уплотнения при угле раскрытия 115° с разными диаметрами



а *б*

Рис. 2. Экспериментальные значения падения давления в зависимости от времени для различных манжетных уплотнений:
а) 1 – манжетное уплотнение при угле 100°, 2 – манжетное уплотнение при угле 105°, 3 – манжетное уплотнение при угле 110°, 4 – манжетное уплотнение при угле 115°, 5 – манжетное уплотнение при угле 120°;
б) 1 – манжетное уплотнение при диаметре 20 мм; 2 – манжетное уплотнение при диаметре 20,2 мм; 3 – манжетное уплотнение при диаметре 20,4 мм; 4 – манжетное уплотнение при диаметре 20,8 мм; 5 – манжетное уплотнение при диаметре 21 мм

Библиографический список

1. Busarov S.S., Vasil'evV.K., Busarov I.S., Nedovenchanyi A.V. Experimental determination of the conventional clearance in valves of oil-free reciprocating compressor units // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1876, Issue 1.P. 020043-1-020043-7. DOI: 10.1063/1.4998863.

УДК 621.65.05

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО КАВИТАТОРА В СОСТАВЕ СИСТЕМ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ

Григорьев С. В.[1], Верещак К. А.[1], Поляков Р. Н.[2]

[1] *ВГТУ (Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84)*
[2] *ОГУ имени И. С. Тургенева (Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе 29)*

Важнейшей сырьевой базой нефтяной отрасли не только России, но других нефтедобывающих стран мира являются запасы тяжёлой и битумной нефти. Их мировой суммарный объем составляет более 800 млрд. тонн, что почти в пять раз больше объёма остаточных извлекаемых запасов нефти малой и средней вязкости, составляющий 162,3 млрд. тонн.

В соответствии с Генеральным планом развития нефтяной отрасли до 2020 года 67% запасов являются трудно извлекаемыми, из которых 13% приходится на долю высоковязкой нефти (рисунок 1).

Рис. 1. Доля активных запасов нефти в РФ

Нефтяные компании уделяют все большее внимание разработке данного вида углеводородного сырья из-за его высокого ресурсного потенциала. В настоящее время среднегодовой объем производства такой нефти в мире приближается к 500 млн. тонн, а накопленная добыча превышает 14 млрд. тонн.

Действующие магистральные трубопроводы в условиях постоянного повышения износа оборудования могут обеспечивать безаварийный режим работы за счёт снижения рабочего давления, что, в свою очередь, приводит к снижению пропускной способности нефтепровода. При этом объёмы добычи ежегодно растут и трубопроводный транспорт должен постоянно увеличивать пропускную способность.

Для магистральных трубопроводов наибольшее распространение получил способ «горячей» перекачки. Нефть нагревается в печах − теплообменниках головной станции, приобретая свойства ньютоновской жидкости, и закачивается в магистральный нефтепровод. По длине трубопровода через каждые 25...100 км устанавливаются промежуточные тепловые и насосные станции, на которых нефть снова подогревают и перекачивают дальше.

Одним из эффективных способов нагрева высоковязкой нефти является использование гидравлического теплогенератора, использующего в основе своей работы явление кавитации [1, 2, 3]. Основными направлениями применения гидродинамических кавитационных установок являются:

− подготовка нефти для транспортировки по трубопроводам, что приводит к уменьшению вязкости нефти, деструкция парафинов приводит к уменьшению отложений на стенках труб;

− предкрекинговая обработка нефти с целью увеличения выхода лёгких фракций;

− производство много компонентных топлив, смесевых бензинов, биотоплив, зимнего дизеля;

− нефтебазы – использование для улучшения качества топлив (смесевые бензины, зимний дизель).

Современные системы для кавитации нефтяного топлива работают по методу гидродинамической кавитации. Когда исходный продукт подаётся в специализированные устройства, с помощью насосов происходит подача топлива на необходимой скорости для создания пузырьков, заполненных паром. Распад пузырьков приводит к интенсивному перемешиванию и создаёт локальное давление и температуру до 1000 атм и 5000 К соответственно. При условиях гидродинамической кавитации нефтепродукта, он нагревается, нарушается матрица его структуры и уменьшается вязкость на 10–15%. Асфальтеновые соединения и углеводороды расщепляются, что облегчает их фрагментацию в более ценные продукты. Кавитация нефтяного топлива позволяет регенерировать водород из воды, что приводит к прекращению радикальных реакций (реакции замещения).

Кавитационная обработка ускоряет диффузию нефти в полости парафина, интенсифицирует процесс его разрушения. Ускорение растворения парафина идёт за счёт интенсификации перемешивания нефти на границе нефть-парафин и действия импульсов давления, которые как бы разбрызгивают частицы парафина.

Кавитатор представляет собой плоский профилированный канал прямоугольного сечения с телами обтекания различной формы: цилиндр, цилиндр с насечкой, пластина, серп, стакан, капля (рисунок 2).

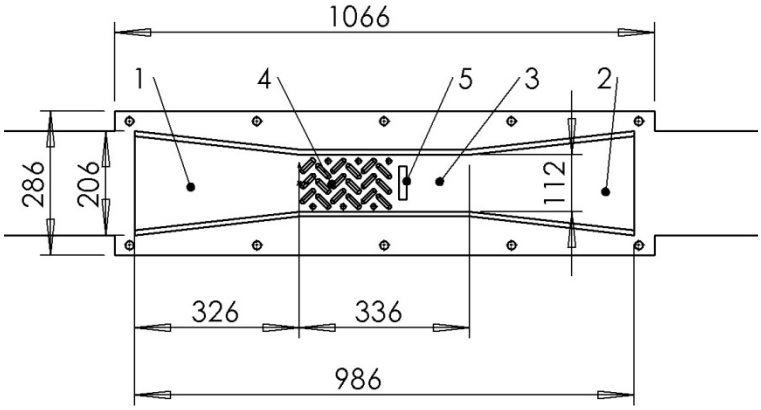


Рис. 2. Схема гидродинамического кавитатора

Кавитационный генератор работает следующим образов: конфузор 1 служит для постепенного сужения площади общего проходного сечения потока жидкости, подаваемой в сопло 3 из входного патрубка 11. Сопло 3 служит для формирования турбулентного движения потока жидкости относительно поперечного сечения диффузора 2 за счёт прохождения потоком насечек 4 и обтекателя 5 за которым образуется кавитационное поле. Диффузор 2 является непосредственным элементом, в котором возникает кавитация в потоке жидкости, выходящей с высокой скоростью из сопла 3. Для различной геометрии элементов кавитатора были проведены вычислительные эксперименты с целью определения областей кавитации и значений локальных давлений при следующих исходных данных: давление на входе $P_{вх}$ = 0,1−6 МПа, что соответствует максимальному давлению в выбранном магистральном нефтепроводе. Расчётные оценки показали, что скорость набегающего потока в генераторе перед телами обтекания при этом составляет от 18 до 28 м/с. При расходах Q = 170–300 л/мин число Рейнольдса рассчитанное по формуле набегающего потока перед телами обтекания составляет $Re = (1,6–2,2)*10^5$, где v – скорость набегающего потока (м/с), d – поперечный диаметр тел обтекания (калибр) (м), ν – кинематическая вязкость нефти ($м^2/с$). Для выбора формы тела обтекателя произведены расчёты в Solidworks Flow Simulation. Все обтекателя взяты одинакового сечения 14 мм получены при $(P_{вх} – P_{вых}) / P_{вх}$ = = 0,1–0,9 и расходом до 300 л/мин.

При обтекании пластин различной геометрии возникает поле кавитации различной площади и интенсивности, что даёт возможность определить наиболее энергоэффективную конфигурацию каналов. Наример, начало образования кавитации за телами обтекания – серп, капля и стакан (Рисунок 3а, б, в) происходит при одинаковых перепадах давления, однако, для стакана характерна большая скорость течения жидкости. Образование кавитационной пелены за данными телами достаточно похоже на кавитационные каверны в канале за поперечной пластиной, но за телом обтекания серп пелена несёт наиболее выраженный характер.

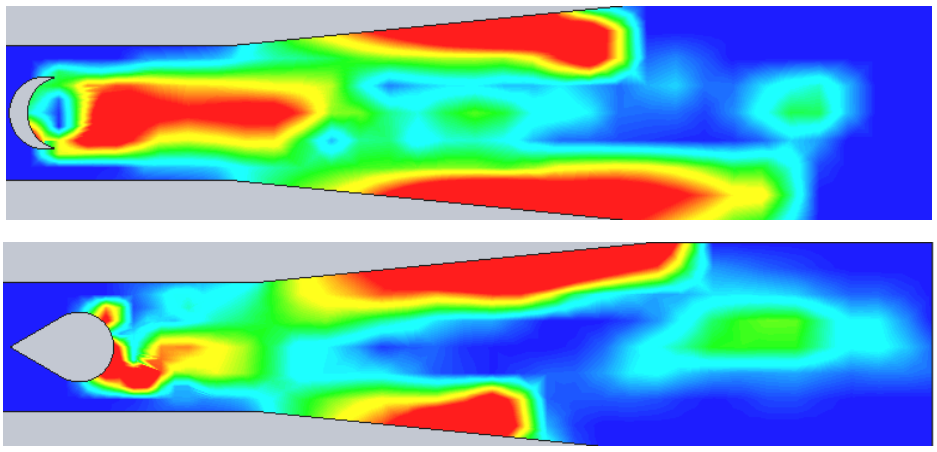
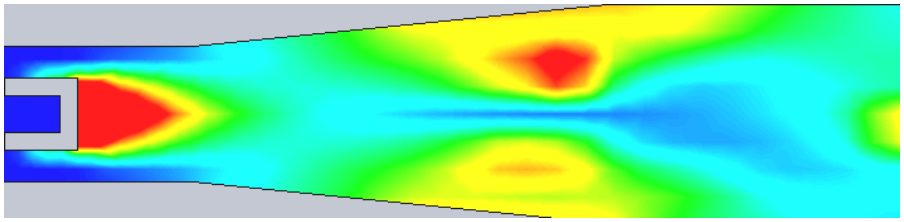


Рис. 3. Кавитационное поле при различной геометрии каналов кавитатора (начало): а) обтекатель «стакан»; б) обтекатель «капля»;



в)

Рис. 3. Кавитационное поле при различной геометрии каналов кавитатора (окончание): в) обтекатель «стакан»

Путём проведения вычислительных экспериментов обосновано: максимальная энергоэффективность (интенсивность кавитации) получается при внедрении тела обтекания: цилиндр с насечкой и пластина; канале кавитатора проточного типа при числах $Re>10^4$ за телами обтекания: цилиндр, цилиндр с насечкой, пластина, серп, стакан – возникают обширные области кавитационной пелены; нанесение насечки на поверхность цилиндра приводит к интенсификации кавитации, увеличению амплитуды колебаний давления позади тела обтекания.

Библиографический список

1. И. Метнер., Физическая природа кавитации и механизм кавитационных повреждений. УФН, т. XXXV, вып.1 (1948). – 52 с.
2. Пирсол И., Кавитация. – М.: Мир, 1975. – 95 с.
3. Рождественский В.В., Кавитация. – Л.: Судостроение, 1977. – 248 с.

УДК 602.3

К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ БИОТОПЛИВА ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ СЫРЬЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ

Евдокимов Н. С., Смышляева А. А.

ФГБОУ ОмГТУ (Россия, г. Омск, пр. Мира 11)

Аннотация **– В данной работе представлена информация о теоретическом анализе способов получения биотоплива из растительного сырья. Показали, что микроводоросли являются перспективным и экологически безопасным сырьем для производства биотоплива.**

Ключевые слова **– биотопливо, сырье, биоэтанол, микроводоросли.**

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время источником большей части потребляемой энергии является ископаемое топливо. Источники, которого ограничены и постоянно уменьшаются, а объемы его потребления растут. Также при использовании ископаемого топлива высвобождается большое количество углекислого газа. Его увеличение в атмосфере приводит к парниковому эффекту, который является причиной изменения климата.

Биотопливо представляет собой альтернативу ископаемому топливу. Его получают из натуральных возобновляемых источников, таких как растения или продукты жизнедеятельности организмов.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью статьи является сравнительная оценка способов получения биотоплива из разных видов сырья. Для достижения указанной цели были поставлена следующая задача:

– теоретическое исследование процесса получения жидкого биотоплива, со сравнительным анализом.

III. ТЕОРИЯ

Известно, что на мировом рынке технически осуществимыми и хорошо коммерчески реализуемыми альтернативными возобновляемыми источниками топлива являются биодизельное топливо и биоэтанол, поскольку могут заменить традиционные виды топлива в современных автомобилях с небольшими модификациями автомобильного двигателя [1].

Сферы применения биотоплива разнообразны: в промышленности в качестве источника энергии для заводов и фабрик; для поддержания соответствующей температуры или освещенности на искусственных плантациях и теплицах; в сельском хозяйстве; в коммунальном хозяйстве, например, для отопления домов [1]

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Проведем сравнительный анализ методов производства биотоплива из сахаросодержащего сырья и водорослей.

Технологический процесс, берет своё начало со стадии подготовки к осахариванию сырье измельчают и подвергают экстракции сахара при помощи воды. Осахаривание проходит под воздействием специальных ферментов, сбраживание в анаэробных условиях.

Биоэтанол, приготовленный на основе сахаросодержащего сырья – является топливом первого поколения. Сахарный тростник – растительное сырье для данного биотоплива, требует создания особых условий: необходимость внесения удобрений; климатические условия зоны произрастания; водопользование – чем меньше воды используется для выращивания сельскохозяйственной культуры, тем лучше, так как вода является ограниченным ресурсом, что особенно критично в засушливых регионах [1].

Другим возможным биологическим агентом для производства биотоплива являются микроводоросли, их преимущество заключается в большой урожайности и круглогодичном росте, на легкодоступном сырье: вода с растворами солей и диоксидом углерода.

Биотехнологический процесс получения топлива из микроводорослей привлекателен и имеет ряд достоинств, связанных с простотой сбора урожая биомассы, высокой скоростью роста микроводорослей по сравнению с растениями, отсутствием вредных выбросов, возможностью использования вторичных вод от существующих производств [4].

Стадия культивирования включает в себя накопление биомассы в оптимальных условиях роста, затем создается дефицит азотсодержащих веществ для стимулирования накопления внутриклеточных нейтральных липидов. Полученная биомасса с повышенным содержанием липидов концентрируется, затем клетки биомассы разрушаются для более эффективной экстракции липидов. Экстракция проводится в течение 2,5–3 часов. Экстрагент отгоняется, смесь липидов разделяется на фракции: фракция, содержащая неполярные липиды, используется в дальнейшем производстве. Неполярные липиды после проведения реакции с метанолом в присутствии катализатора образуют метиловые эфиры жирных кислот, которые являются биодизелем и технический глицерин [4].

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты сравнительного анализа получения биоэтанола и биодизеля позволяют выявить следующие преимущества микроводорослей, применяемых в качестве продуцента биотоплива: Во-первых в водорослях содержится большое количество липидов, до 50–60% от сухой массы клетки, причем если в наземных растениях его способны вырабатывать только специализированные клетки, то у водорослей все клетки продуцируют нужную субстанцию. Во-вторых, микроводоросли характеризуются высокой удельной производительностью по биотопливу.

Ценность технологии производства биотоплива из микроводорослей огромна. На территории нашей страны огромное количество промышленных предприятий, которые используют большое количество водных ресурсов, при этом микроводоросли можно выращивать на водах вторичного использования. Этим шагом можно решить ряд экологических проблем.

Библиографический список

1. Варфоломеев С.Д. Химия биомассы, биотоплива биопластики. – М., 2017. – 790 с.

2. Kostas S. T. Continuous catalytic hydrothermal gasification of algal biomass and case study on toxicity of aluminum as a step toward effluents recycling. *Catalysis Today*., 2014. – Vol. 223. – P. 35–43.

3. Maltsev, Y. I. Getting Energy from Microalgae / Y. I. Maltsev // *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. – 2019. – Vol. 10. – P. 4–6.

4. Кожевников Ю. А., Чирков В. Г., Щекочихин Ю. М. Культивирование и переработка микроводорослей // Вестник ВИЭСХ. – 2015. – № 1. – С. 81–84.

УДК 621.521

ЗАЛИВНОЙ КРИОАДСОРБЦИОННЫЙ ВАКУУМНЫЙ НАСОС С БОЛЬШИМ РЕСУРСОМ РАБОТЫ

Розанов Л. Н.[1], Скрябнев А. Ю.[1]

[1] *ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург (Россия, ул. Политехническая д. 29)*

В данной работе рассматриваются особенности проектирования и испытания заливных криоадсорбционных насосов с заданным ресурсом работы. Возможность спроектировать заливные насосы на заданный ресурс работы устраняет один из их недостатков и тем самым расширяет возможности их применения.

Рассмотрено теоретическое определение ресурса работы насосов. Разработана вакуумная установка для испытания насосов.

Проведены экспериментальные исследования следующих характеристик насоса в зависимости от количества поглощённого газа и удельного расхода хладоагента:

– ресурс работы

– быстрота откачки

– предельное давление.

Проведено масс-спектрометрическое исследование остаточных газов насоса.

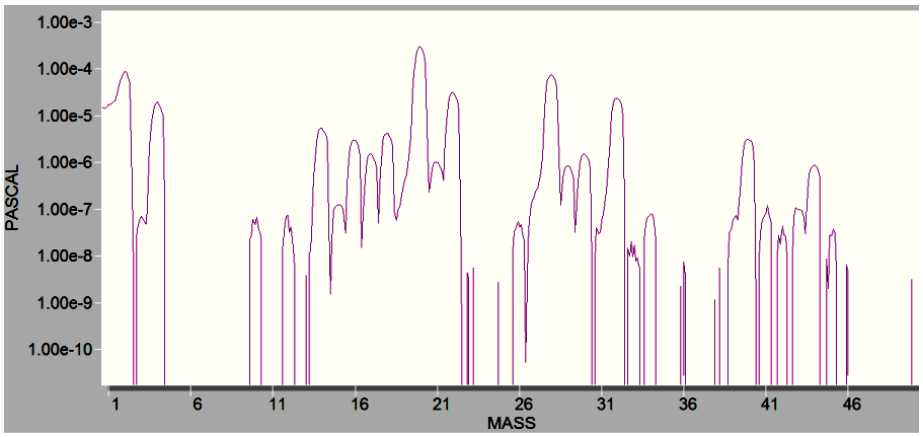


Рис. 1. Масс-спектр остаточных газов криоадсорбционного насоса после поглощения воздуха в количестве $2 \cdot 10^2$ м^3·Па

Библиографический список

1. Розанов, Л.Н. Вакуумное технологическое оборудование. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2012. – 434 с.

УДК 697.94

МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ВОЗДУШНОГО ФИЛЬТРА С КОРОТКИМ ДИФФУЗОРОМ

Филькин Н. Ю.[1], Глухих А. К.[1], Ляшко В. А.[1]

[1] *ОмГТУ, Россия, Омск, Мира, 11*

Моделирование проточной части воздушных фильтров с целью выполнения последующих численных расчетов сопряжено с рядом трудностей, обусловленных конструктивными особенностями воздушных фильтров. При этом наибольшую трудность вызывает адекватное моделирование непосредственно фильтрующего элемента, в основе которого лежит сложная неоднородная структура, формирующая

фильтрующий слой. Не менее важным вопросом при подготовке модели воздушного фильтра к численному расчету является выбор модели турбулентности, применение которой позволит получить результаты, наиболее соответствующие реальной картине течения в проточной части фильтра. Авторами ранее уже проводились исследования в области выбора модели турбулентности для расчета проточной части фильтра с коротким диффузором [1] и моделирования фильтрующего элемента такого фильтра [2], однако, на сегодняшний день, с развитием CFD-технологий, полученные результаты требуют уточнений. Таким образом, задачей представленного исследования является разработка методики численного расчета проточной части воздушного фильтра с коротким диффузором с учетом современного уровня развития численного моделирования.

В первой части работы для уточнения модели турбулентности были проведены численные и экспериментальные исследования проточной части воздушного фильтра с коротким диффузором. В ходе выполнения численных расчетов были рассмотрены k-ω, k-ε и SST модели с учетом функции y+, значение которой влияет на построение сетки в пограничном слое потока. По результатам численного расчета для рассмотренных моделей турбулентности были построены профили поля скоростей, на которые были нанесены точки, полученные экспериментальным путем (рис. 1). Анализ полученных результатов показал, что наилучшую сходимость с экспериментальными данными дает модель турбулентности SST, причем наиболее существенно по сравнению с другими моделями турбулентности эта сходимость достигается в пристенных слоях потока.

Во второй части работы была выполнена оценка работоспособности решения по моделированию фильтрующего элемента с помощью функции Porous Zone (Пористая зона), применяемой в пакете ANSYS Fluent. Для оценки работоспособности такой модели ее сравнили с расчетной моделью, где в качестве фильтрующего элемента была задана решетка, а результаты расчета обеих моделей сопоставили с данными, полученными в ходе экспериментальных исследований воздушного фильтра с коротким диффузором. Полученные результаты подтвердили возможность моделирования фильтрующего элемента с использованием функции Porous Zone. Такой способ моделирования дал более точную картину газодинамических процессов, имеющих место в проточной части воздушного фильтра с коротким диффузором.

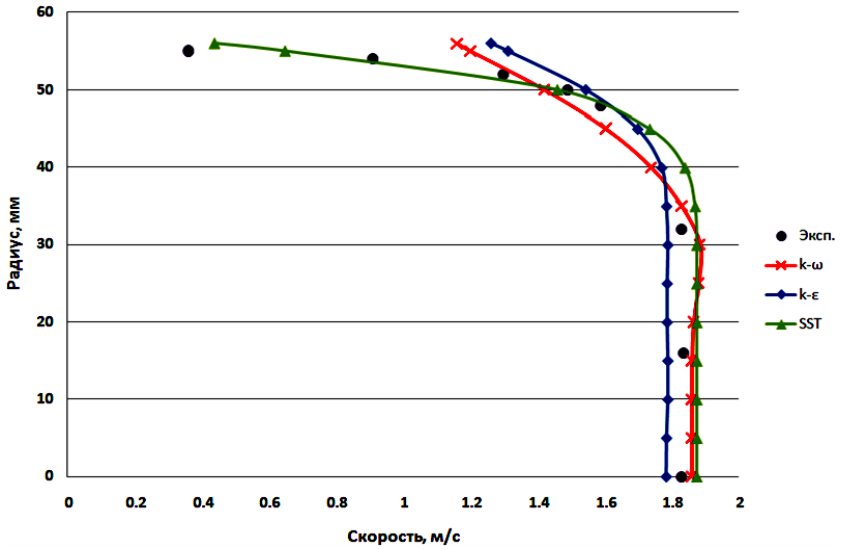


Рис. 1. Профили поля скоростей во входном воздуховоде, полученные численным и экспериментальным путем

Таким образом, результатом проведенной работы стала методика численного расчета проточной части воздушного фильтра с коротким диффузором, доработанная с учетом современного уровня развития численного моделирования. В частности, доработкой предусматривается разбиение расчетной модели на сеть конечных элементов с использованием функции y+, замена модели турбулентности k-ω на SST, а также имитации фильтрующего элемента с применением функции Porous Zone вместо перфорированной решетки.

Библиографический список

1. N.Yu. Filkin, V.L. Yusha, S.N. Litunov, Development of methods of gas flow computation in short diffusers // Procedia Engineering. – 2015. – 113. – P. 259–263.

2. N.Yu. Fil'kin, V.L. Yusha, A.A. Kapelyukhovskaya, Experimental research of the efficiency of gas filters with a short diffuser // AIP Conference Proceedings. – 2019. – 2141. Available at: https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5122110.

УДК 621.515

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ И НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ РАСЧЕТЕ ВЯЗКОГО ПОТОКА В МАЛОРАСХОДНЫХ СТУПЕНЯХ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА МЕТОДАМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОДИНАМИКИ

Карташов С. В.[1], Кожухов Ю. В.[1]

[1] *ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого (Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29)*

В работе рассматривается вопрос выбора модели турбулентности и учета шероховатости поверхности при создании расчетной модели малорасходных ступеней центробежного компрессора для расчётов методами вычислительной газодинамики [1–3] в программе Fine/Turbo. В качестве объекта исследования выбрана малорасходная ступень с условным коэффициентом расхода Ф=0,008 и относительной шириной на выходе рабочего колеса (РК) b2/D2 = 0,0133. Вопрос моделирования потерь трения в малорасходных ступенях имеет принципиальное значение и напрямую связан с выбором модели турбулентности и учетом шероховатости поверхностей [4–11]. Показано, что выбор низкорейнольдсовых моделей турбулентности в случае ненагруженных и безотрывных малорасходных ступеней может быть произведен из числа основных распространённых моделей (Spalart-Allmaras, SST, k-ω) исходя из экономичности расчетов, скорости сходимости, устойчивости решения и адекватности получаемых результатов. С другой стороны, применение низкорейнольдсовых моделей турбулентности неактуально ввиду невозможности корректного введения поправок на шероховатость. Для моделей с пристенной функций особенно важно качество сеточной модели и соблюдение безразмерного расстояния до стенки y+ во всей расчетной области. При обеспечении y+=25…50 на всех поверхностях трения расчетной области на оптимальном режиме работы обеспечивается сеточная независимость решения для всей газодинамической характеристики. Недопустимо попадание y+ в переходную область 4…15 между вязким подслоем и областью логарифмического профиля скорости. Два основных вопроса учета шероховатости – перевод натурной шероховатости в эквивалентную, используемую в расчетах, и требования к качеству сеточной модели. Оценено влияние шероховатости на характеристику малорасходной ступени и коэффициенты дискового трения и протечек, выявлена независимость полного напора ступени от шероховатости поверхности. Проведен раздельный анализ влияния шероховатости рабочего колеса и неподвижных элементов.

Библиографический список

1. Aksenov, A.A., Danilishin, A.M., Kozhukhov, Y.V., Simonov, A.M. Numerical simulation of gas-dynamic characteristics of the semi-open 3D impellers of the two-element centrifugal compressors stages (2018) AIP Conference Proceedings, 2007, № 030025. DOI:10.1063/1.5051886.

2. Neverov, V. V., Kozhukhov, Y. V., Yablokov, A. M., Lebedev, A. A. Optimization of a centrifugal compressor impeller using CFD: the choice of simulation model parameters. 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 232 012037. DOI: 10.1088/1757-899X/232/1/012037.

3. Danilishin, A.M., Kozhukhov, Y.V., Neverov, V.V., Malev, K.G., Mironov, Y.R. The task of validation of gas-dynamic characteristics of a multistage centrifugal compressor for a natural gas booster compressor station (2017) AIP Conference Proceedings, 1876, № 020046. DOI:10.1063/1.4998866.

4. Ivanov, V., Kozhukhov, Y., Nguyen, M.H. Head Math Model for the Low-Flow Impellers of the Centrifugal Compressors. 2019 International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering, EECE 2019. Volume 140, 18 December 2019, N 06008. DOI: 10.1051/e3sconf/201914006008.

5. Yablokov, A., Yanin, I., Sadovskyi, N., Kozhukhov, Y., Nguyen, M.H. Numerical characteristics of a centrifugal compressor with a low flow coefficient. 2019 International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering, EECE 2019. Volume 140, 18 December 2019, N 06010. DOI: 10.1051/e3sconf/201914006010.

6. Ivanov, V.M., Kozhukhov, Y.V., Danilishin, A.M. Calculation of the impellers head characteristics of the low-flow centrifugal compressor stages based on quasi-three-dimensional inviscid and viscous methods. Oil and Gas Engineering Conference, OGE 2019. Volume 2141, 28 August 2019, N 030064. DOI: 10.1063/1.5122114.

7. Kiryll Kabalyk, Władysław Kryłowicz. Numerical modeling of the performance of a centrifugal compressor impeller with low inlet flow coefficient ISSN 0079-3205. Transactions IFFM 131(2016). p.97–109.

8. Lettieri CC, Baltadjiev NN, Casey MM, Spakovszky ZZ. Low-Flow-Coefficient Centrifugal Compressor Design for Supercritical CO2. ASME. J. Turbomach. 2014;136(8):081008-081008-9. doi:10.1115/1.4026322.

9. Никитин Е.Г., Кожухов Ю.В. Применение суперкомпьютерных технологий при исследовании методами вычислительной газодинамики пространственного течения малорасходной ступени СВД-22 центробежного компрессора. Труды Международной суперкомпьютерной конференции «Научный сервис в сети Интернет: все грани параллелизма». пос. Абрау-Дюрсо. 2013. – С. 312–320.

10. Чеглаков И.В., Кожухов Ю.В. Исследование рабочего процесса в малорасходной центробежной компрессорной ступени СВД-22 в программном комплексе Fine/Turbo с верификацией данных расчета. Международный технологический форум «Инновации. Технологии. Производство»: Сборник материалов научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения главного конструктора П. А. Колесова. – Т. 1. – Рыбинск: РГАТУ имени П. А. Соловьева, 2015. – 250 с. – С. 135–139.

11. Яблоков А.М., Кожухов Ю.В., Лебедев А.А. Исследование течения в малорасходной ступени центробежного компрессора методами вычислительной газодинамики. Научно-технические ведомости СПбГПУ. – Вып. 4(231)/2015. – Изд. СПбГПУ. – С. 59–69.

УДК 697.9

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Серов А. А., Цыганков А. В., Хилдаяти А.

Университет ИТМО (Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, д. 9)

Регенеративные теплообменники служат для передачи низкопотенциальной теплоты от уходящего газа приточному. Эффективность таких теплообменников оценивается коэффициентом аккумуляции (регенерации), который показывает какая часть теплоты вытяжного воздуха возвращается приточному. У современных роторных теплообменников этот коэффициент может достигать 70–80 процентов [1]. Высокую эффективность передачи теплоты при небольшом температурном напоре обеспечивает большая удельная поверхность теплоаккумулирующей насадки, поочередно омываемой приточным и вытяжным потоками. Современные технологии производства полимерных и композитных материалов позволяют создавать насадочные тела с заданными пористостью, удельной поверхностью раздела сред и теплоемкостью.

Регенеративные воздухоподогреватели находят широкое применение в промышленных системах кондиционирования воздуха [2]. Для многих производств воздух является технологической средой, определяющей стоимость и качество выпускаемой продукции. Так для многих «чистых помещений» кратность воздухообмена может достигать нескольких десятков и даже сотен единиц [3]. Рост расхода воздуха приводит к необходимости либо увеличивать скорость движения воздуха через насадку, либо создавать многопоточные параллельные системы воздухоподготовки. Очевидно, что для сокращения капитальных затрат предпочтительным является увеличение единичной мощности оборудования.

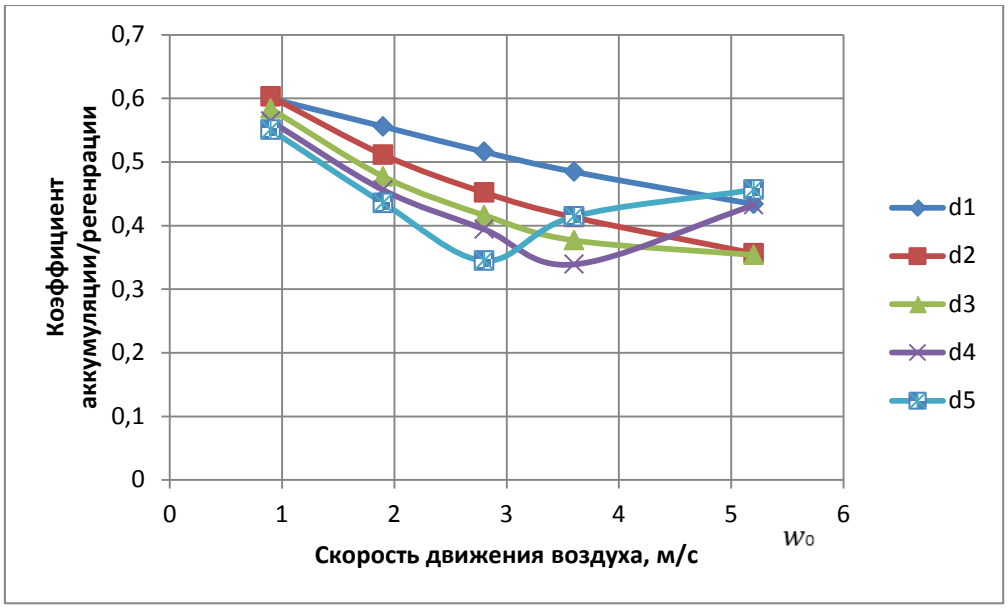


Рис. 1. Зависимость коэффициентов аккумуляции и регенерации от скорости движения воздуха и эквивалентного диаметра канала

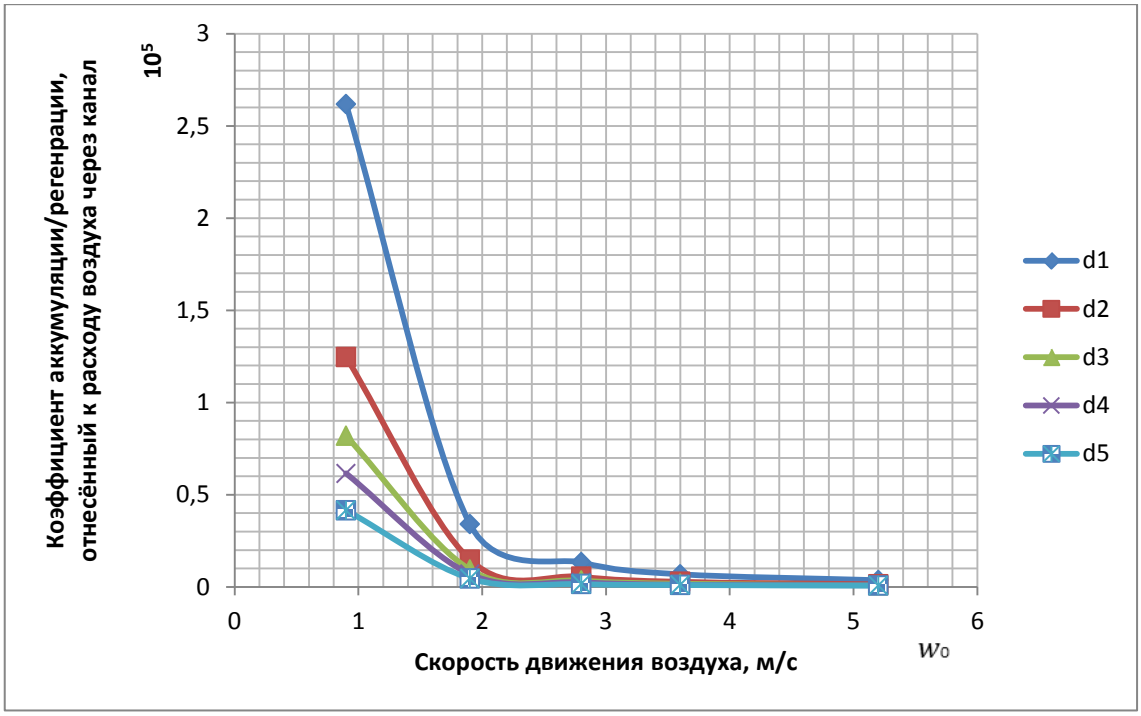


Рис. 2. Зависимость удельного коэффициентов аккумуляции и регенерации к скорости движения воздуха в канале

Увеличение скорости движения воздуха приводит к росту среднего коэффициента теплоотдачи на поверхности раздела сред вследствие турбулизации потока, но при этом уменьшается время контакта воздуха с теплоаккумулирующей насадкой. Поэтому представляет интерес оценка влияния режима движения воздуха на тепловую эффективность насадок различного типа. Полученные зависимости представлены на рис. 1 и 2.

Библиографический список

1. Ramesh K. Shan, Dusan P. Sekilic Fundamentals of heat exchanger design // Rochester Institute of Technology, Rochester, New-York. – 2003 – P. 941

2. Melkumov V. N. Conformal mapping in mathematical modelling of air flows in premises / V.N. Melkumov, S.V. Chuikin, K.A. Sklyarov, A.I. Kolosov // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – № 9. – P. 1–5

3. O. Rouaud, M. Havet Numerical investigation on the efficiency of transient contaminant removal from a food processing clean room using ventilation effectiveness concepts // Journal of Food Engineering – 2005. – № 68. – P. 163–174.

УДК 621.752

ВИБРОИЗОЛЯЦИОННАЯ ОПОРА С ЭФФЕКТОМ КВАЗИНУЛЕВОЙ ЖЕСТКОСТИ С КОРРЕКТОРОМ ЖЕСТКОСТИ НА БАЗЕ РЕЗИНОКОРДНОЙ ПНЕВМОПРУЖИНЫ

Бурьян Ю. А., Силков М. В.

ФГБОУ ВО ОмГТУ (Россия, г. Омск, Мира 11)

Для защиты технологического оборудования от вредной вибрации целесообразно применять пассивные системы, как наиболее простые и экономически оправданные. Чем меньше частота собственных колебаний виброизолятора, тем шире диапазон частот вынуждающей силы, при котором его работа эффективна. Для получения таких систем возможно использование виброизоляторов с эффектом квазинулевой жесткости [1–3]. Они отличаются тем, что в рабочем диапазоне имеют пологий участок силовой характеристики, а значит, обладают малой жесткостью, но при этом у них высокая несущая способность в положении равновесия. Несмотря на несомненную эффективность систем с квазинулевой жесткостью, их внедрение тормозится малым

числом конструкций, которые были бы просты в изготовлении позволяли бы изменять статическую нагрузку на опору с сохранением эффекта квазинулевой жесткости и регулировать вид самой нагрузочной характеристики корректора на собранной опоре..

Для виброизоляции различного вида виброактивных объектов предлагается следующая опора (рис. 1). Она состоит из нижнего основания 1 и верхнего соединенного с объектом основания 2, между которыми симметрично оси установки располагаются четыре винтовые несущие пружины 3. Они воспринимают статическую нагрузку на опору. К основаниям крепятся и элементы корректора жесткости. Он включает в себя резинокордную пневмопружину 4, которая через два рычага 5 с роликами 6, передает свое усилие на кулачек 7, соединенный с верхним основанием 2. Поверхность кулачка, контактирующая с роликами, выполнена по радиусу *R*. Стойки 8 с резьбовыми наконечниками и гайками 9 служат для изменения положения роликов относительно кулачка в положении равновесия. Это дает возможность регулировать корректор с изменением статической нагрузки на опору. Изменение давления в пневмопружине позволяет изменять вид нагрузочной характеристики корректора на собранной опоре. При колебаниях верхнего основания 1 с виброизолируемым объектом ролики 6 создают на кулачек 7 силы, противоположные по направлению силам несущих пружин 3, что создает эффект квазинулевой жесткости опоры.

Предложенная опора позволяет, по сравнению с опорой только на винтовую пружину с той же статической деформацией, расширить в сторону низких частот диапазон уменьшения коэффициента передачи силы на основание. Собственная частота подвески снижается с 2 до 0.66 герц в диапазоне амплитуд участка квазинулевой жесткости ± 20 *мм*. Чтобы обеспечить такое уменьшение собственной частоты за счет опоры только на винтовую пружину, необходимо увеличить статическую деформацию пружины в 9 раз со 167 *мм*, что не возможно. Таким образом, предложенная опора позволяет улучшить виброизоляцию различных технологических объектов. Полученные в работе зависимости и методика расчета позволяют на стадии проектирования выбрать основные параметры опоры, построить ее нагрузочную характеристику и провести предварительную оценку эффективности виброизоляции по величине коэффициента передачи силы на основание на различных частотах.

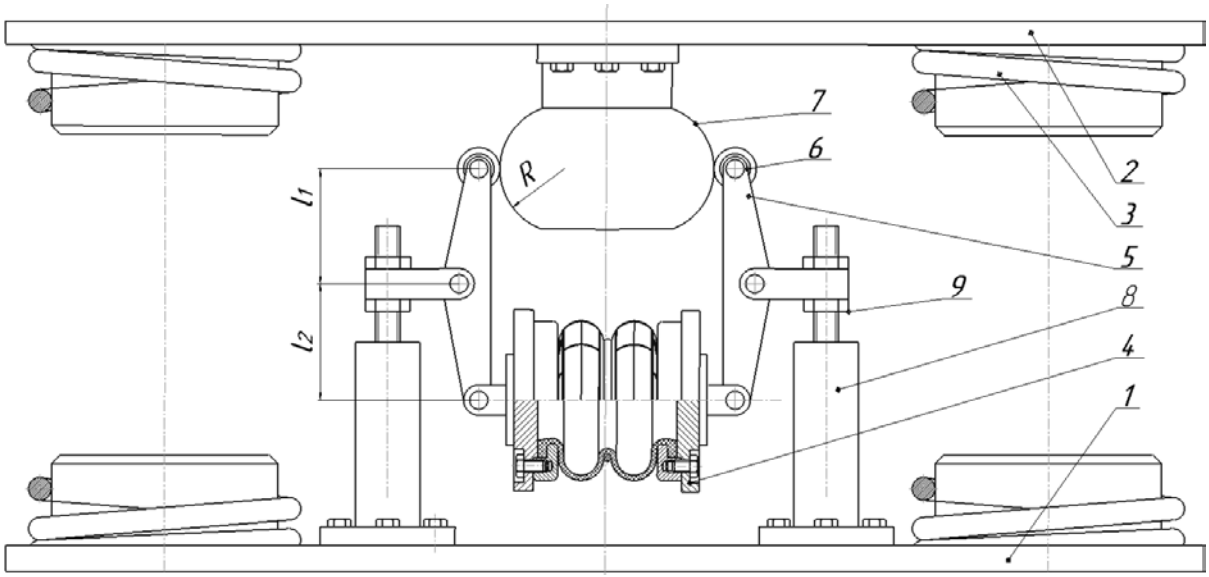


Рис. 1. Конструкция опоры с корректором жесткости на базе резинокордной пневмопружины, создающим эффект квазинулевой жесткости

Библиографический список

1. Опора для технологического оборудования с корректором жесткости на базе пневмопружин с резинокордной оболочкой / Ю. А. Бурьян, М. В. Силков // Материалы II Международной научно-технической конференции «Проблемы машиноведения». – Омск: ОмГТУ, 2018. – С. 34–38.

2. Опора для технологического оборудования с эффектом квазинулевой жесткости / Бурьян Ю.А., Силков М.В. // Материалы 9-ой международной научно-технической конференции «Техника и технологии нефтехимического и нефтегазового производства». – Омск, 2019. – С. 104–105.

3. Виброизоляционная опора с эффектом квазинулевой жесткости / Ю. А. Бурьян, М. В. Силков // Омский научный вестник. Серия авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2019. – Том 3, № 2. – С. 9–14.

УДК 621.822

ИСПЫТАНИЯ УПОРНОГО ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ МУЛЬТИПЛИКАТОРНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Соколов Н. В.[1,2], Максимов Т. В.[1], Хадиев М. Б.[1], Сагбиев И. Р.[1]

[1] *Казанский национальный исследовательский технологический университет (РФ, г. Казань, ул. К. Маркса, 68)*
[2] *АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа» (РФ, г. Казань, ул. Сибирский тракт, 40)*

Результатами исследований центробежных компрессоров являются совершенствование проточной части и прочих систем обеспечения, к которым можно отнести узлы трения (подшипники скольжения и уплотнения). Эти узлы в значительной степени определяют работоспособность компрессорной машины, поэтому к ним предъявляются повышенные требования. В случае биения упорного диска вращающегося ротора нагрузка на упорный подшипник скольжения компрессора становится динамической. Торцовое биение диска связано с его установкой на ротор с неизбежным перекосом. К динамическому нагружению могут привести также переменные силы в осевом направлении ротора, вызванные помпажом центробежного компрессора.

Для испытаний упорного подшипника использован современный стенд, основой которого является одноступенчатый центробежный компрессор мультипликаторного типа для сжатия воздуха. В компрессоре установлен двухсторонний упорный подшипник с неподвижными подушками со скосами, выполненными параллельно межподушечному каналу. Для измерения давления смазочного слоя подшипника использовались сенсоры абсолютного давления Keller серии 2MI PA 110. Они рассчитаны на давление от 0,1 до 20 бар и имели малые габариты (Ø4,5×3 мм). Задача экспериментальных исследований заключалась в построении кривых давления $p_м$ смазочного слоя, в том числе в зависимости от времени τ, при разных температурах подачи смазки ($t_{м1}$ = 35 и $t_{м2}$ = 48 °C) и частотах вращения быстроходного ротора (n_1 = 10 000 и n_2 = 14 200 мин$^{-1}$) с учетом замера расхода смазки. Как видно из рис. 1, характер изменения давлений $p_м$ с рабочей и нерабочей сторон представляет собой кривые гармонических колебаний с частотой вращения ротора $f_р = 1/\tau = n$, где τ – период колебаний давлений.

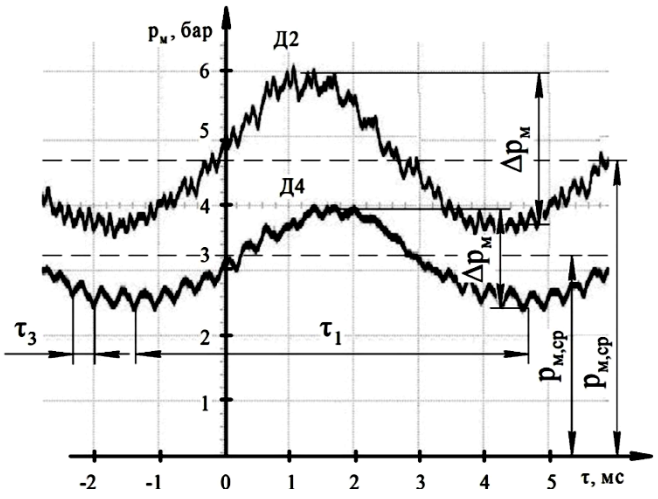


Рис. 1. Осциллограмма давления в смазочном слое подушки упорного подшипника ($t_{м1}$ = 35 °C, n_1 = 10000 мин$^{-1}$)

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что на работу упорного подшипника значительное влияние оказывает геометрическая точность изготовления и качество сборки. Даже при небольших перекосах подшипника и биениях упорного диска появляется неравномерная нагрузка на подушки подшипника. При увеличении погрешностей монтажа растут динамические и тепловые нагрузки. Гидродинамический способ создания несущей способности является основным для подшипника. Он также сохраняется на протяжении пуска и при выбеге ротора ЦК.

Библиографический список

1. Хадиев М. Б., Зиннатуллин Н. Х., Нафиков И. М. Механизм помпажа в центробежных компрессорах // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – № 8. – С. 262–266.

2. Соколов Н. В. и др. Методика измерения и описание стенда для исследования газодинамики малорасходной центробежной ступени и упорного подшипника скольжения на нестационарных режимах // Компрессорная техника и пневматика. – 2016. – № 4. – С. 10–16.

3. Хадиев М. Б., Соколов Н. В., Федотов Е. М. Гидродинамические, тепловые и деформационные характеристики смазочных слоев упорных подшипников со скосом, параллельным радиальному межподушечному каналу // Вестник машиностроения. – 2014. – № 6. – С. 54–59.

4. Хадиев М. Б. и др. Выбор конструкции упорного подшипника скольжения с неподвижными подушками с целью изучения нестационарных характеристик // Техника и технология современного нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 2-й научн.-техн. конф. аспирантов, магистрантов, студентов, творческой молодежи профильных предприятий и организаций, учащихся старших классов, посвященных 70-летию ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2012, кн. II. – С. 174–184.

5. Соколов Н. В., Максимов Т. В., Хадиев М. Б. Динамические испытания упорного подшипника скольжения в центробежном компрессоре с полуоткрытым рабочим колесом // Вестник машиностроения. – 2017. – № 1. – С. 28–32.

УДК 533.6.07

МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ И ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ БЕЗЛОПАТОЧНЫХ ДИФФУЗОРОВ В ВИРТУАЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

Галеркин Ю. Б. [1], Соловьева О. А. [1], Уцеховский А. А. [1]

[1] *ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург (Россия, ул. Политехническая д. 29)*

В настоящее время с помощью коммерческих программ вычислительной газодинамики (CFD) невозможно рассчитать характеристики ступени с точностью, достаточной для практики проектирования. Однако моделирование неподвижных элементов центробежных ступеней дает корректное решение. В НИЛ «Газовая динамика турбомашин» СПбПУ успешно применяются результаты обобщения CFD-расчетов для создания математических моделей элементов проточной части. В частности, авторами работы была создана модель безлопаточного диффузора на основе представляемой методики расчетного исследования. Необходима надлежащая методика и верификации расчетов.

В работе представлена методика постановки расчетов, а именно: выбор расчетной сетки (варьированием количества ячеек), выбор модели турбулентности, сектора расчета, способа задания граничных условий.

Верификация была проведена путем сравнения с экспериментальными данными для диффузоров, которые испытывались совместно с рабочими колесами. Характеристики КПД, рассчитанные по программе ANSYS CFX, выше экспериментальных характеристик. Разница объясняется тем, что приведенные в [1] экспериментальные данные С. Роджерса относятся к ступеням, где в БЛД происходят потери смешения, вызванные возникновением «следа» в рабочем колесе. Неравномерная структура потока на выходе из колеса также увеличивает потери в БЛД. В расчете изолированного БЛД отрицательное влияние рабочего колеса отсутствует, рисунок 1.

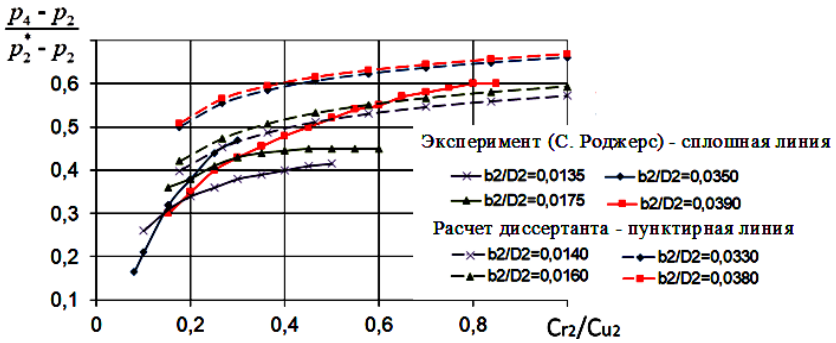


Рис. 1. Сравнение экспериментальных и расчетных коэффициентов восстановления давления в безлопаточном диффузоре

Было проведено сравнение CFD-расчетов с экспериментальными данными «продувки» безлопаточных диффузоров с равномерным потоком на входе В. Янсена [2]. Распределение скоростей по ширине диффузора в обоих случаях качественно одинаково. Скорости, рассчитанные по программе ANSYS CFX, выше

экспериментальных характеристик. Разница объясняется тем, что описанный в [2] эксперимент проведен при меньшем значении скоростного коэффициента, соответственно и компоненты скорости должны быть меньше, рисунок 2.

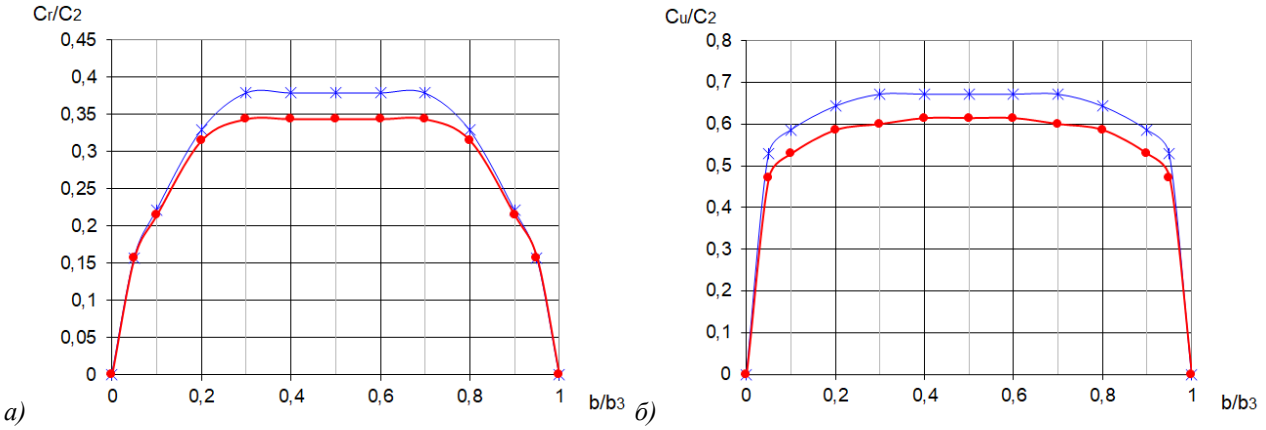


Рис. 2. Сравнение профилей а) радиальной и б) окружной составляющих скорости. Красный цвет – эксперимент, синий цвет – CFD-рачет

В результате была обоснована замена физического эксперимента при исследовании БЛД на вычислительный эксперимент.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10165).

Библиографический список

1. N. A. Cumpsty, “Compressor Aerodynamics,” Longman Scientific and Technical, England, 1989
2. Jansen, W. Steady fluid flow in a radial vaneless diffuser. [text] / W. Jansen // Transactions ASME. – Journal of basic engineering. – Sept. –1964. – P. 607–619.

УДК 621.565

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДА ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА РЕЖИМ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ХЛАДАГЕНТА

Максименко В. А.[1], Черенко А. А.[1]

[1] *ФГБОУ ВО Омский государственный университет (РФ, город Омск, проспект Мира, 11)*

Режим естественной циркуляции холодильной установки представляет собой процесс получения холода путем бескомпрессионной работы установки за счет использования низкой температуры окружающей среды. В этом случае давление и температура конденсации и испарения одинаковы, а кипение хладагента происходит за счет теплоты отводимой от хладоносителя. При этом конденсатор должен находиться выше испарителя.

Использование холодильных установок, работающих в режиме естественной циркуляции хладагента, позволяет экономить на затратах электроэнергии за счет отключения компрессора [1]. Схема такой установки приведена на рисунке 1.

В зимний период при низкой температуре наружного воздуха возможно отключение компрессора и переход на режим естественной циркуляции. Однако необходимо учесть суточный или даже недельный перепад температур, при котором установка будет бесперебойно работать.

При температуре наружного воздуха ниже температуры перехода на режим естественной циркуляции, когда конденсатор воздушного охлаждения имеет холодопроизводительность выше требуемой, стоит вопрос о регулировании производительности. Здесь возможны два варианта. Первый – это уменьшение уровня хладагента в испарителе для поддержания заданной температуры хладоносителя. Второй – использование аккумулятора холода, который будет накапливать излишний расход хладоносителя, обеспечивая заданную потребителем температуру, а в периоды, когда температура окружающего воздуха выше температуры перехода

и установка работает нестабильно – дополнительно потреблять холод из аккумулятора. При втором варианте возникает проблема увеличения гидравлических сопротивлений из-за повышения массового расхода хладагента.

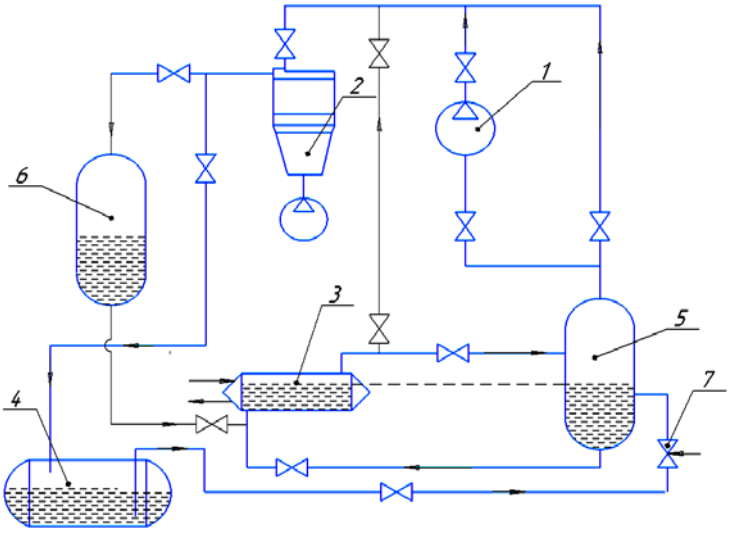


Рис. 1. Принципиальная схема холодильной установки с возможностью перехода на естественную циркуляцию: 1 – компрессор; 2 – конденсатор воздушного охлаждения; 3 – испаритель; 4 – линейный ресивер; 5,6 – отделитель жидкости; 7 – ТРВ

В данной работе на базе вариантных расчетов проведен анализ эксплуатационных характеристик схемы холодильной установки с возможностью работы в режиме естественной циркуляции. В результате предложены варианты модернизации.

Библиографический список

1. Теплообменное оборудование и системы охлаждения компрессорных, холодильных и технологических установок: учеб. пособие для вузов по направлению 150800 "Гидравлическая, вакуумная и компрессорная техника" / И. А. Январев, В. Л. Юша, В. П. Парфенов [и др.] – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2005. – 392 с.

УДК 621.521

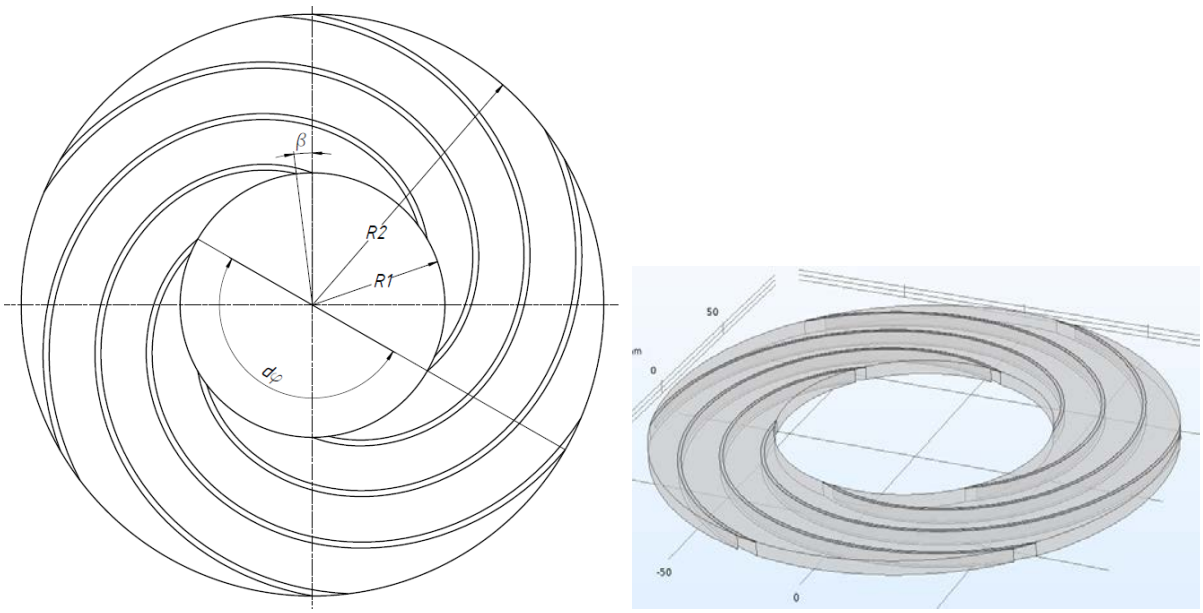
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТУПЕНИ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО С УЧЕТОМ ПЕРЕТЕКАНИЙ В ЗАЗОРЕ

Иванов Д. Г.[1], Свичкарь Е. В.[1], Ключаров В. С.[1], Никулин Н. К.[1], Шемарова О. А.[1], Кеменов В. Н., Дегтярева Т. С.[1]

[1] *Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), кафедра «Вакуумная и компрессорная техника (Россия, Москва, 2-я Бауманская улица д. 5 строение 1)*

Для проектирования молекулярных ступеней в составе комбинированных турбомолекулярных насосов [1–6] необходимо исследовать зависимость максимальной быстроты откачки S_{max} и максимальной степени повышения давления τ_{max} от параметров ступени.

Ступень представляет собой подвижный гладкий роторный диск и статорный диск с каналами. Между ротором и статором существует зазор r. Каналы на статоре образованы спиралью Архимеда. В центре статора располагается отверстие радиуса $R1$, внешний радиус статора $R2$. Спиральные стенки канала закручены под углом закрутки $d\varphi$. Толщина стенки задаётся угловой толщиной β. Используя данные параметры и уравнение спирали Архимеда 3D-модель проточной части (рис. 1).



а) *б)*

Рис. 1. а) Схема статора; б) 3D-модель проточной части

Создана математическая модель отражения молекулы от вращающегося роторного диска. С помощью данной математической модели и 3D-модели проточной части проведен ряд численных экспериментов по методу Монте-Карло. Для определения основных параметров необходимо получить вероятность k_1 перехода молекулы со стороны всасывания (внутренний радиус) на сторону нагнетания (внешний радиус) и вероятность k_2 обратного перехода. Данные вероятности определяются как отношение количества N_i прошедших в необходимом направлении к количеству N_{0i} стартовавших с поверхности молекул:

$$k_i = \frac{N_i}{N_{0i}}$$

Основные параметры получены по следующим зависимостям:

$$\tau_{max} = \frac{k_1}{k_2}$$

$$S_{max} = \frac{1}{4}(F_1 k_1 - F_2 k_2)v_n$$

где F_1 и F_2 – площадь поверхностей старта для прямого и обратного потоков соответственно, v_n – наивероятная тепловая скорость движения молекул при распределении Максвелла.

По результатам исследования получены зависимости максимальной быстроты откачки S_{max} и максимальной степени повышения давления τ_{max} от следующих параметров: относительный радиус проточной части

$C = {R_1}/{R_2}$, относительного зазора $q = \frac{r}{H}$ и угловой толщины стенки β.

По данным исследования сделаны рекомендации по построению геометрии проточной части дисковой молекулярной ступени.

Библиографический список

1. E. V. Svichkar, N. K. Nikulin, V. S. Klyucharov, Determination of the Molecular Vacuum Pump Stage Main Parameters by the Monte-Carlo Method, in *Oil and Gas Engineering-2018*, AIP Conference Proceedings 1976, edited by A. V. Myshljavcev *et al* (OSTU, Omsk, 2019). pp. 1–5.

2. L. Shi, Y. Zhu, X. Z. Wang and S. J. Pang, J.Vac. Sci. Technol A **11 (2)**, 426-431 (1993).

3. S. Giors, Solved and Unsolved Gas Dynamics Problems for Turbo-Molecular-Drag Pumps, available at: docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fwww.itep.kit.edu%2Fdownloads%2F001_Silvio_Giors.pdf&name=001_Silvio_Giors.pdf&lang=en&c=5884dce0769d

4. Y. K. Hwang, J. S. Heo and W. J. Choi, J.Vac. Sci. Technol A **11 (2)**, 426-431 (1993).

5. I. N. Dolganova, A. S. Neganova, K. G. Kudrin, K. I. Zaytsev and I. V. Reshetov, J. Phys. **673 (1)**, (2016)

6. M. Audi, S. Giors and R. Gotta, Agilent Technologies GmbH, 1–26, (2011).

УДК 621.521

АНАЛИЗ ПРОФИЛЕЙ ВИНТОВЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

Малов Д. А.[1], Свичкарь Е. В.[1], Ключаров В. С.[1], Никулин Н. К.[1], Шемарова О. А.[1], Нестеров С. Б.[2], Автономова И. В.[1]

[1] *Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), кафедра «Вакуумная и компрессорная техника»; (Россия, Москва, 2-я Бауманская улица д. 5 строение)*

[2] *АО «Вакууммаш» (Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Тульская, 58)*

Требования, предъявляемые к современному оборудованию, создают тенденцию повышения энергоэффективности и надёжности вакуумного оборудования [1]. Это коснулось и винтовых вакуумных насосов (рис. 1), которые активно применяются в газовой, нефтяной, металлургической и других отраслях.

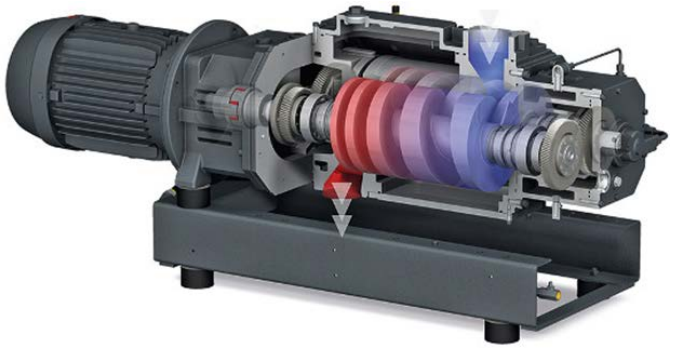


Рис. 1. Винтовой вакуумный насос фирмы BUSCH [2]

Профили роторов таких насосов играют немаловажную роль в эффективности этих машин [3–6]. Существует множество вариаций профилей, в этой работе будут рассмотрены наиболее актуальные. Проблема изучения заключается в построении математической модели, а именно в влиянии геометрии профиля на характеристики насоса, поэтому возникает необходимость сравнения и анализа существующих типов профилей. Важным фактором в разработке профиля является тип рабочего тела: газ и газовые смеси, нефтехимические жидкости. В этой работе более подробно будут рассмотрены профили с газовой формой рабочего тела.

Для более ясного понимания структуры существующих типов насосов была составлена классификация по конструктивным признакам рис. 2. Объёмная эффективность получается при вычислении значения мертвого (неиспользуемого) объёма. Соответственно равна разности рабочего и мертвого.

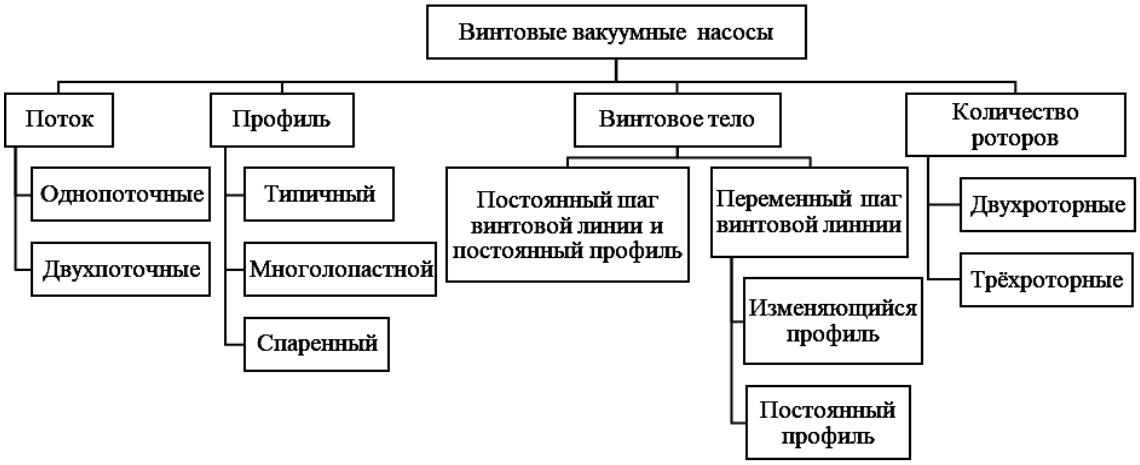


Рис. 2. Классификация винтовых вакуумных насосов по конструктивным признакам

В работе были получены зависимости, отображающие эффективность винтовых профилей. Объёмная эффективность получается при вычислении значения мертвого объёма, который соответственно равен разности рабочего и мертвого. По этому критерию наиболее выгодным является тип винтовых профилей D2, при равных габаритах он имеет наименьшей мертвый объём. Стоит отметить, что щель между роторами для такого профиля наименьшая, что непосредственно влияет на затраченную мощность. Данная работа содержит большую базу профилей и алгоритм, которые в дальнейшем помогут составить программно-вычислительный комплекс для оптимизации процесса выбора и проектирования винтовых насосов. Это обеспечит максимальные рабочие характеристики при минимальных затратах внешней энергии.

Библиографический список

1. E. V. Svichkar, N. K. Nikulin, K. E. Demikhov, Calculation method of pumping characteristics of high-vacuum system with turbomolecular vacuum pump, in *Oil and Gas Engineering-2018*, AIP Conference Proceedings 1976, edited by A. V. Myshljavcev *et al* (OSTU, Omsk, 20187). pp. 1–7.
2. https://www.buschvacuum.com/global/en/products/cobra-industry
3. Yan D., Tang Q., Kovacevic A., Proc. Inst. Mech. Eng. J, 1989–1996 (2017).
4. Stosic N., Smith I., Kovacevic A., Mujic E. Vacuum and multiphase screw pump rotor profiles and their calculation models, Conference on Screw Type Machines VDI-Schraubenmachinen, Dortmund, Germany, October 2006.
5. Wang J., Cui F., Wei S., Sha R., Liu H., Vacuum, **145**, 299-307 (2017).
6. Yan D., Tang Q., Kovacevic A., IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., **232**, 0112026, 1-12 (2017).

УДК 621.671:621.822

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕПЕСТКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСАХ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Ли Шенбо[1], Сытин А. В.[2], Шутин Д. В.[2], Савин Л. А.[2]

[1] *Сямыньский технологический университет (Китай, провинция Фуцзянь, г. Сямынь, No.600 Ligong Roa)*
[2] *Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева (302026, Россия, Орловская обл., Орёл, ул. Комсомольская, 95)*

Решение современных проблем добычи и транспортировки нефтепродуктов является одной из приоритетных задач в рамках развития экономики России. Современные требования по ресурсу насосного и компрессорного оборудования до капитального ремонта достигают 60–70 тысяч часов, а полный срок службы данных агрегатов составляет десятки лет. Для увеличения производительности насосного оборудования существуют два различных пути: повышение мощности турбоагрегатов за счет увеличения габаритов машины, сохраняя скорость вращения; повышение мощности путем увеличения скорости вращения ротора, не изменяя габаритов машины. В рамках данного увеличения производительности, по технико-экономическим показателям, ресурсу и надежности в конкретных условиях эксплуатации предпочтение отдается подшипникам скольжения.

Перекачивание насосной установкой маловязких жидкостей, например, дизельных топлив, может привести к повышению температуры в опорных узлах и выходу из строя насосного агрегата. Кроме того, малые радиальные зазоры, силовые и температурные деформации элементов роторно-опорного узла, износ на режимах пуска и останова затрудняют применение гидродинамических подшипников. В данном случае практически безальтернативным является использование лепестковых подшипников (ЛГП), обеспечивающих потребную несущую способность, низкие потери на трение и высокие динамические качества (рис. 1).

Отличительная особенность ЛГП заключается в способности изменения профиля зазора при изменении режима работы. Податливость лепестков позволяет деформироваться в зависимости от веса и дисбаланса ротора, тепловых деформаций и внешних возмущений. При уменьшении толщины смазочного слоя давление возрастает и лепесток деформируется. При удалении лепестка от ротора происходит обратный процесс. Уменьшение окружной составляющей реакции смазочного слоя в результате деформации упругих элементов позволяет остановить процесс развития самовозбуждающихся колебаний, который является одной из главных причин потери устойчивости движения ротора. Упругие деформации и трение лепестков между собой и корпусом, а также несущий смазочный слой способствуют демпфированию колебаний ротора в ЛГП. Важнейшим стабилизирующим фактором является способность лепестков в результате деформации обеспечивать возможность прецессирования вала вместе с несущим смазочным слоем. Рассеивание энергии колебаний происходит в вязком слое, а также в зонах сухого трения.

Рис. 1. Фото роторно-опорного узла
(лепестковые подшипники в сборе с переходными втулками)

Подбор оптимальной геометрии упругих элементов, соответствующих им режимов работы позволяет выйти на новый уровень проектирования и эксплуатации насосного оборудования, минимизировать зазоры области рабочего колеса, повысив тем самым производительность насоса.

Библиографический список

1. Анохин, А.М. Особенности работы опор скольжения роторов насосов для перекачки нефтепродуктов / А.М. Анохин, С.В. Майоров, Л.А. Савин. Тяжелое машиностроение, 2008. – № 7. – С. 29–31.

2. Плясов, В.В. Насосы и насосные агрегаты для нефтедобывающих компаний / В.В. Плясов // Труды II международной научно-технической конференции «СИНТ 03». – Воронеж, 2003. – С. 116–121.

3. Савин, Л.А. Автоматизированное проектирование роторных систем: монография // Л.А. Савин, О.В. Соломин, Д.Е. Устинов, А.О. Пугачев; под общ. ред. Л.А.Савина. – М.: Машиностроение – 1, 2006. – 360 с.

4. Сытин А.В. Решение комплексной задачи расчета характеристик радиальных лепестковых газодинамических подшипников: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Орел, 2008. – 200 с.

УДК621.56

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВОДЫ В ФАКЕЛЕ ПРИ РАСПЫЛЕНИИ В ВАКУУМЕ

Круглов А. А.[1], Тазитдинов Р. Р.[1]

[1] *Университет ИТМО, РФ, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, д. 9*

Холодильная промышленность оказывает значительный вклад в глобальное потепление Земли. В первую очередь это обусловлено прямыми выбросами гидрофторуглеродов (далее – ГФУ хладагенты) в атмосферу. Во-вторых, выражено применением низкоэффективных систем охлаждения, которые косвенно причастны к выбросу парниковых газов [1]. Одним из энергоэффективных решений с использованием природных хладагентов является получение бинарного льда при давлении ниже тройной точки воды [2, 3].

Получение ледяных частиц методом капельной кристаллизации – один из высокопроизводительных способов. Его эффективность достигается за счёт увеличения поверхности контакта воды при распылении с помощью форсунок. Изменение режима работы форсунки позволяет управлять размером, формой и количеством получаемых частиц. Этот фактор является ключевым при производстве бинарной смеси, так как гидравлические и теплотехнические свойства бинарного льда зависят от формы и размера ледяных частиц [4].

Для получения бинарной смеси необходимо замораживать часть расхода воды. Факел распыла представляет собой объем с сформировавшейся системой капель различного диаметра. Уравнение Розина-Раммлера [5, 6] позволяет определить распределение капель по диаметрам:

$$R_i = 1 - \exp\left[-\left(\frac{d_i}{a_m}\right)^n\right].$$

В расчетах используется центробежно-струйная форсунка производства *Lechler GmbH* [7], формирующая факел в виде заполненного конуса. При расчете тепло-массовых процессов необходимо знать поверхность контакта капель.

Определить количество получаемого льда в факеле и количество водяного пара, отводимого в процессе замораживания, можно по формулам:

$$G_{ice} = m_{s2} n_d (x_{d32} - x_{devp}),$$

$$G_{wv} = n_d (m_l - m_{s2}),$$

В работе проведенно исследование процесса замерзания капель в факеле распыла при давлении ниже тройной точки воды для разных режимов работы центробежно-струйной форсунки. Проведен анализ влияния давления среды на количество получаемого льда и отводимого водяного пара. Количество получаемого льда возрастает с понижением давления среды. Увеличение среднего диаметра капель приводит к существенному росту затрат мощности на работу вакуумного насоса при незначительном увеличении массы льда. Полученные данные могут быть полезны при проектировании вакуумно-испарительной установки для получения бинарного льда и оценке ее производительности.

Библиографический список

1. Цветков О.Б. Монреальскому протоколу 30 лет: вызовы XXI века и глобальные трансформации [Текст] / Цветков О. Б., Лаптев Ю. А. // Холодильная техника. – 2018. – № 5. – С. 48–54.

2. Steffan, C., Honke, M., Safarik, M., 2016. Operational experiences with an ice slurry cold thermal storage systems using the R718 direct evaporation ice generation process. Proceedings of 11th IIR Conference on Phase Change Materials and Slurries for Refrigeration and Air Conditioning, Karlsruhe, Germany, IIR.

3. M. Safarik, M. Honke, C. Steffan, B. Burandt, 2016. Applications of the direct evaporation vacuum freezing technology. Proceedings of 11th IIR Conference on Phase Change Materials and Slurries for Refrigeration and Air Conditioning, Karlsruhe, Germany, IIR.

4. J.-P. Bedecarrats, F. Strub and C. Peuvrel, Thermal and hydrodynamic considerations of ice slurry in heat exchangers, International Journal of Refrigeration (2009), doi: 10.1016/j.ijrefrig.2009.04.002.

5. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Распылители жидкостей [Текст] – М.: Химия, 1979. – 216 с., ил.

6. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей [Текст]. – М.: Химия 1984. – 256 с.

7. Lechler [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.lechler.com/de-en/catalogues/?no_cache=1– дата обращения (20.09.2019).

УДК 621.565

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ С НОЧНЫМ РАДИАЦИОННЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Цой А. П.[1], Бараненко А. В.[1], Грановский А. С.[1], Цой Д. А.[2]., Корецкий Д. А.[1], Джамашева Р. А.[1]

[1] *Алматинский технологический университет, (Республика Казахстан, Алматы, ул. Толе би, 100)*
[2] *Университет ИТМО (Российская Федерация, Санкт-Петербург, Кронверский пр., 49)*

Ночное радиационное охлаждение (НРО) – способ охлаждения, основанный на передаче тепла от поверхности объекта в окружающее космическое пространство в виде длинноволнового инфракрасного излучения через атмосферу планеты в ночное время, когда нет притока тепла от солнечного света [1,2].

Применение НРО для кондиционирования воздуха в жилых и общественных зданиях в летнее время широко исследовано [2,3]. Анализ данных о климате регионов с резко-континентальным климатом с холодной зимой показал, что здесь имеет смысл рассмотреть возможность применения НРО для поддержания низких температур в холодильных складах. Однако, за счёт НРО нет возможности поддержания низких температур в течение всего года. Поэтому НРО должно использоваться совместно с обычными парокомпрессионными холодильными машинами (далее ХМ). Для этого разработана система хладоснабжения, в которой охлаждение жидкого теплоносителя, накопленного в аккумуляторе холода, производится периодически в радиаторах за счёт НРО и в испарителе ХМ. Охлажденный теплоноситель по мере необходимости подаётся в воздухоохладитель, расположенный внутри холодильной камеры.

Для оценки эффективности такой комбинированной системы хладоснабжения в течение годового цикла работы была разработана детализованная компьютерная модель [4], позволяющая рассчитывать процессы теплообмена, происходящие во всех элементах системы, а также определять уровень энергопотребления системы.

Комбинированная система хладоснабжения используется для поддержания температуры воздуха на уровне 0±1°С в малой холодильной камере для длительного хранения самосогревающихся продуктов.

Произведено моделирование работы системы хладоснабжения в двух сценариях. В первом сценарии охлаждение теплоносителя производилось только за счёт радиаторов. Во втором сценарии охлаждение теплоносителя производилось только в ХМ.

Сравнение результатов моделирования показало, что хотя радиаторы смогли в первом сценарии обеспечивать требуемую температуру 43,5% от общей продолжительности года, из этого периода следует вычесть 21,9% продолжительности года, в которые работа системы хладоснабжения вообще не нужна. Таким образом, за счет радиаторов требуемую температуру в камере можно и нужно поддержать лишь 1892,2 часа (78,8 дней) или 21,6% времени от общей продолжительности года. Использование радиаторов в данный период вместо ХМ приведёт к экономии около 242 кВт·ч электроэнергии за год (7,6%), а также сократит износ компрессора. При совместном использовании радиаторов и ХМ система хладоснабжения потребит за год 2950 кВт·ч (рисунок 1).

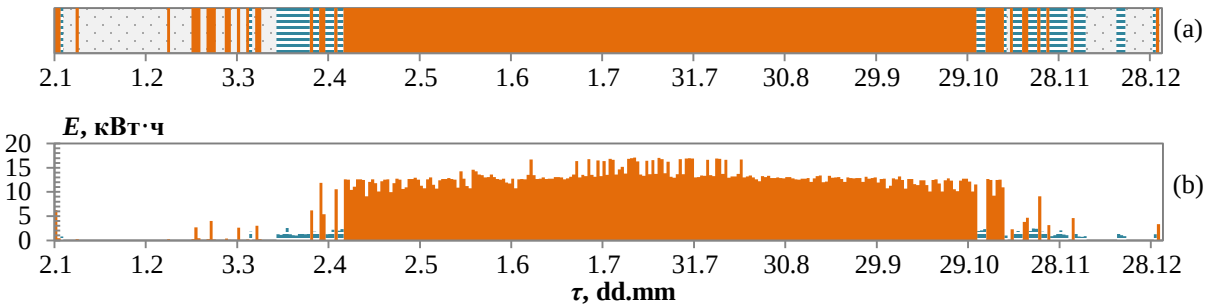


Рис. 1. Изменение в течение года энергопотребления комбинированной системы хладоснабжения, в которой используются радиаторы и ХМ:
a – периоды в которые требуется применение радиаторов и ХМ;
□ – не требуется система хладоснабжения; b – энергопотребление за сутки;
≡ – применяются радиаторы; ■ – применяется ХМ

Библиографический список

1. С. С. Дженблат, О. В. Волкова, Основы и перспективы применения пассивного радиационного охлаждения // Холодильная техника. – 2019. – № 9. – С. 36–43.

2. D. Zhao, A. Aili, Y. Zhai, J. Lu, D. Kidd, G. Tan, X. Yin, R. Yang, Subambient cooling of water: toward real-world applications of daytime radiative cooling // Joule. – 2019. – Vol. 3, № 1. – P. 111–123.

3. K. Zhang, D. Zhao, X. Yin, R. Yang, G. Tan, Energy saving and economic analysis of a new hybrid radiative cooling system for single-family houses in the USA // Appl. Energy. – 2018. – Vol. 224. – P. 371–381.

4. А. П. Цой, А. С. Грановский, Д. А. Цой, А. В. Бараненко, Моделирование работы установки с радиационным охлаждением для кондиционирования воздуха // Вестник Международной Академии Холода. – 2019. – № 3. – С. 3–14.

УДК 662.954

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЛОЖНОГО ТЕПЛООБМЕНА В КАНАЛЕ ПРИ ГОРЕНИИ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА

Теребилов С. В.[1], Таран М. А.[1], Лупенцов В. В.[1]

[1] *ФГБОУ ВО ОмГТУ (Российская Федерация, г. Омск, пр. Мира, 11)*

Одним из эффективных методов утилизации углеродсодержащих отходов (нефтяных шламов) является газификация. В результате газификации образуются только газообразные компоненты. Сам процесс протекает в специальных колоннах, называемых генераторами, а все газы, получаемые при газификации, называют генераторными газами [1, 2].

Полученный генераторный газ, возможно, использовать как топливо для печей нагрева сырья, а также для выработки тепловой и электрической энергии на собственные нужды, либо использовать как сырьё для химических производств [2].

Данная работа посвящена рассмотрению возможности работы трубчатых печей и жаротрубных котлов нефтеперерабатывающих производств на генераторном газе и исследованию процессов горения и теплообмена при сжигании генераторного газа в огневом канале. В исследовании рассматривалась следующая расчетная схема (Рис. 1).

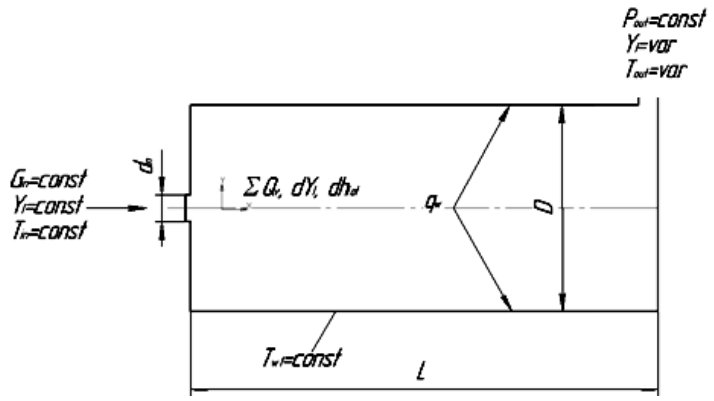


Рис. 1. Расчетная схема огневого канала

Задача решалась численным методом в программном комплексе ANSYS-CFX и включала следующие основные уравнения [3, 4]: неразрывности для всей смеси, неразрывности для каждого компонента, моментов, энергии и диссипации.

В результате выполненных исследований получены следующие результаты:

– генераторный газ, возможно, использовать как топливо для печей и жаротрубных котлов, что расширяет область применение данных устройств;

– наибольшее тепловосприятие стенки канала η = 0,63 соответствует объемному теплонапряжению $q_v \approx 950$ кВт/м^3 и должно учитываться при разработке топочной камеры жаротрубного котла;

– минимальные удельные концентрации оксидов азота наблюдаются при максимальном тепловосприятии стенки и объемном теплонапряжении $q_v \approx 950$ кВт/м^3 и не превышают предельно допустимые значения NO_x = 0,041 г/МДж.

– для интенсификации сложного теплообмена при горении генераторного газа в топочных устройствах, возможно, использовать пассивные методы (оребрение), по аналогии с топочными устройствами на природном газе.

Библиографический список

1. Shantarin V. D.Technology of oil sludge disposal / V. D. Shantarin, Y. D. Zemenkov, M. Y. Zemenkova, V. P. Pavlov // Oil Industry Journal, 2016. – Vol. 2016. – № 5. – P. 95–97.

2. Петровский Э. А. Современные технологии переработки шламов / Э. А. Петровский, Е. А. Соловьёв, О. А. Коленчуков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 4. – С. 124–131.

3. ANSYS CFX-Solver Theory Guide. ANSYS CFX Release 11.0 / ANSYS, Inc. // Southpointe 275 Technology Drive. – Canonsburg : PA 15317, 2006. – 312 p.

4. Spolding D. B. Calculation of Combustion Processes / D. B. Spolding // Rep-t. RF/TN/ A/1–8, 1971, Dept. Of Mechanical Engineering, Imperial College, London, England.

УДК 621.564

ГАЛОГЕНОЗАМЕЩЕННЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ТЕХНИКЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Цветков О. Б., Лаптев Ю. А., Митропов В. В., Просторова А. О., Шарков А. В.

Университет ИТМО (Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49)

В августе 1908 года в Париже состоялся первый международный конгресс по холоду, ставший вехой в развитии техники низких температур в России и в мире. Участник первого конгресса профессор, член-корреспондент АН СССР Саткевич А.А. в издании «Основной курс термодинамики» в 1925 году приводит перечень известных в начале XX века «работающих» тел: диоксид углерода, аммиак, хлорметил и сернистый

ангидрид [1]. Три года спустя был синтезирован первый галогенопроизводный предельных углеводородов – дифтордихлорметан, известный вначале как фреон-12, затем, по классификации ISO, как хладагент R12. Синтез R12 произвел революцию в низкотемпературной технике, поскольку снял такие болевые точки своих предшественников как пожароопасность, токсичность, запах, совместимость с металлами, минеральными маслами, эластомерами. Галогенопроизводные метана, этана, пропана, молекулы которых содержат углерод, водород, хлор, фтор, бром обеспечили практически все потребности в холоде промышленности, торговли, медицины, бытовых услуг. В мире в 1986 году производилось более миллиона тонн синтетических хладагентов, известных по классификации ИСО как R12, R13, R113, R14, R22, R21, R115, R502 и т. д., покрывавших почти 90 % потребности индустрии холода. Чуть более 10 % потребности оставалось за аммиаком.

Ситуация изменилась в сентябре 1987 года, когда по Монреальскому протоколу регламентировалось сначала сокращение, а затем и полное прекращение производства хлорфторуглеродов (ХФУ), гидрофторхлоруглеродов (ГХФУ) и всех бромированных производных углеводородов (галонов) [2]. Эти вещества оказались химически стабильными соединениями с периодом жизни в атмосфере Земли десятки и даже сотни лет. «Долгожители» были обнаружены в стратосфере, где молекулы хлора негативно воздействовали на озоновый слой Земли. После ограничений и запретов производства озоноразрушающих хладагентов резко возросло производство и применение гидрофторуглеродов (ГФУ) и перфторуглеродов (ПФУ). Эти хладагенты не содержат атомов хлора и брома, безопасны для озонового слоя Земли.

В декабре 1997 года на конференции Сторон рамочной конвенции ООН по изменению климата ГФУ и ПФУ были отнесены к парниковым газам, ответственным за климат Земли наряду с диоксидом углерода, метаном, закисью азота и шестифтористой серой. Климат планеты стал международной проблемой с ее экономическими, политическими и социальными последствиями, вызванными исчезновением ледников, деградацией вечной мерзлоты, повышением уровня мирового океана, волнами жары, засухами, наводнениями, нарушениями экологического равновесия на планете. Всемирная конференция по климату прошла в Париже в декабре 2015 года. В октябре 2016 года ООН была принята так называемая Кигалийская поправка, предусматривающая кардинальное сокращение производства ГФУ и ПФУ до 15 % от уровня 2011–2013 годов к 2036 году [3]. Альтернативой гидрофтор- и перфторуглеродов становятся гидрофторолефины (ГФО). Двойная углерод-углеродная связь резко снижает парниковый эффект этих хладагентов, делает их неустойчивыми в атмосфере Земли. Благодаря короткому времени жизни в атмосфере в молекулах этих хладагентов вновь появились атомы хлора.

Библиографический список

1. Саткевич А.А. Основной курс термодинамики. – Л.: Военно-техн. академия Р.К.К.А., 1925. – 271 с.

2. UNEP. 1987 with subsequent amendments. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozon Layer. Nairobi, Kenya, UNEP, 1987.

3. COP 22. The role of refrigeration in the combat against climate change // Int. J. Refrigeration. – 2017. – Vol. 74. – P. 1–2.

УДК621.521

КОМПЛЕКСНОЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗМАСЛЯНОГО СПИРАЛЬНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

Тюрин А. В.[1,2], Райков А. А.[1], Саликеев С. И.[1], Бурмистров А. В.[1], Капустин Е. Н.[2]

[1] *Казанский национальный исследовательский технологический университет (Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, 68)*
[2] *АО Вакууммаш (Россия, г. Казань, ул. Тульская, 58)*

Введение

В настоящее время насосы вакуумные спиральные (НВСп), благодаря известным достоинствам, стали основным средством получения безмасляного вакуума в классе машин малой и средней производительности [1, 2]. Совершенствование НВСп идет по пути оптимизации геометрии спиралей, снижения обратных перетеканий и потребляемой мощности, расширения рабочего диапазона давлений, применения новых материалов и технологий изготовления.

Математическая модель рабочего процесса НВСп является наиболее универсальным и надежным инструментом, позволяющим прогнозировать его характеристики при различных условиях работы. В статье [3] была разработана математическая модель, учитывающая влияние теплообмена, тепловых и силовых деформаций рабочих элементов, подвижность стенок спирального элемента, сопротивления входа и выхода.

Верификация математической модели предполагает наличие базы экспериментальных данных, полученных для максимального количества факторов, влияющих на откачные характеристики. С этой целью был разработан стенд комплексных экспериментальных исследований [4]. Объектом исследования является безмасляный насос с однозаходной эвольвентной спиралью и геометрической быстротой действия 3,5 л/с при 1500 об/мин. Монтажный радиальный зазор в первой серии опытов при эксцентриситете вала 4,59 мм составил 0,11 мм.

Обсуждение результатов исследований

При помощи стенда комплексных экспериментальных исследований НВСп были получены зависимости:
– быстроты действия от давления на входе в насос;
– предельного остаточного давления насоса от частоты вращения приводного вала;
– потребляемой мощности от давления на входе в насос;
– давления в рабочих полостях насоса от угла поворота приводного вала (индикаторные диаграммы);
– температуры корпуса, подвижного и неподвижного спиральных элементов, газа на входе и выходе.

Все зависимости измерялись при частотах вращения приводного вала начиная от 500 и заканчивая 1750 об/мин с шагом в 250 об/мин.

Также проведены аналогичные эксперименты для двух других радиальных зазоров между спиралями. Здесь для изменения радиального зазора, было дополнительно изготовлено два приводных вала, первый с эксцентриситетом 4,54 мм, второй – 4,61 мм. Соответственно радиальный зазор составил 0,16 и 0,09 мм.

Выводы

Проведено комплексное экспериментальное исследование безмасляного спирального вакуумного насоса. Получена база экспериментальных данных при варьировании всех основных факторов, влияющих на процесс откачки, которая будет использоваться для проверки адекватности математической модели спирального вакуумного насоса.

Библиографический список

1. Бурмистров, А.В. Некоторые аспекты выбора безмасляных насосов среднего вакуума / А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев, А.А. Райков // Вестник Казанского технологического университета. – 2013, Т. 16. – № 10. – С. 220–223.

2. Современное состояние рынка безмасляных форвакуумных средств откачки / И. В. Ануфриева, Ю. К. Васильев, В. Н. Кеменов, С. Б. Нестеров, Т. С. Строгова // Вакуумная техника и технология. – 2003. – Т. 13, № 2. – С. 93–99.

3. Бурмистров А.В., Саликеев С.И., Райков А.А., Тюрин А.В., Якупов Р.Р., Математическая модель рабочего процесса безмасляного спирального вакуумного насоса / Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Серия "Машиностроение". 2018. – № 6 (123). – С. 103–111.

4. Бурмистров А.В. Стенд исследовательских испытаний безмасляных спиральных вакуумных насосов / А.В. Бурмистров, А.А. Райков, С.И. Саликеев, А.В. Гаврилов, В.П. Матвеев // Вестник Казанского технологического университета. – 2013, Т. 16. – № 14. – С. 174–177.

УДК 621.6

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ПРОТОЧНОЙ ПОЛОСТИ ВИХРЕВОГО СТРУЙНОГО УСТРОЙСТВА

Усс А. Ю.[1], Чернышев А. В.[1], Пугачук А. С.[1,2], Тухбатуллин Ф. Г.[3]

[1] *МГТУ им. Н. Э. Баумана (РФ, г. Москва ул. 2-я Бауманская, дом 5*
[2] *Объединенный Институт Высоких Температур Российской Академии Наук (РФ, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)*
[3] *РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина (РФ, г. Москва, Ленинский пр-т., д. 65)*

Работа посвящена разработке стенда для проведения физического моделирования рабочего процесса и визуализации течения газа в проточной полости вихревого струйного устройства. На основании литературного обзора обнаружен ряд примеров по визуализации рабочего процесса в проточной полости вихревого струйного устройства. Разработанный стенд позволяет проводить физическое моделирование

рабочих процессов в проточной полости вихревого струйного устройства с использованием его неполноразмерного макета. С применением критериев подобия разработчик может получить необходимые параметры рабочего процесса в реальном объекте исследования. Также разработанный стенд позволяет исследовать распределение потоков газа в проточной полости вихревого струйного устройства. Исследование процесса течения газа в различных макетах вихревых струйных устройств с помощью разработанного стенда позволит разработчику сделать заключение о влиянии геометрических параметров конструкции на аэродинамику вихревой камеры, а также исследовать течение газа в проточной полости. Стенд рекомендуется использовать как инструмент в методике проектирования вихревых струйных устройств на основе многокритериальной оптимизации геометрических параметров проточной полости на основе метода нулевого порядка (Симплексного метода).

Разработанный экспериментальный стенд для визуализации рабочего процесса в проточной полости вихревого струйного устройства способствует в дальнейшем исследованию рабочего процесса и получению новых знаний о рабочем процессе, протекающем в проточной полости вихревого струйного устройства, предназначенного для управления потоком газа.

Проведенные в дальнейшем визуальные исследования рабочего процесса позволят обнаружить ранее неизвестные явления и способствуют созданию новых теорий, либо дадут ясное физическое толкование закономерностей, обнаруженных в результате измерений и расчетов локальных параметров исследуемого течения рабочей среды.

Разработанный стенд позволит проводить физическое моделирование рабочего процесса в проточной полости вихревого струйного устройства на уменьшенной копии. Далее используя модельную аналогию, разработчик может сделать заключения о рабочем процессе на реальном объекте исследования.

Также разработанный стенд позволит исследовать течения газа в проточной полости вихревого струйного устройства. Исследование различных моделей вихревых струйных устройств на разработанном стенде позволит разработчику сделать заключение о влиянии геометрических параметров конструкции на аэродинамику вихревой камеры, а также течение газа в проточной полости.

Используя возможности RGB кодировки можно идентифицировать пропорцию цвета смеси двух потоков: потока из канала питания с потоком из канала управления и, таким образом, сделать заключение о концентрации потоков (питания и управления) в каждой точке вихревой камеры.

Разработанный стенд рекомендуется использовать как инструмент в методике проектирования геометрии вихревых струйных устройств на основе многокритериальной оптимизации геометрических параметров проточной полости на основе метода нулевого порядка (Симплексного метода).

Библиографический список

1. F. R. Goldschmied and M. A. Kalange, “Hydraulic Axisymmetric Focused-Jet Diverters with Pneumatic Control”, (NASA TM X-53554, Huntsville, Alabama, 1966). – 247 p.

2. Yu. Uss and A.V. Chernyshev, “The Development of the Vortex Gas Pressure Regulator”, *Procedia Engineering*, (Moscow, 2016), vol. 152. – Pp. 380–388.

3. Yu. Uss, A. V. Chernyshyov, and V.I. Krylov. “Development of Gas Pressure Vortex Regulator”, AIP Conference Proceedings 1876, 020025 (2017); doi: 10.1063/1.4998845.

4. O. V. Belova, A. A. Starodubcev and A. V. Chernyshev. “Calculation of the vortex gas pressure regulator”, *Engineering Journal: Science and Innovation*, (Moscow, 2013), vol. 5. URL: http://engbul.bmstu.ru/doc/740398.html

5. O. V. Belova, A. A. Starodubcev and A. V. Chernyshev, “Vortex gas pressure regulator” *in Engineering Magazine: Engineering Gazette*, 2014, vol. 10. URL: http://engjournal.ru/articles/760/760.pdf

6. L. A. Zalmanzon, *Pneumatic element’s theory* (Nauka, Moscow, 1969), 508 p.

7. V. Lebedev, S. L. Treskunov and V. S. Yakovenko, *Elements of jet automation* (Moscow, 1973). – Pp. 289–314.

8. V. F. Bugaenko, *Pneumatic automation of space rocket systems* (Moscow, 1979), 168 p.

9. Works MSTU №244. Research and calculation of inkjet elements and chains of automatic control systems. 1977.

10. D. Parker, M.J. Birch and J. Francis, “Computational fluid dynamic studies of vortex amplifier design for the nuclear industry”, DOI: 10/1115/1.4003775.

11. V.Tesař, “Fluidic control of molten metal flow”, *Acta Polytechnica*, 2003, vol. 43, No. 1.

12. I.M. Sobol and R.B. Statnikov, “Choice of optimal parameters in criterion problems”, (Moscow, 2006), 175 p.

13. G. Chochua, A. Rudic, A. Kumar, A. Mainy and G. Woiceshyn “Cyclone type autonomous inflow control device for water and gas control: simulation - driven design,” Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and conference , 2018

14. A.A. Krutikov, “Development of analysis method and creating of pneumatic heat and cooling control device”, Ph.D. 05.06.04, BMSTU, (Moscow, 2008).

15. Y.A. Grishin, V.A. Zenkin and R.N.Khmelev, “Boundary conditions for numerical calculation of gas exchange in piston engines”, *Journal of Engineering Physics and Thermophysics* (Moscow, 2016). – Vol. 90. – No. 4. Pp. 965–970.

16. A.I. Leont'ev, Y.A. Kuzma-Kichta and I.A. Popov, "Heat and mass transfer and hydrodynamics in swirling flows (review)", *Thermal Engineering*, (Moscow, 2017). – Vol. 64. – No. 2. – Pp. 111–126.

17. D.A.Zhidkov, V.A. Denisov and O.V. Kirikova, " Detailed consideration of the shock-wave (pulsation) concept of the Ranque-Hilsch vortex effect", *Theoretical foundations of Chemical Engineering*, (Moscow, 2018). – Vol. 52. – No. 4. – Pp. 751–759.

18. X.Huang, W.Cheng, W. Zhong and X. Li, "Development of new pressure regulator with flowrate-amplification using vacuum ejector", *Vacuum*, (China, Zhenjiang, 2017). – Vol. 144. – pp. 172–182.

19. O.V. Mitrofanova, G.D. Podzorov and I.G. Pozdeeva, "Vortex structure of swirl flows", *International journal of heat and mass transfer*, (Moscow, 2013). – Vol. 65. – Pp. 225–234.

20. Chen, M. Veenstra, J. Purewal, B. Hobein and S. Papasavva, "Modeling a hydrogen pressure regulator in a fuel cell system with Joule-Thomson effect", *International journal of hydrogen energy*. – No. 2. – Pp. 1272–1287.

21. T. Kato, K. Kawashima, T. Funaki, K. Tadano and T. Kagawa, "A new, high precision, quick response pressure regulator for active control of pneumatic vibration isolation table", *Presicion engineering*. – 2010. – Vol. 34. – Pp. 43–48.

22. I.R. Chinyaev, A.V. Fominykh and E.A. Ilinykh, "The valve is a shutoff for the passive protection systems of pipelines", *Procedia engineering*, (Kurgan, 2016). – Vol. 150. – Pp. 220–224.

23. A.YU Uss, A.S. Pugachuk and A.V. Chernyshev, Development of a Research Algorithm and Optimization of the Parameters of a Flowing Cavity of a Vortex Inkjet Device, 2019.

24. В.Н. Емельянов, К.Н. Волков. "Визуализация данных физического и математического моделирования в газовой динамике", 2018 г.

25. D. Parker M. J. Birch J. Francis Computational Fluid Dynamic Studies of Vortex Amplifier Design for the Nuclear Industry — I. Steady-State Conditions, 2011.

26. Guido Belforte Andrea Manuello Bertetto Luigi Mazza Semi-Empirical Study of Water Flow Through Vortex Triodes and Performance Optimization 2015.

27. Riccardo Balin* and Kenneth E. Jansen A Comparison of RANS, URANS, and DDES for High-Lift Systems from HiLiftPW-3, 2018.

УДК 620.178.3

ПРИМЕНЕНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РОСТА УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН ДЛЯ ТОЛСТОСТЕННЫХ СОСУДОВ

Вансович К. А.[1], Аистов И. П.[1], Беселия Д. С.[2], Нахлесткин А. А.[2]

[1] *ФГБОУ ВО ОмГТУ (Россия, г. Омск, пр-т Мира 11)*
[2] *АО «Транснефть – Западная Сибир» (Россия, г. Омск, ул. Красный путь 111)*

Описан порядок использования упругопластической модели роста усталостных трещин для различных металлов, используемых для сосудов, работающих под давлением. Скорость роста трещин связана с разрушение в вершине усталостной трещины, происходящим из-за охрупчивания металла впереди фронта трещины.

Для моделирования толстостенных сосудов и исследования напряженного состояния в зоне трещины использовался метод конечных элементов реализованный с помощью программного комплекса ANSYS Workbench. При сравнительной оценке влияния степени двухосности нагружения в зоне трещины на ее скорость использовалось среднее напряжение в хрупкой зоне и максимальное эквивалентное напряжение в зоне развития больших пластических деформаций.

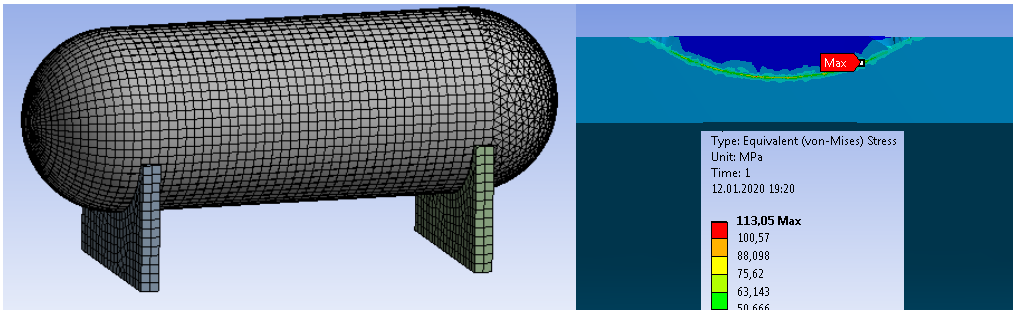


Рис. 1. Расчетная схема горизонтального сосуда давления с поверхностной трещиной

Формула для определения скорости роста усталостных трещин для заданной стали определялась по данным усталостных испытаний и результатам исследования напряженного состояния в вершине трещины с учетом пластических деформаций. Предложенная модель роста усталостных поверхностных трещин позволяет выполнить оценку остаточного ресурса в толстостенных сложно нагруженных деталях из конструкционных металлов. В частности для получения формулы скорости усталостной трещины в часто применяемой для сосудов давления стали 10Г2 были использованы результаты усталостных испытаний, представленные в работе [2]

$$da/dN = 1{,}16 \cdot 10^{-11} \left(\Delta K_{\sigma 0}\right)^{2{,}88}, \quad (1)$$

где da/dN – скорость роста усталостной трещины;

$\Delta K_{\sigma 0}$ – коэффициента изменения средних напряжений за цикл нагружения.

$$\Delta K_{\sigma 0} = \Delta\sigma_0 \sqrt{2\pi r}, \quad (2)$$

где r - расстояние от вершины трещины до точки, в которой вычислена разность средних напряжений $\Delta\sigma_0$.

Таблица 1. Зависимость скорости роста трещины от напряжений в вершине трещины для стали 10Г2

а, мм	R	σ_x, МПа	σ_y, МПа	σ_z, МПа	$\Delta\sigma_0$ МПа	$\Delta K_{\sigma o}$, МПа*м^{0,5}	da/dN, м/цикл
10	0	983 –869	1174* –775**	831 –545	996 –730	43,0	$0{,}58 \cdot 10^{-6}$
7	0	473 –405	718 –451	444 –170	545 –342	22,0	$0{,}85 \cdot 10^{-7}$
10	0,7	984 440	1178 604	832 542	998 528	11,8	$0{,}16 \cdot 10^{-7}$
7	0,7	474 158	718 382	445 276	546 272	7,0	$0{,}31 \cdot 10^{-8}$
10	0,4	998 –118	1187 5	834 180	998 23	24,4	$0{,}11 \cdot 10^{-6}$
7	0,4	474 62	718 –50	444 –170	545 53	12,4	$0{,}18 \cdot 10^{-7}$

Библиографический список

1. Ерехинский, Б.А. Технологическое оборудование емкостного и колонного типов на объектах ПАО «Газпром». Проектный и возможный срок безопасной эксплуатации / Б.А. Ерехинский – АО «Воронежская областная типография». – Воронеж, 2017. – 224 с.

2. Вансович К.А., Аистов И.П., Ядров В.И. Определение скорости роста несквозных усталостных трещин в условиях неоднородного поля напряжений /Современные технологии. Системный анализ. Моделирование, 2014. – №3(43) – С. 42–47.

3. Elsaadany, M.S. Determination of Shakedown Boundary and Failure-Assessment-Diagrams of Cracked Pipe Bends / M.S. Elsaadany, M.Y.A. Younan, H.F. Abdalla // Journal of Pressure Vessel Technology. – 2014. – Vol. 136. – DOI: 10.1115/1.4025614.

УДК 621.01

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Проскуряков Н. Е.[1], Лопа И. А.[1]

[1] *Тульский государственный университет (Россия, Тула, проспект Ленина, 92)*

В нефтегазовом машиностроении одним из важных составляющих является соединение элементов трубопровода. Наиболее распространенным видом соединения является фланцевое соединение. Конструирование и расчет фланцевых соединений затрудняется большим числом факторов, влияющих на его работу: условиями эксплуатации, квалификацией обслуживающего персонала, колебаниями температуры и т.д.

На примере анализа современных технических решений предложена новая конструкции фланцевого соединения, обеспечивающая самоцентрирование крепежных болтов при одновременном ограничении принудительного изгиба приводных валов [1–4].

Для обеспечения точного совмещения отверстий под болты и повышение надежности срабатывания приводов и самих затворов при значительных нагрузках предлагается в первой соединительной муфте, содержащей присоединительный фланец, например, в виде квадрата с четырьмя отверстиями для крепления и вал выходной приводной, отверстия выполнять с пазами в тангенциальном направлении. Соответственно, во второй соединительной муфте, также содержащей присоединительный фланец в виде квадрата с четырьмя отверстиями для крепления и вал входной приводной, отверстия - с пазами в радиальном направлении, причем соответствующие цилиндрические участки имеют длину равную удвоенному соответствующему допуску на изготовление отверстий. В этом случае отверстия можно выполнять без зазора и болты войдут во все отверстия даже при максимальных допусках разных знаков, что обеспечит при их затяжке соосность валов привода и затвора (рис. 1).

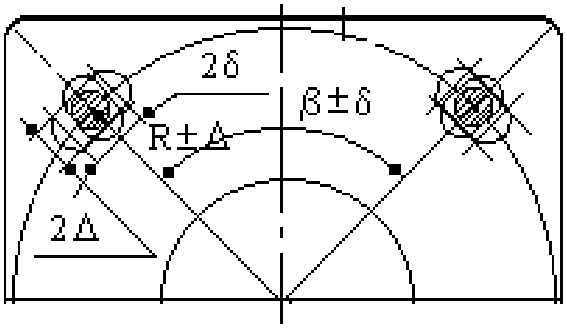


Рис. 1. Фланцевое соединение с возможностью самоцентрирования болтов

При эксцентриситете приложения нагрузки, e (рис. 2) произойдет изгиб приводного вала на величину, не более, чем несоосность e.

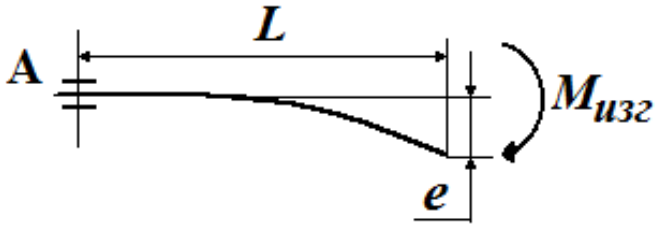


Рис. 2. Эксцентриситет приложения нагрузки

Этот изгиб равен действию на вал изгибающего момента $M_{\text{изг.}}$, определяемого так:

$$M_{\text{изг}} = 2\,E\,I\,e/L^2, \tag{1}$$

где Е – модуль упругости материала приводного вала; I – осевой момент инерции поперечного сечения; L – длина консоли приводного вала.

Поэтому в материале приводного вала будут действовать дополнительные напряжения изгиба $\sigma_{\text{изг}}$ и кручения $\tau_{\text{кр}}$, связанные с технической характеристикой электропривода – крутящим моментом на выходном валу – Т.

Под действием вышеуказанных напряжений материал приводного вала находится в сложном напряженном состоянии, и его прочность определяется по энергетической теории прочности:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_{\text{изг}}^2 + 3\tau_{\text{кр}}^2} \le [\sigma], \tag{2}$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение материала приводного вала

Выражая e из неравенства (2), с учетом (1) получим:

$$e \le L^2 \cdot \sqrt{[\sigma]^2 - 3T^2d^2/(16I^2)}\,/(d \cdot E)\,. \tag{3}$$

где d – наружный диаметр приводного вала.

Следует отметить, что параметр e определяется для каждого стандартного электропривода в соответствии с его основными техническими характеристиками и выбор его из условия (6) обеспечивает сохранение прочности приводного вала при работе электропривода. Кроме того, ограничение e благотворно влияет и на условия работы затвора трубопровода.

Библиографический список

1. Патент на полезную модель 144208 РФ. Опубл. 10.08.2014. Бюл. №22. Шиберная задвижка / А.И. Ефимова, И.В. Лопа, Е.В. Панченко.

2. Proskuriakov N.E., Lopa I.V., Trapeznikov E.V. Control of influence of a thread on a bending of screws // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Т. 858. – № 1. – С.012028.

3. Proskuriakov N.E., Lopa I.V. Calculation of Spindle of Pipeline Fittings on the Longitudinal Stability // Procedia Engineering. – 2016. – Т. 152. – С. 265–269.

4. Баранов В.Л., Лопа И.В. Радиальные волны кручения и продольного сдвига в упруго-вязкопластической толстой пластине в неизотермической постановке // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – № 7. – 1989. – С. 27–30.

УДК 674. 047

РАЗРАБОТКА МЕТОДА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

Максименко В. А.[1], Евдокимов В. С.[1], Калита В. С.[1]

[1] *ФГБОУ ВО ОмГТУ (Российская Федерация, г. Омск, пр. Мира 11)*

В нашей стране имеются огромные запасы древесины, которые на сегодняшний день мы предпочитаем продавать за рубеж. Связано это с тем что в России нет достаточно эффективных средств и методов сушки древесины для последующего ее применения в строительстве или же конструировании мебели. Одни методы являются очень эффективными, но затратными и от них отказываются, некоторые способы применяют исключительно для определенного вида дерева. Самыми известными методами сушки являются:

- Естественная сушка древесины
- Камерная
- Контактная и использованием искусственного тепла
- Сушка в жидкостях
- Сушка в поле токов высокой частоты
- Индукционная, ротационная и радиационная сушки
- Сушка с использованием камер ПАП
- СВЧ сушка

Перечисленные методы сушки имеют как существенные плюсы, так и не менее существенные минусы. Одни требуют больших энергозатрат, другие требуют длительного времени сушки, третьи и вовсе могут ухудшить качество материала в процессе. Самым эффективным по показателю качества сушки и качества материала является естественная сушка, но ее главным минусом является зависимость от атмосферных условий, что может привести и без того долгий процесс к еще более длительному времени сушки.

Основным практическим недостатком перечисленных методов является остаточное внутреннее напряжение в древесине после процесса сушки, что приводит к разрушению материала при его последующей обработке. Излишнее внутреннее напряжение при сушке возникает из-за неравномерного удаления влаги из материала, происходит усушка древесины, в результате чего возникают влажностные внутренние напряжения и противоположные им по знаку остаточные напряжения [1]. Сохранившиеся в пиломатериалах после сушки остаточные напряжения могут быть полностью сняты или уменьшены до допустимого значения путём увлажнения поверхности паром, водой, воздействием механических усилий или ионизирующих излучений.

В данной работе рассматривается конденсационный метод сушки древесины. Конденсационный сушильный цикл с применением холодильной установки, играющей роль теплового насоса, подразумевает нулевой расход тепла на испарение влаги. Затраты электроэнергии идут на прогрев пиломатериала, а также на привод компрессора и вентиляторов. Конденсационные сушильные камеры эффективно используются

в тандеме с традиционными конвективными сушилками. Пиломатериалы сначала высушиваются в конденсационной камере, а потом досушиваются по необходимости до эксплуатационной влажности в конвективной камере. При таком варианте будет обеспечено высокое качество пиломатериалов и затраты на сушку будут минимальными [2]. Схема работы конденсационной сушильной камеры представлена на рисунке 1.

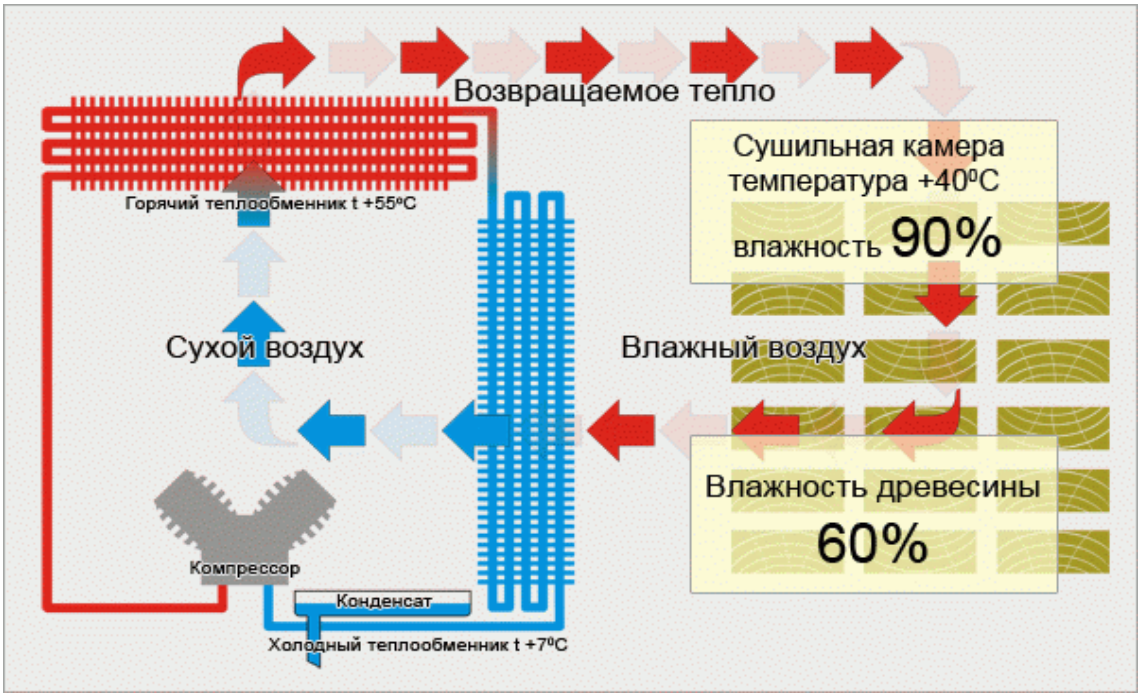


Рис. 1. Схема конденсационной сушильной камеры

В работе рассматривается конденсационная сушка с использованием температур ниже 0°С. Данный метод требует длительного времени, но предоставляет не только низкое остаточное напряжение, но и возможность его отсутствия в материале. Предложенная технология базируется на данных экспериментальных исследований и является малоизученной.

Библиографический список

1. А.И. Расев, Сушка древесины. Учебник для проф.-техн. училищ. – М.: Высш. школа, 1980. – 181 с.
2. С.И. Акишенков, В.И. Корнеев, Проектирование лесосушильных камер и цехов: учебное пособие. – 4-е изд., перераб. и доп. / СПбГЛТА., 2008. –104 с.

УДК 621.51

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА НАГНЕТАТЕЛЯ РУТС С ЭЖЕКТОРНОЙ ПРИСТАВКОЙ И ПЕРЕПУСКОМ ГАЗА ЧЕРЕЗ ТОРЦЕВЫЕ ПРОФИЛИРОВАННЫЕ ОКНА НА КОРПУСЕ

Визгалов С. В., Ибраев А. М., Волков М. В., Идиятуллин Б. Ф., Хисамеев И. Г.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
(Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 68)

Представлены результаты математического моделирования в форме индикаторной и температурной диаграмм нагнетателя Рутс, работающего с перепуском газа с нагнетания на всасывание через эжектор. Отличительной особенностью моделируемой системы является то, что местом подвода перепускаемого газа из

диффузора эжектора в отсеченную рабочую полость являются торцевые окна, имеющие профиль, определяемый контуром лопасти ротора. Отдельно проведен CFD расчет течения в эжекторе при условиях изменения давления на выходе из диффузора. Полученные зависимости для коэффициента эжекции внесены в математическую модель нагнетателя, которая строится по принципу термодинамической модели контрольного объема. Получены и проанализированы индикаторные и температурные диаграммы рабочего процесса нагнетателя в зависимости от отношения давлений, которые представлены в сравнении с режимами работы без эжектора и со способом перепуска газа через радиальные щели на корпусе.

Библиографический список

1. Визгалов С.В., Волков М.В., Чекушкин Г.Н., Хисамеев И.Г. Численное моделирование характеристик роторного нагнетателя объемного действия типа Рутс при работе с перепуском газа через эжектор // Компрессорная техника и пневматика. – № 5. – 2017. – С. 19–23.

УДК 621-652

ТЕХНОЛОГИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕДПОМПАЖНОГО СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Кожухов Ю. В.[1], Лебедев А. А.[1], Яблоков А. М.[1], Нгуен Минь Хай[2]

[1] *ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого (Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29)*
[2] *PETROVIETNAM EXPLORATION PRODUCTION CORPORATION, 12 B Floor, Petroland Tower 12 Tan Trao Str., Tan Phu Ward Dist.7, Ho Chi Minh City – Vietnam*

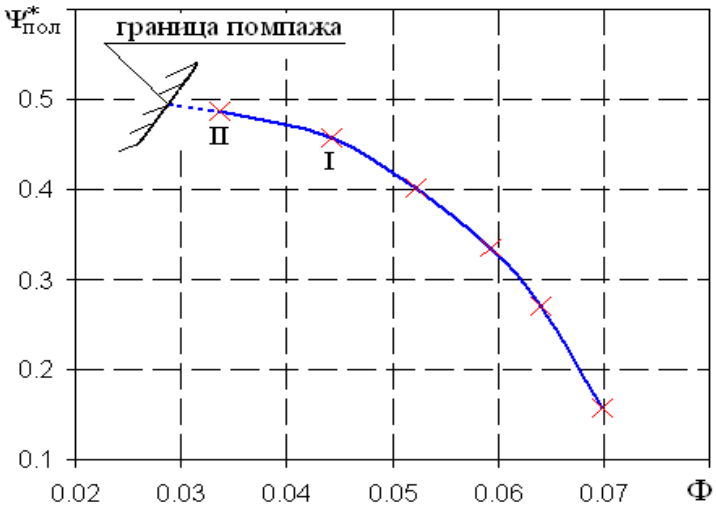
Нестационарный характер течения газа в проточной части определяется большим количеством факторов и его исследование и прогнозирование является актуальным вопросом [1–3]. На сегодняшний день распространенным является параметрический способ защиты, предусматривающий определение потери устойчивости по текущему расходу. Одной из основных целей исследования является разработка признакового способа защиты центробежных компрессоров от помпажа. Суть признакового способа заключается в обнаружении характерных признаков поведения потока рабочей среды (газа, воздуха) в проточной части турбокомпрессора перед появлением помпажа. Существует много методов обработки сигналов для выявления скрытых периодичностей [4]. Практическое применение находят фильтрация, периодограмм-анализ, спектральный анализ, корреляционный анализ, сингулярный спектральный анализ (ССА), вейвлет-анализ, анализ главных компонент, анализ независимых компонент и другие. ССА является хорошим способом для анализа структуры временных рядов [5].

На основании свойств ССА и АКФ разработан алгоритм для обнаружения предпомпажного состояния центробежного компрессора. Сначала выполняется ССА для восстановления составляющей по паре соседних сингулярных троек с близкими сингулярными числами. После чего вычисляется АКФ для проверки восстановленной составляющей на периодичность. Такая процедура проводится до тех пор, пока не найдена первая периодическая (квазипериодическая) составляющая среди выбранных главных компонент или не проверены все главные компоненты.

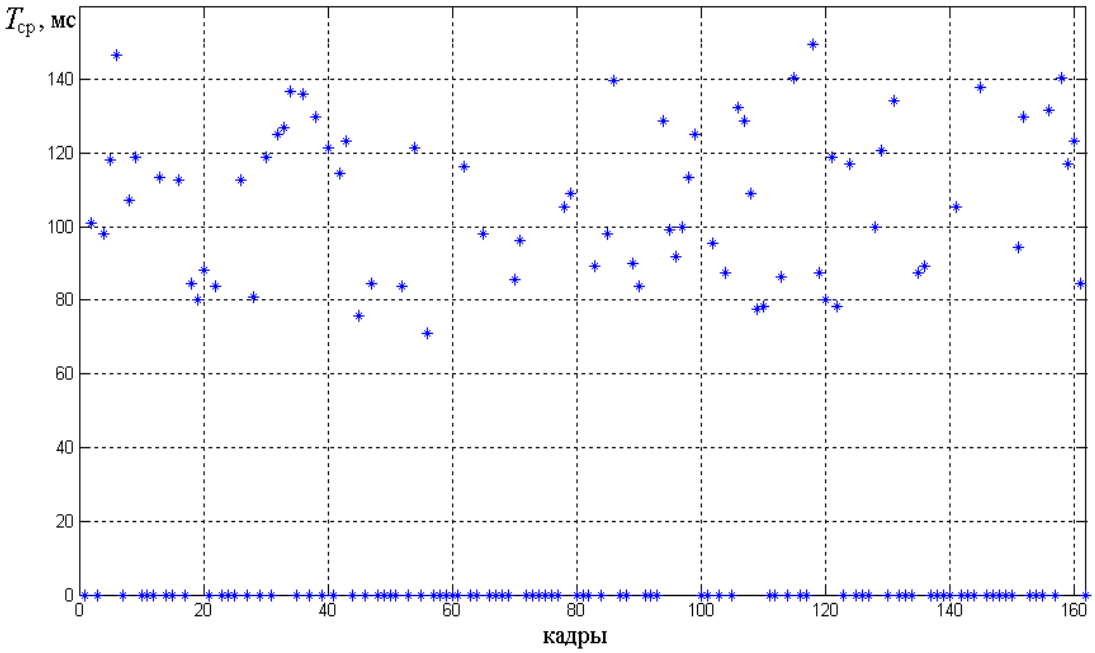
Приведены результаты обработки сигналов, записанных во время испытания модели первой ступени нагнетателя 395-21-1 ПО “ Невский завод” с расчетным условным коэффициентом расхода $\Phi_р \approx 0{,}047$ и коэффициентом политропного напора $\psi_п \approx 0{,}43$.

На рисунке 1а представлена характеристика «напор-расход» первой ступени нагнетателя 395-21-1 при $u_2 = 200$ м/с. На рисунке 1б приведены результаты обработки сигналов по кадрам, на которые автоматически разбивается реализация на режиме предсрыва (точка I на рис. 1а) и вращающегося срыва (точка II на рис. 1а). По оси ординат – значения среднего текущего периода, а по оси абсцисс – число кадров. В обоих случаях, сигнал получен от датчика, установленного на выходе из лопаточного диффузора.

Исследование показало, что ССА является хорошим инструментом для анализа структуры кратковременных нестационарных сигналов давления, а АКФ – для проверки на периодичность и получения параметров периодической составляющей. Совместное применение ССА и АКФ позволяет разработать надежный алгоритм для обнаружения предпомпажного состояния центробежного компрессора.



а)



б)

Рис. 1. а) Характеристика «напор-расход» первой ступени нагнетателя 395-21-1.
б) Изменение текущего периода в предсрывном режиме Ф = 0,044

Библиографический список

1. Neverov, V. V.; Kozhukhov, Y. V.; Yablokov, A. M.; Lebedev, A. A. Optimization of a centrifugal compressor impeller using CFD: the choice of simulation model parameters. 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 232 012037. DOI: 10.1088/1757-899X/232/1/012037.

2. Danilishin, A.M., Kozhukhov, Y.V., Neverov, V.V., Malev, K.G., Mironov, Y.R. The task of validation of gas-dynamic characteristics of a multistage centrifugal compressor for a natural gas booster compressor station (2017) AIP Conference Proceedings, 1876, № 020046. DOI:10.1063/1.4998866.

3. Danilishin, A.M., Kozhukhov, Y.V., Yun, V.K. Multi-objective optimization for impeller shroud contour, the width of vane diffuser and the number of blades of the centrifugal compressor stage based on the CFD calculation (2015) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 90 (1), № 012046. DOI:10.1088/1757-899X/90/1/012046.

4. Бендат Дж, Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – М.: Мир, 1989. – 540 с.

5. Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница» / под ред. Данилова Д.Л., Жиглявского А.А. – СПб.: Издательство СПбГУ, 1997. – 307 с.

УДК621.514

СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЁТА ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ РОТОРОВ ВИНТОВЫХ КОМПРЕССОРОВ

Якупов Р. Р.[1,2], Мустафин Т. Н.[1], Хамидуллин М. С.[1], Хисамеев И. Г.[1], Аляев В. А.[1]

[1] *Казанский национальный исследовательский технологический университет (Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 68)*

[2] *ООО «Челябинский компрессорный завод» (Россия, Челябинская область, Красноармейский район, 14-й километр автодороги Челябинск-Новосибирск)*

Задание безопасных зазоров в компрессорах объемного действия, является важной задачей, поскольку определяет не только надежность машины, но и её термодинамические характеристики. При конструировании компрессоров приходится искать компромисс между снижением вероятности заклинивания, для чего необходимо увеличивать зазоры между рабочими элементами, и снижением перетечек, что достигается уменьшением зазоров. Назначение безопасных зазоров невозможно без расчёта тепловых деформаций, а, следовательно, и распределения температур по составным частям компрессоров.

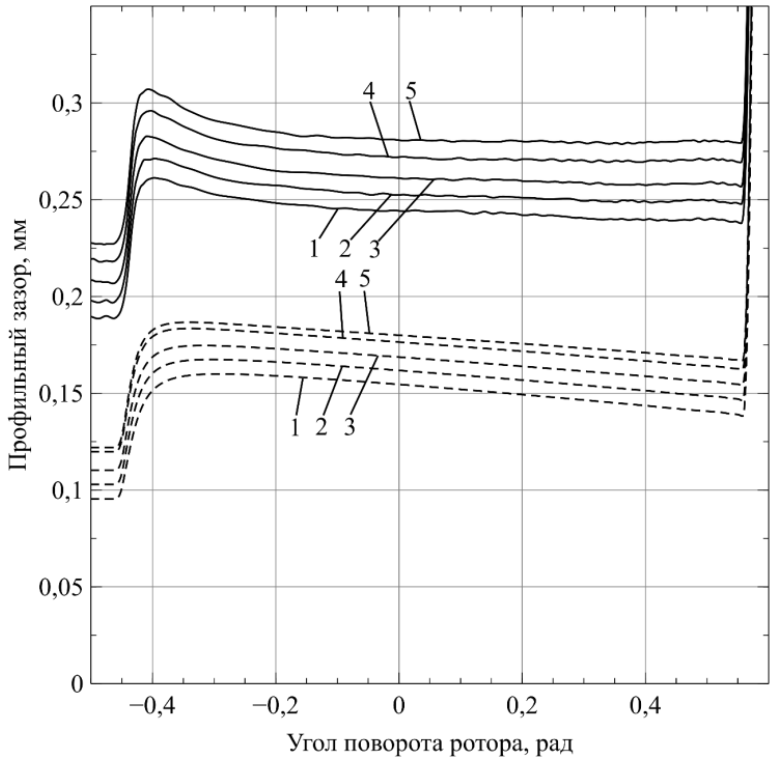


Рис. 1. Распределение профильного зазора при давлении нагнетания 3 кгс/см^2.
Сплошная линия – расчёт конечными разностями; прерывистая линия – расчёт по классической методике.
Расстояние от торца всасывания: 1 – 0 мм, 2 – 85 мм, 3 – 170 мм, 4 – 255 мм, 5 – 340 мм

На данный момент можно выделить две методики расчёта тепловых деформаций роторов: расчет деформаций по средней температуре ротора в каждом сечении (при этом данная температура определяется по корреляционной формуле) [1, 2, 3] и расчет деформаций по температурному полю, рассчитанному методом конечных разностей [4, 5, 6]. Целью данной работы является сравнение результатов расчёта действительных профильных зазоров с учетом тепловых деформаций роторов, рассчитанных по разным методикам.

В качестве объекта исследования был выбран винтовой компрессор с диаметром роторов 250 мм, длиной профильной части роторов 340 мм и передаточным отношением 4/6 и степенью сжатья 3. Результаты расчёта распределения профильных зазоров для обеих методик расчёта тепловых деформаций для ряда сечений вдоль осей роторов представлены на рисунке 1. По рисунку видно, результаты расчёта с использованием различных методик существенно различаются. Это можно объяснить тем, что при расчёте по классической методике происходит осреднение температуры ротора по сечению, что может приводит к огрублению результата. Этим же и объясняет увеличение профильного зазора по сечениям при движении от всасывания к нагнетанию, когда температурная деформация корпуса, оказывает большее влияние на зазор, чем деформации ротора.

Учитывая большую разницу в результатах расчёта по различным методикам и характер распределения температур по сечению ротора, необходимо провести экспериментальную проверку распределения температуры ротора. При термометрировании роторов, необходимо уделить внимание распределению температур по сечению ротора, особенного около торца нагнетания, где наблюдается большая разность в результатах, рассчитанных по разным методикам.

Библиографический список

1. Верный А. Л. Исследование и метод расчета винтового маслозаполненного компрессора для гелиевых криогенных установок : дисс. … канд. техн. наук. – Казань, 1979. – 212 с.

2. Сакун И. А. Винтовые компрессоры. Машиностроение. – Л., 1970. – 400 с.

3. Хисамеев И. Г., Максимов В.А. Двухроторные винтовые и прямозубые компрессоры. Теория, расчет и проектирование. – Казань: ФЭН, 2000.

4. Hsieh, S.H., Hsieh, W.H., Huang, C.S., Huang, Y.H., 2012, Numerical analysis of performance, rotor temperature distributions, and rotor thermal deformation of an R134a screw compressor, International Compressor Engineering Conference, Pur-due University.

5. T.N. Mustafin, R.R. Yakupov, A.V. Burmistrov, M.S. Khamidullin, I.G. Khisameev Analysis of the screw compressor rotors' non-uniform thermal field effect on transmission error IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 90 (2015).

6. T.N. Mustafin and etc. Analysis of Influence of Screw Compressor Construction Parameters and Working Condition on Rotor Temperature Fields Procedia Engineering. – Volume 152, 2016.

УДК621.6-52

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗОН ВРАЩАЮЩЕГОСЯ СРЫВА И СКОРОСТИ ИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Кожухов Ю. В.[1], Лебедев А. А.[1], Янин И. С.[1], Нгуен Минь Хай[2]

[1] *ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого (Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29)*
[2] *Petrovietnam exploration production corporation, 12 B Floor, Petroland Tower 12 Tan Trao Str., Tan Phu Ward Dist. 7, Ho Chi Minh City – Vietnam*

В турбокомпрессорах при эксплуатации есть две опасные зоны: помпаж и вращающийся срыв. Для повышения надежности и разработки современных систем защиты от всплесков напряжений необходимо более глубокие исследования вращающегося срыва [1, 2]. Такие срывы приводят к повышенным вибрациям, которые необходимо учитывать при эксплуатации центробежных компрессоров, в том числе с магнитным подвесом [3]. При исследовании нестационарных явлений следует учитывать влияние геометрии входных камер турбокомпрессоров и неравномерность распределения абсолютной скорости на входе в рабочие колеса [4–6]. При анализе вращающегося срыва определяют число зон срыва и скорость их перемещения по окружному направлению. Вращающийся срыв можно разделить наоднозонный или многозонным [7]. Зоны срыва перемещаются по направлению вращения ротора, а иногда против направления вращения. При многозонном срыве зоны могут быть симметричными или асимметричными.

В данной статье рассматривается способ автоматического определения числа зон срыва и скорости их перемещения при вращающемся срыве в центробежном компрессоре. Для решения поставленной задачи устанавливается не менее двух малоинерционных датчиков давления на окружности одного диаметра (диффузора). В исследовании приведены результаты обработки сигналов, записанных во время испытания модели одной из базовых ступеней кафедры «Компрессорная, вакуумная и холодильная техника» СПбПУ Петра Великого. Ступень имела рабочее колесо закрытого типа и безлопаточный диффузор. На входном и выходном диаметре диффузора устанавливали по два датчика давления с одинаковым угловым смещением. По предложенной методике были обработаны сигналы от датчиков и автоматически определено число зон срыва, и их скорость перемещения [2, 8, 9]. Предложенная методика позволяет определять параметры симметричного и асимметричного срыва. Определение параметров вращающего срыва и влияние нестационарных режимов на рабочие характеристики могут учитываться как при оптимизации геометрии проточной части турбокомпрессоров [10, 11], так и при совершенствовании систем антипомпажной защиты.

Библиографический список

1. Izmaylov, R. andLebedev, A. Centrifugal compressor surge detecting method based on wavelet analysis of unsteady pressure fluctuations in typical stages. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, (2015). DOI:10.1088/1757-899X/90/1/012052.

2. Измайлов Р.А., НгуенМинь Хай. Автоматическое обнаружение предпомпажного состояния центробежного компрессора // Компрессорная техника и пневматика. – 2006. – № 4. – С. 21–25.

3. Бурдюгов С.И., Ерышкин Ю.П., Касьянов С.В., Макаров А.А. Опыт пусконаладочных работ многоступенчатых ЦБК с магнитным подвесом. Компрессорные технологии. – 2019. – № 1. – С. 12-17.

4. Kozhukhov, Y. V., Yun, V. K., Reshetnikova, L. V., Prokopovich, M. V. Numerical Investigation of Different Radial Inlet Forms for Centrifugal Compressor and Influence of the Deflectors Number by Means of Computational Fluid Dynamics Methods with Computational Model Validation. 2015 IOPConf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 90 012047 DOI: 10.1088/1757-899X/90/1/012047.

5. РахманинаЛ.А., АксеновА.А. Исследование влияния неравномерного распределения абсолютной скорости потока на входе в осерадиальное рабочее колесо центробежного компрессора с применением методов численного моделирования в Ansys CFX. Компрессорные технологии. – 2019. – № 2. – С. 18–25.

6. Danilishin, A.M., Kozhukhov, Y.V., Neverov, V.V., Malev, K.G., Mironov, Y.R. The task of validation of gas-dynamic characteristics of a multistage centrifugal compressor for a natural gas booster compressor station (2017) AIP Conference Proceedings, 1876, № 020046. DOI:10.1063/1.4998866.

7. Pismenny J., Levy Y. The number and speed of stall cells during rotating stall. Proceedings of ASME TURBO EXPO 2003, GT-2003-38221.

8. Бендат Дж, Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с.

9. Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница» / под ред. Данилова Д.Л., Жиглявского А.А. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. – 307 с.

10. Danilishin, A.M., Kozhukhov, Y.V., Yun, V.K. Multi-objective optimization for impeller shroud contour, the width of vane diffuser and the number of blades of the centrifugal compressor stage based on the CFD calculation (2015) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 90 (1), № 012046. DOI:10.1088/1757-899X/90/1/012046.

11. Neverov, V.V., Kozhukhov, Y.V., Yablokov, A.M.,Lebedev, A.A. Optimization of a centrifugal compressor impeller using CFD: the choice of simulation model parameters. 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 232 012037. DOI: 10.1088/1757-899X/232/1/012037.

УДК 621.56

ТЕПЛО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА ПРИ ВНУТРИКАНАЛЬНОМ КИПЕНИИ ХЛАДАГЕНТОВ

Зайцев А. В., Малышев А. А., Куадио К. Ф., Малинина О. С., Лисовцов А. О.

Университет ИТМО (Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49)

Полный расчет динамики и тепломассообмена потоков кипящих жидкостей в трубах и каналах заключается в применении законов сохранения вещества, импульса и энергии с учетом уравнения состояния и последующем решении полученной системы уравнений. В случае двухфазного потока такая система уравнений составляется для каждой фазы или некоторой единой двухфазной субстанции и зависит от характера распределения паровой и жидкой фаз, т. е. от режимов течения.

Независимо от режима течения интегральные характеристики потока в канале можно рассматривать раздельно для жидкой и паровой фазы. Количественная оценка распределения фаз проводится с применением истинного объемного паросодержания φ. При одинаковых значениях φ различие тепловых и динамических моделей жидкости определяется различием площади межфазных поверхностей.

Различие процессов в горизонтальных и вертикальных каналах вызвано влиянием гравитационной силы. В предлагаемом подходе сила гравитации учитывается при описании геометрической формы паровой фракции, которая вызывает эффект асимметричности относительно оси при горизонтальном течении. Вследствие этого рассматривается горизонтальная трубка, как наиболее общий случай течения.

Целью работы является разработка модели течений, которая правомерна как для обычных труб, так и для миниканалов, т.к. использует обобщающие экспериментальные данные для обоих типоразмеров каналов [1].

Процессы, происходящие при кипении двухфазных потоков в каналах, отличаются множеством возможных режимов и их аналитическое описание возможно только при жестких ограничениях в рамках

заданного режима и применении эмпирических данных, главным образом о коэффициенте теплоотдачи α и гидравлическом сопротивлении Δ*p*.

Предлагается подход, в котором рекомендуется в качестве эмпирической составляющей использовать карту режимов течения (кипения) [2], представленную на рисунке 1. Анализ процесса производится во всем диапазоне изменения параметров – массовой скорости, температуры и давления, с учетом смены режимов течения. Аналитические зависимости образуют законченную математическую модель, которая реализована в виде компьютерной программы.

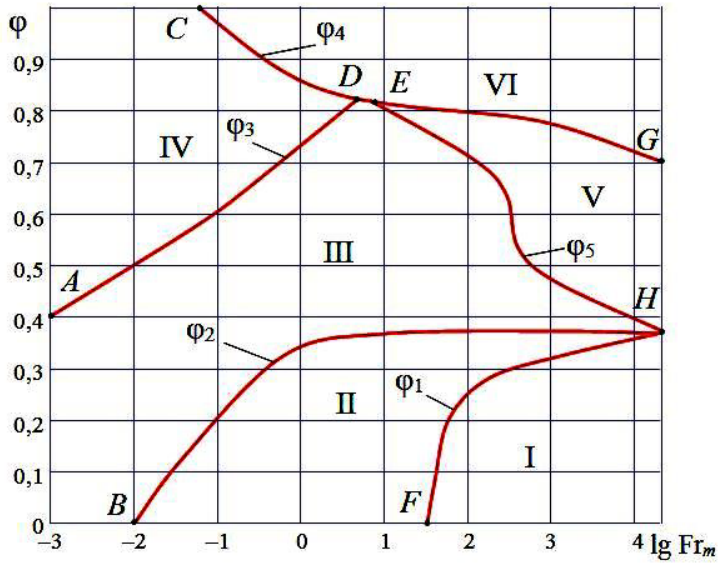


Рис. 1. Карта режимов течения R134a, R12, R22, NH_3 в канале:
I – пузырьковый режим; II – снарядный режим; III – волновой режим;
IV – расслоенный режим; V – переходный режим; VI – кольцевой режим

Результатом работы программы является весь массив данных о нестационарном течении двухфазного потока в канале при наличии фазового перехода.

Библиографический список

1. А.А. Малышев, К.В. Киссер, К.Ф. Куадио, Комплексные экспериментальные исследования теплогидродинамических процессов кипящих хладагентов в мини- (микро) каналах // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Холодильная техника и кондиционирование. – 2017. – № 2. – С. 12–17.

2. А.А. Малышев, К.В. Киссер, А.С. Филатов, Новые методы прогнозирования режимов течения кипящих хладагентов в макро- и миниканалах // Вестник Международной академии холода. – 2016. – № 2. – С. 67–70.

УДК 621.313

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА С СУЩЕСТВУЮЩИМИ ЛИНЕЙНЫМИ ПРИВОДАМИ ТИХОХОДНЫХ ОДНОСТУПЕНЧАТЫХ ПОРШНЕВЫХ АГРЕГАТОВ

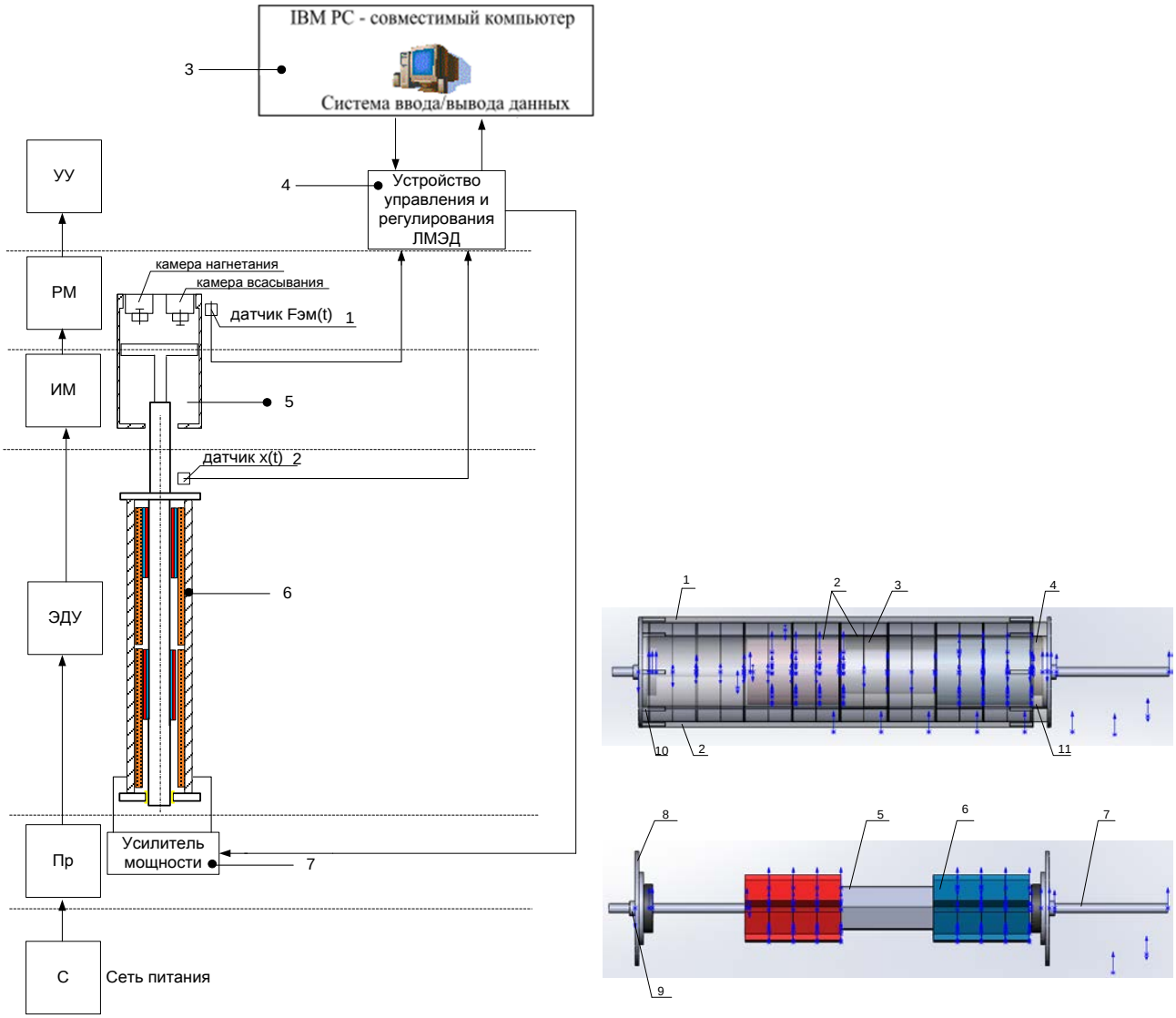
Татевосян А. А.[1], Бусаров С. С.[1], Замиралова Т. А.[1]

[1] *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», Россия, Омск, Мира, 11,*

Статья посвящена анализу возможности примененияинейного магнитоэлектрического привода (ЛМЭП) в качестве привода тихоходного одноступенчатого поршневого агрегата, реализующего процесс объемного сжатия воздуха до 10 МПа [1, 2, 7, 11]. Магнитная система линейного магнитоэлектрического двигателя включает в свой состав постоянные магниты, располагаемые на подвижном якоре. Органическое слияние якоря и поршня компрессора позволяют упростить конструкцию ЛМЭП и повысить его надежность по сравнению

с существующими приводами – гидравлическим и электромеханическим. Также проведено сравнение ЛМЭП с существующими линейными приводами тихоходных агрегатов [5, 6 , 10, 12, 13–15].

Возрастающие требования к уровню шума, вибрации, чистоты сжимаемого газа [8] обеспечения надежности компрессорного оборудования [9], необходимость снижения температуры нагнетания в поршневых компрессорных агрегатах при средних и высоких давлениях обуславливают необходимость поиска новых альтернативных конструкций компрессорных машин. В связи с появлением на рынке современных высококоэрцитивных магнитов особую актуальность приобретает задача создания привода одноступенчатого поршневого компрессора на основе тихоходного магнитоэлектрического двигателя. Органическое слияние в одно целое электромеханического преобразователя энергии и рабочей машины при отсутствии передаточных и преобразовательных механизмов, делают этот тип привода специальным по назначению, а работы по его созданию и проектированию во многом исследовательской, жестко подчиненной требованиям нагрузки и внешних воздействующих факторов. На рис. 1 представлена функциональная схема ЛМЭП тихоходного длиноходового одноступенчатого поршневого компрессора.



а) *б)*

Рис. 1. Функциональная схема ЛМЭП тихоходного одноступенчатого поршневого компрессора (а):
С – питающая сеть; Пр – преобразователь; ЭДУ – электродвигательное устройство;
ИМ – исполнительный механизм; РМ – рабочая машина; УУ – устройство управления.
Конструкция линейного магнитоэлектрического двигателя (б):
1 – корпус ЛМЭД; 2 – внешний магнитопровод; 3 – катушки (секционированная обмотка); 4 – демпфер;
5 – внутренний магнитопровод; 6 – постоянные магниты; 7 – шток; 8 – крышки;
9 – подшипник качения (линейного перемещения); 10 – крепежные элементы; 11 – каркас обмотки

Используя уравнение электрического состояния обмотки и уравнения динамики движения якоря составлена математическая модель для расчета динамических характеристик ЛМЭП при заданном законе изменения тока в обмотке двигателя. На основе численного расчета магнитного поля при различных положениях якоря были получены средние значения коэффициентов для определения тягового усилия и противо-ЭДС обмотки линейного магнито-электрического двигателя $C_m = B_\delta L_{инд} W = 192$ [3–4].

Библиографический список

1. V.L. Yusha, S.S. Busarov, A.V. Nedovenchanyi, A.Yu. Gromov, V.K. Vasil'ev, Calculating and Parametric Analysis of the Work of the Air Single-stage Medium Pressure Reciprocating Compressor of on the Basis of the Oil-free Long-stroke Slow-speed Stage, International Conference on Oil and Gas Engineering, OGE-2017. – p. 020041 – 1 – 020041 – 8.
2. V.L. Yusha, S.S. Busarov, A.Yu. Gromov, Assessment of the Prospects of Development of Medium-Pressure Single-Stage Piston Compressor Units // Chemical and Petroleum Engineering, 2017. 53(7–8). https://doi.org/10.1007/s10556-017-0362-2.
3. Татевосян А.А. Решение задачи оптимального управления магнитоэлектрического привода колебательного движения // Омский Научный Вестник. – 2019. – № 4 (166). – С. 48–51.
4. Татевосян А.А. Оптимизация параметров магнитоэлектрического привода колебательного движения. №2019661236 / Св-во о регистрации программного продукта-2019.
5. Plastinin, P. and Fedorenko, Sergei, "Simulation of Transient Gas-Temperatures in Cylinders of Reciprocating Compressors Using Identification Techniques With a Mathematical Model" (1978). International Compressor Engineering Conference. Paper 295.http://docs.lib.purdue.edu/icec/295.
6. Красовский, А. Б. Основы электропривода / А. Б. Красовский. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 408 с.
7. Compressed air spirales non lubrifiees // Mach. Prod. – 1993. – № 596, Supl. – P. 87.
8. Dry gas seals point the way to oil-free compressors // Chem. Eng. (Gr. Brit.) – 1988. – № 451. – P. 21.
9. Francis, Jay. A discussion on air quality standards ISO 8573.1 and ISO 12500 / Jay Francis // Compressed air best practices magazine. – 2009. – August / September. – P. 26–32.
10. Lewandowski, D. Dynamical simulation of a nonlinear stepper motor system / D. Lewandowski, J. Awrejcewicz. – 2014. – 5.
11. The estimation of thermal conditions of highly-cooled long-stroke stages in reciprocating compressors / V. L. Yusha, V. G. Dengin, S. S. Busarov, A. V. Nedovenchanyi, A. Yu. Gromov // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 113 : Oil and Gas Engineering (OGE) International Conference. – P. 264–269.
12. Vetter, H. The Sulzer Oil-Free Labyrinth Piston Compressor» / H. Vetter // International Compressor Engineering Conference, Purdue University. – 1972. – P. 221–228.
13. E. Shashi Menon, Working Guide to Pump and Pumping Stations. 2010. – 304 p.
14. E.F. Brater, et al. Handbook of Hydraulics, For the Solution of Hydraulic Engineering Problems. – 7th Edition. (McGraw-Hill Companies, 1996), pp. 624.
15. D. N. Johnston, “Numerical modelling of reciprocating pumps with self-acting valves,” Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: J. of Systems and Control Engineering-1991, pp. 87–96.

УДК 62-03

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ АГРЕГАТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Родичев А. Ю., Поляков Р. Н., Горин А. В., Токмакова М. А.

ОГУ имени И.С. Тургенева, Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе 29

Агрегаты нефтегазового производства, обеспечивающие функционирование энергогенерирующего оборудования, работают в сложных условиях, характеризующихся наличием твердых частиц в рабочей среде [1, 2]. Твердые частицы уменьшают срок службы подшипников, а так же способствуют увеличению расхода энергии вследствие ее диссипации.

Актуальной задачей повышения эксплуатационных характеристик тяжелонагруженных роторных машин обеспечивающих работу энергогенерирующего оборудования является повышение эксплуатационных характеристик антифрикционной пары цапфа – втулка подшипника скольжения. При эксплуатации нефтегазового оборудования используют несколько видов подшипники скольжения. Одним из них являются

подшипники скольжения на основе карбида кремния или оксидов, обладают как высокой износостойкостью, так и хрупкостью, что приводит к образованию трещин. Другой вид используемых подшипников скольжения представляют биметаллические подшипники скольжения (стальное основание с наплавленным антифрикционным слоем). Достоинством таких подшипников является невысокая стоимость, а недостатком сложность технологии нанесения антифрикционного покрытия (в частности различных видов баббитов) и как следствие повышенный износ вследствие неоднородности антифрикционного слоя. Третьим и наиболее подходящим видом для этого является многослойный подшипник с износостойким покрытием [3].

В многослойном подшипнике скольжения, каждый слой предназначен для выполнения определенных функций. В представленном на рисунке 1 многослойном подшипнике скольжения имеется три слоя покрытия. Первый слой (промежуточный) улучшает адгезию антифрикционного покрытия со стальным основанием. Второй – это основной антифрикционный слой. Третий – это пленочное антифрикционное покрытие, оно имеет различное назначение в зависимости от своего химического состава и области применения. Антифрикционное пленочное покрытие обеспечивает повышение эксплуатационных свойств подшипника скольжения при пусках, остановах и реверсивной работе. В дополнение, данный вид покрытий используют для приработки (притирки) узлов в начальный период эксплуатации.

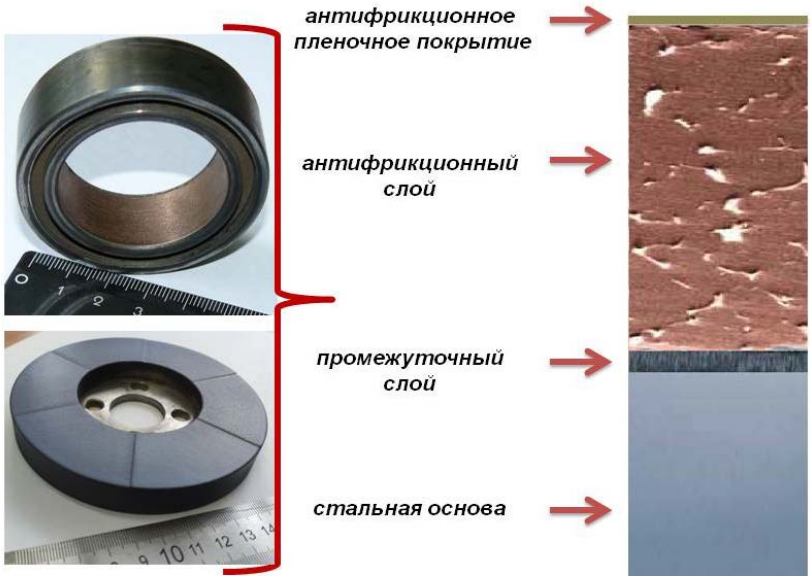


Рис. 1. Многослойный подшипник скольжения

Пленочные антифрикционные покрытия должны обладать достаточно хорошими адгезионными свойствами при своей толщине 5–30 мкм. Производителями пленочных антифрикционных покрытий не даются рекомендации по подготовки антифрикционной поверхности и создания определенной шероховатости для нанесения пленочного антифрикционного покрытия. Для выявления таких рекомендаций был проделан ряд экспериментов, определяющих прочность сцепления пленочного антифрикционного покрытия с антифрикционным слоем.

Выполнив испытания антифрикционных пленочных покрытий согласно ГОСТ 31149-2014 можно сделать следующие выводы: на прочность сцепления пленочного антифрикционного покрытия влияет способ подготовки поверхности; нанесение пленочного антифрикционного покрытия оказывает влияние на микрогеометрию поверхности, значительно снижая параметры шероховатости на поверхности образцов, тем самым снижая коэффициент трения.

Библиографический список

1. Florian Summer, Florian Grün, Martin Offenbecher, Stuart Taylor, Challenges of friction reduction of engine plain bearings // Tackling the problem with novel bearing materialsTribology International, Volume 131, March 2019. – P. 238–250.

2. Savin, L.A., Kornaev, A.V., Kornaeva, E.P., Influence of critical flow rates on characteristics of enforced and shear flows in circular convergent-divergent channels // International Journal of Rotating Machinery. – 2017. – 8761375.

3. Пат. 2708410 Российская Федерация, МПК F16C 33/04, B23P 6/00. Способ изготовления подшипника скольжения. / Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Савин Л.А., Горин А.В. Токмакова М.А.; ОГУ им. И.С. Тургенева; № 2018146970; заявл. 26.12.2018; опубл. 06.12.2019, Бюл. № 34. – 5 с.: 1 ил.

Секция 4

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 54.057+546:532.785

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АДГЕЗИОННЫХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ СКИ-3

Шишкина Н. Н., Закирова Л. Ю.

Казанский национальный исследовательский технологический университет (Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, 68)

Конструкционные материалы подразделяют на металлические, неметаллические и композиционные. Конструкционной прочностью называется комплекс механических свойств, обеспечивающих надежную и длительную работу материала в заданных условиях эксплуатации. Работоспособность композиционных конструкционных резиновых материалов напрямую зависит от прочности связи между металлом и полимером.

В качестве промоторов адгезии резины к металлу чаще всего используются системы на основе органических солей металлов переменной валентности, системы на основе кремнекислотных наполнителей и др. [1–3]. Несмотря на большое количество существующих добавок, вопросы разработки новых промоторов, способных повысить адгезию резин к металлокорду является актуальными. В работе предложено использование блокированных изоцианатов на основе карбамидов в качестве промоторов адгезии.

Для определения размеров частиц использовали метод динамического светового рассеяния DLS (Dynamic Light Scattering) на приборе Malvern Zetasizer Nano-ZS. Были определены размеры частиц (рис. 1) и электрокинетический потенциал блокированных изоцианатов 2-фенилкарбамидотолуола и 2,4- дифенилкарбамидотолуола.

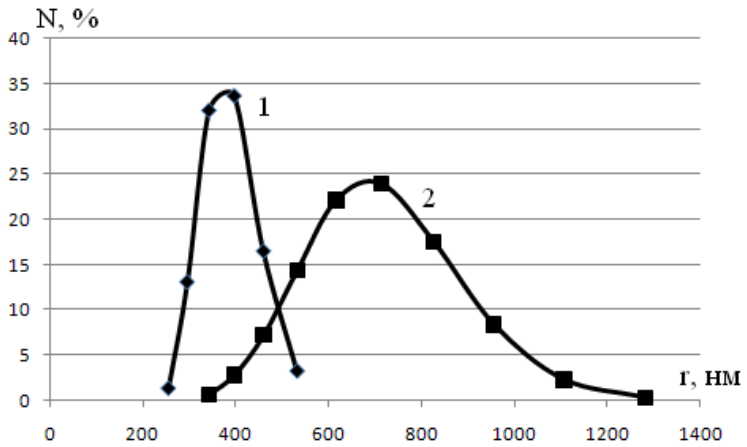


Рис. 1. Дифференциальная кривая распределения по размерам частиц суспензии, где 1 – ИФКТ; 2 – ДФКТ (условия: T = 25 °C, P = 101 кПа)

Проведенные исследования позволили высказать предположение о взаимосвязи между размером частиц и электрокинетическим потенциалом блокированных изоцианатов на основе карбамидов с прочностью связи латунированный металлокорд-резина. Полученные результаты свидетельствуют, что чем больше электрокинетический потенциал синтезированных добавок и ниже средний размер частиц, тем лучше добавка распределяется в резиновой смеси и, очевидно, оказывает влияние на процессы формирования адгезионного слоя на границе раздела латунированный металлокорд-резина.

Библиографический список

1. Карасева Ю. С., Черезова Е. Н. Сульфидирование замещенных фенолов и олефинов элементной серой как путь синтеза добавок бифункционального назначения для полимерных материалов // Вестник Казанского технологического университета, 2013. – Т. 16. – № 6. – С. 79–82.

2. Курбангалеева А.Р., Куркин А.И., Хакимуллин Ю.Н., Петрова Е.В., Дресвянников А.Ф. Возможности стабилизации наночастиц гидроксида алюминия, полученных электрохимическим способом // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 9. – С. 704–707.

3. Kasperovich A. V., Krotova O. A., Potapov E. E., Reznichenko S. V., Shkodich V. F. A Study of the Influence of a New Promoter on the Adhesion of Rubber to a Metal Cord // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2016. – V. 9. I. 1. – P. 68–71.

УДК 621.98.07

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ МНОГОЦИКЛОВОЙ ПРОКАТКЕ СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ AL-CU

Галкин В. И., Палтиевич А. Р., Галкин Е. В.

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)»
(Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4)

Многоцикловая прокатка композиционных слоистых материалов, состоящих из компонентов с отличающимися физико-химическими и механическими свойства, позволяет вести деформирование в условиях, когда каждый из компонентов находится в собственных, характерных для него, температурных режимах. Так, например, матричная составляющая композита может прокатываться в условиях горячей деформации, а упрочняющая в теплых или холодных.

В работе исследуется композиционный материал системы алюминий-медь, где алюминий – матричная составляющая, а медь – армирующий элемент. Заготовка состоит из трех слоев, двух внешних матричных и внутреннего армирующего. Разные физико-химические и механические свойства компонентов, при многоцикловой прокатке приведут к дроблению меди и образованию упрочняющих частиц в алюминиевой основе материала.

Для формализации требований к параметрам технологического процесса в работе используется критериальный подход. В его основе лежат критериальные выражения устанавливающие взаимосвязи между управляющими параметрами прокатки (температура, степень деформации и скорость), геометрическими параметрами исходной слоистой заготовки, порочностью связи между компонентами и распределением армирующих частиц в готовом изделии.

В работе использованы следующие критерии:

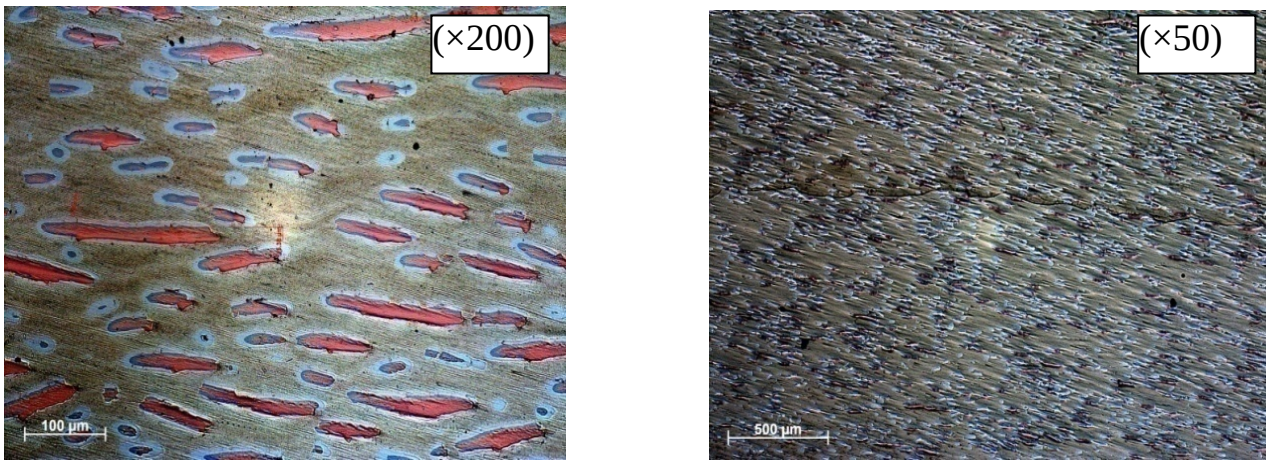
- Температурный критерий
- Критерий формирования прочного соединения компонентов
- Критерий сохранения сплошности матричного компонента и разрушения армирующего компонента

Для подтверждения значений, рассчитанных в критериальной системе, проведена прокатка, состоящая из 6 циклов.

Результаты микроструктурного анализа показали, что первоначальная слоистая структура заготовки сохраняла сплошность на протяжении трех циклов прокатки, однако толщина медной прослойки от цикла к циклу существенно уменьшалась.

Процесс раздробления медных слоев начинается после четвертого цикла (рис. 1, *а*) и с возрастанием цикла прокатки средняя площадь сечения армирующих частиц снижается почти в 2 раза на каждом следующем цикле.

После шестого цикла прокатки (рис. 1, *б*) структура полученного материала представляет собой матрицу, в которой равномерно распределены армирующие частицы меди, при этом средняя площадь этих частиц составила порядка 714 мкм^2.



а) *б)*

Рис. 1. Микроструктура композита после четвертого (а) и шестого (б) циклов прокатки (×200)

Библиографический список

1. Галкин В.И., Евсеев П.С., Палтиевич А.Р. Разработка методики моделирования процесса многоцикловой прокатки для получения металлических материалов, армированных частицами // Металлы. – 2017. – № 1. – С. 70–77.

2. Галкин В.И., Якушев В.А., Афонин В.Е. Получение многослойных композитов из стали с субмикро- и наноразмерной толщиной слоя // Сталь. – 2013. – № 11. – С. 94–96.

УДК 615.456+543.51

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ВЕЩЕСТВ, МИГРИРУЮЩИХ ИЗ ПРОБОК НА ОСНОВЕ БРОМ-БУТИЛКАУЧУКА В ЛЕКАРСТВЕННЫЕ СРЕДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩИХ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Хакимуллин Ю. Н., Симонова Н. Н., Закирова Л. Ю.

Казанский национальный исследовательский технологический университет
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68

Медицинские резиновые пробки российские и зарубежные фирмы производят из резин на основе хлор- и бром-бутилкаучуков. При их эксплуатации происходит миграция предельных, непредельных и ароматических соединений, источниками которых являются углеводородные растворители (бензины), используемые в качестве растворителя бутилкаучука при получении хлор (ХБК) и бром (ББК) бутилкаучуков.

Каучуки и резины – сложные органические композиции, изделия на их основе представляют собой малоизученные композиции, в составе которых кроме полимерной основы входят компоненты, химически не связанные на молекулярном уровне и которые при определенных условиях переходят в контактируемые среды.

Для оценки потенциального риска использования пробок для упаковки лекарственных средств, необходим качественный и количественный состав мигрирующих веществ из них.

В данной статье представлены результаты идентификации веществ, мигрирующих из пробок. Объектом исследований являлись стерильные пробки, изготовленные из резиновой смеси на основе бром-бутилкаучука. Модельной средой являлась дистиллированная вода.

Идентификация органических веществ, перешедших в модельную среду, проводилась с использованием хромато-масс-спектрометрии, и каталогом масс-спектрометрии индивидуальных веществ.

Качественное и количественное определение газообразных веществ проводилось с использованием газохроматографического метода и набором стандартных газов.

Идентификация катионов металлов из металлорганических и сероорганических веществ, проводилась с использованием атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой. Предел обнаружения – 1 ÷ 100 мкг/л.

Масс-спектральные исследования веществ, перешедшихв контактную среду, показали наличие:

– углеводородов, характерных для бутилкаучука: ионы с m/z 41, 57, 97, 113, 153, 159 и др.

– стабилизаторов: - 3-(3,5-дитретбутил-4-гидроксифенил) пропионовая кислота M+ m/z 278 и характерным ионом m/z 263; 2,6-ди-трет-бутил-4-метил фенол M+ ион с m/z 220 и характерным ионом m/z 205; и 2,2́-метилен-бис-(4-метил-6-трет-бутилфенола) $M^{+\cdot}$ ионом с m/z 340;

– кислородсодержащих соединений: стеариновая кислота M+ ионом m/z 284;

– ароматических соединений: бензола м/z 78.00; ксилола м/z 106.10 толуола м/z 92.0;

– бром-углеводородов: бром-метана (м/z 94.94); бром-бутана (м/z 151.04); бром-гептан (м/z 179.11): бром-гексана (м/z 165.07); 1-бром-2-метилбутен (м/z 151.04); бром-бензола (м/z 157.00); бром-ксилола (м/z 185.07); бром-изобутилена (м/z 135.9).

Металлорганические и неорганические соединения с ионами металлов и неметаллов, в мг/л: B – 0.12; Ca – 1.153; S – 5.956; K = 0.056; Mg – 0.458 Na – 0.200; Si – 0.274; Zn = 0.22.

Наибольшее содержание составили газообразные вещества, в мг/м^3: Сероокись углерода – 20; Сероуглерод – 6; Метан – 3.1; Изобутен + бутен 1-46.1; н-Пентан – 15.2; Изогексан – 50.1; Циклогегсан – 66.5; н-Гексан–34.8; Гексен – 11.4; Изогептан – 12.2; Бензол – 6.3; Метанол – 6.1;трет-Бутанол – 4.3; Ацетон – 16.0.

Методом хромато-масс-спектрометрии были идентифицированы органические вещества, перешедшие из пробок в контактируемую среду, и установлено, что большее количество углеводородов выделяется до 120˚С.

Идентифицированный состав газообразных веществ показал, что основным источником их миграции являются примеси бензинов, используемые при синтезе бром-бутилкаучука.

УДК543.429.22

ИЗУЧЕНИЕ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ MgAl ДВОЙНЫХ ОКСИДОВ МЕТОДАМИ ЭПР-СПЕКТРОСКОПИИ МОЛЕКУЛ-ЗОНДОВ

Юрпалов В. Л.[1], Степанова Л. Н.[1], Дроздов В. А.[1], Бельская О. Б.[1,2]

[1] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН (Россия, г. Омск, ул. Нефтезаводская, 54)*
[2] *Омский государственный технический университет (Россия, г. Омск, пр. Мира, 11)*

Образование анион-радикалов 1,3,5-тринитробензола (ТНБ) при адсорбции на поверхности оксидов алюминия и магния было обнаружено ещё во второй половине XX века [1]. В начале XXI века были предложены подходы с применением ЭПР для оценки основных свойств алюмооксидных систем, основанные на явлении ионизации молекул ТНБ [2]. Однако ЭПР исследования для слоистых двойных гидроксидов (СДГ) и получаемых из них MgAl двойных оксидов отсутствуют, несмотря на широкое применение этих неорганических систем в качестве адсорбентов и катализаторов с выраженными основными свойствами поверхности [3, 4].

Таким образом, целью исследования стало изучение взаимодействия молекул ТНБ с поверхностными основными центрами MgAl двойных оксидов и установление особенностей стабилизации образующихся парамагнитных продуктов. В данной работе исследованы образцы MgAl двойных оксидов, полученные прокаливанием соответствующих СДГ при 550°C [4], с соотношением Mg/Al = 2 ($MgAlO_x$-2), 3 ($MgAlO_x$-3) и 4 ($MgAlO_x$-4). Для ЭПР-измерений использованы растворы ТНБ в *н*-гексане (0.001 М) и перилена в *н*-гексане (0.001 М). Спектры записаны на ЭПР-спектрометре Bruker EMXplus с резонатором ER4105DR при 25°C.

Установлено, что увеличение содержания MgO приводит к увеличению количества образующихся анион-радикалов ТНБ, т.е. повышению основности поверхности MgAl двойных оксидов, а наличие остающихся на поверхности кислотных центров $Al^{\delta+}$ способствует их стабилизации на поверхности. Действительно, показано, что в ряду $MgAlO_x$-4, $MgAlO_x$-3, $MgAlO_x$-2, Al_2O_3 наблюдается повышение концентрации кислотных центров, определяемых ЭПР как количество катион-радикалов зонда перилена.

Полученные ЭПР-данные были сопоставлены с результатами определения концентрации основных центров методом адсорбции-десорбции CO_2 при 30°C. Для MgAl двойных оксидов и Al_2O_3 была обнаружена линейная корреляция количества хемосорбированного CO_2 [4] с концентрацией анион-радикалов ТНБ (рис. 1). Это может служить подтверждением участия основных центров поверхности в ионизации молекул ТНБ, а концентрация образующихся анион-радикалов ТНБ характеризует основные свойства оксидных систем. При этом из полученных зависимостей видно, что наилучшая корреляция получена при адсорбции CO_2 при $T_{адс.}$ = 100°C, то есть основных центров, с которым углекислый газ химически связывается достаточно прочно. Вероятно, это основные центры средней силы. При более низких температурах существенный вклад вносит слабосвязанная адсорбция CO_2.

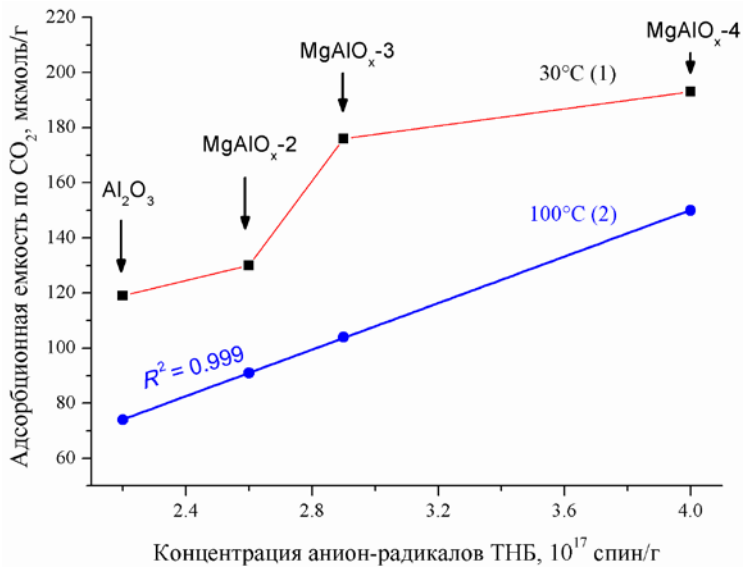


Рис. 1. Сопоставление данных о концентрации анион-радикалов ТНБ и адсорбционной емкости, определённой при $T_{адс.}$ = 30°C (1) и 100°C (2), для образцов: Al_2O_3, $MgAlO_x$-2, $MgAlO_x$-3 и $MgAlO_x$-4

Полученные результаты позволяют выделить перспективность практического применения метода ЭПР молекул-зондов ТНБ для исследования основных свойств адсорбентов и катализаторов на основе $MgAlO_x$.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-33-00131 (АААА-А18-118121190006-4).

Библиографический список

1. B.D. Flockhart, I.R. Leith, R.C. Pink, Electron-Transfer at Alumina Surfaces. Part 3. – Reduction of Aromatic Nitro-compounds // Transactions of the Faraday Society. – 1970. – V. 66. – P. 469–476.

2. R.A. Zotov, V.V. Molchanov, A.M. Volodin, A.F. Bedilo, Characterization of the active sites on the surface of Al_2O_3 ethanol dehydration catalysts by EPR using spin probes // Journal of Catalysis. – 2011. – V. 278. – Pp. 71–77.

3. M. Daud, A. Hai, F. Banat, M.B. Wazir, M. Habib, G. Bharath, M.A. Al-Harthi, A review on the recent advances, challenges and future aspect of layered double hydroxides (LDH) – Containing hybrids as promising adsorbents for dyes removal // Journal of Molecular Liquids. – 2019. – V. 288. – P. 110989.

4. O.B. Belskaya, L.N. Stepanova, T.I. Gulyaeva, D.V. Golinskii, A.S. Belyi, V.A. Likholobov, Study of Pt/MgAlOx Catalysts in n-Decane Dehydrogenation // Kinetics and Catalysis. – 2015. – V. 56. – P. 655–662.

УДК 620.179.1

ТОЛЩИНА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

Юров В. М.[1*], Еремин Е. Н.[2], Гученко С. А.[1]

[1] *Карагандинский государственный университет им. Е. А. Букетова, Караганда, Казахстан*
[2] *Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

Пористый кремний (ПК), как материал, впервые был получен еще в 1955 году [1] и представляет собой монокристаллический кремний (c-Si). В кремнии в результате химического или электрохимического травления образовалось огромное количество различных по размеру пустот, называемых порами, как правило, произвольной геометрии, то есть поры образуются под произвольным углом к поверхности кремниевого образца. Первоначально данный материал исследовался учёными с целью получения на его основе толстых диэлектрических слоёв для изоляции в интегральных схемах.

Благодаря возможности создания пористых структур с заданными оптическими свойствами пористый кремний (ПК) используется в солнечной энергетике в качестве антиотражающих текстурированных покрытий, в литературе такие структуры получили название «черный кремний». Светоизлучающие свойства, возникающие из-за эффектов квантового удержания, биоразлагаемость, а также биологическая активность наноструктурного кремния, применяется во многих областях биомедицинских и фармацевтических исследований, в частности в качестве биомаркеров и контейнеров для точечной доставки лекарств, в том числе пролонгированного действия. Большой интерес проявляется к разработке и исследованию стабильных и воспроизводимых по характеристикам мембран, способных к сепарации молекул по размерам.

В работе [2] обобщена, предложенная нами, модель поверхностного слоя атомарно-гладких металлов. Там же получено соотношение, которое выполняется для всех металлов и для других кристаллических соединений. При $T = T_m$ получено:

$$d(I) = 0.17 \cdot 10^{-3} \upsilon . \qquad (1)$$

Уравнение (1) показывает, что толщина поверхностного слоя d(I) определяется одним фундаментальным параметром – молярным (атомным) объемом элемента ($\upsilon = M/\rho$, M – молярная масса (г/моль), ρ – плотность (г/см^3)), который периодически изменяется в соответствие с таблицей Д.И. Менделеева.

Монокристаллический кремний имеет атомную (молярную) массу M = 28,086 (г/моль), плотность 2,33 (г/см^3) и параметр решетки (кубическая, алмазная) a = 0,54307 нм. Тогда из уравнении (1) следует:

$$d(I)_{Si} = 2{,}1 \text{ нм}.$$

Эту толщину экспериментально можно определить с помощью скользящих рентгеновских лучей в режиме полного внутреннего отражения. В работе [3] это величина составила ~ 2 нм. Итак, слой $d(I)_{Si}$ атомарно-гладкого монокристаллического кремния представляет собой наноструктуру. Число частиц кремния в монослое равно $n = d(I)_{Si}/a \approx 4$. То есть слой $d(I)_{Si}$ содержит 4 атомные плоскости кремния. А слой $d(II)_{Si} \approx 21$ нм также представляет наноструктуру по Глейтеру. Толщина де Бройля равна $d_0 = 0{,}116$ нм. Существующая

номенклатура, принятая Международным союзом теоретической и прикладной химии IUPAC, выделяет три категории размера пор в зависимости от их диаметра: микропористый < 2 нм, мезопористый 2–50 нм и макропористый > 50 нм. Важной характеристикой p-Si является степень его пористости P, определяемая как:

$$P = 1 - \rho_{ПК} / \rho_{Si},$$

где $\rho_{ПК}$ – плотность пористого кремния (ПК), ρ_{Si} – плотность монокристалла.

Если подставить это уравнение в уравнение (1), то получим:

$$d(I)_{ПР} = d(I)_{Si} / (1 - P). \quad (2)$$

Типичное значение пористости имеет значение 40–70 %, а при сверхкритической сушке достигает 95 %. Из (2) вытекает следующая табл. 1.

Таблица 1. Толщина поверхностного слоя при разной пористости

P, %	40	50	60	70	80	90
$d(I)_{ПК}$, нм	3,5	4,2	5,25	7,0	10,5	21
$d(II)_{ПК}$, нм	35	42	52,5	70	105	210

Таблица 1 показывает, что пористость кремния существенно влияет на свойства наноструктур. Структура пор в макропористом кремнии является неупорядоченной, в то время как в мезо и, в особенности, в нанопористом кремнии можно выделить отчетливое направление роста пор, соответствующее кристаллографическому направлению ⟨100⟩.

Библиографический список

1. Uhlir B.A. Electrolytic Shaping of Germanium and Silicon // Bell Labs Technical Journal. – 1955. – V. 35. – № 2. – P. 333–347.

2. Юров В.М., Лауринас В.Ч., Гученко С.А. Толщина поверхностного слоя атомарно-гладких магнитных наноструктур // Нано- и микросистемная техника. – 2019. – № 6. – С. 347–352.

3. Балагуров Л.А., Павлов В.Ф., Петрова Е.А., Боронина Г.П. Исследование пористого кремния и его старения методами полного внешнего отражения рентгеновских лучей и инфракрасной спектроскопии // ФТП. – 1997. – Том 31, № 8. – С. 957–960.

УДК 546.05:54.055:544.47

ЭФФЕКТИВНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ Ni(Mg)AlO$_x$ ДЛЯ РЕАКЦИИ ГИДРИРОВАНИЯ ФУРФУРОЛА

Кобзарь Е. О.[1], Степанова Л. Н.[1], Леонтьева Н. Н.[1], Бельская О. Б.[1,2]

[1] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Россия, Омск, Нефтезаводская, 54*
[2] *Омский государственный технический университет, Россия Омск, пр. Мира, 11*

Синтез ценных химических соединений, таких как фурфуриловый спирт (ФС), тетрагидрофурфуриловый спирт (ТГФС), тетрагидрофурфурол (ТГФ), при каталитическом гидрировании фурфурола является перспективным направлением исследований. Эффективными катализаторами для данной реакции являются системы, содержащие никель, но их активность сильно зависит от дисперсности металла. Обеспечить высокую дисперсность могут катализаторы на основе слоистых двойных гидроксидов (СДГ). Их уникальной особенностью является возможность введения гидрирующего металла в структуру СДГ на стадии синтеза, что обеспечивает его равномерное распределение, и высокую каталитическую активность советующих систем. Самым распространенным методом синтеза СДГ является соосаждение, но его длительность и необходимость утилизации большого количества промывных вод щелочного характера являются серьезными недостатками. Поэтому представляет интерес изучение перспективного метода – механохимического синтеза, который более быстрый и экологически безопасный. Он основан на протекании твердофазной реакции между гидроксидами металлов на поверхности мелющих тел, которые при столкновении получают большую энергию.

Целью данной работы было изучение влияния состава Ni-содержащих СДГ (соотношения Ni/(Ni+Mg)), метода синтеза СДГ (соосаждение и механохимический синтез), а также температуры проведения реакции (40–90 °C) на активность катализаторов в реакции жидкофазного гидрирования фурфурола.

В данной работе был проведен синтез никель содержащих катализаторов, с различной локализацией никеля на поверхности, а также его долей в составе при использовании двух методов синтеза. Методами соосаждения и механохимического синтеза были получены катализаторы: 0.3Ni-MgAl(4), 0.5Ni-MgAl(4) и NiAl(4), в которых M^{II}/M^{III} равно 4:1 и доля никеля по отношению к магнию: 30, 50 и 100%, соответственно. Также были получены нанесенные катализаторы $Ni/MgAlO_x$. Для синтеза по методу соосаждения водные растворы, содержащие $Ni(NO_3)_2$, $Mg(NO_3)_2$, и $Al(NO_3)_3$ добавляли по каплям при перемешивании к раствору Na_2CO_3, при pH = 10 и 60 °C. Механохимический синтез проводился в две стадии. На первой стадии $Mg(OH)_2$, $Ni(OH)_2$, $Al(OH)_3$ и Na_2CO_3 подвергали механической активации в шаровой планетарной мельнице типа АГО-2С, на второй стадии – проводили старение образцов (60 °C, 2 ч) в дистиллированной воде. Нанесенные катализаторы $Ni/MgAlO_x$ были получены методом пропитки по влагоемкости.

Фазовый состав полученных образцов исследовали на дифрактометре D8 Advance («Bruker»), а содержание металлов в катализаторах контролировали методом АЭС-ИСП. Исследование каталитической активности проводили на установке для гидрирования фурфурола при повышенном давлении. Перед реакцией образцы подвергали окислительной, затем восстановительной обработке в токе водорода при 600 °C. Реакцию проводили в течение 220 минут при давлении 2,0 МПа и концентрации фурфурола в водном растворе 5 масс.%. Испытания проводили при температурах 40, 50, 60, 70, 80 и 90 °C. Продукты реакции анализировали на газовом хроматографе Хромос ГХ-1000 с капиллярной колонкой VB-WAX в режиме программирования температуры.

Количественный анализ образцов показал, что полученные соотношения металлов равны теоретическим, что говорит о полном протекании синтеза. При анализе образцов, полученных механохимическим методом, в составе обнаружены незначительные количества железа, которые вероятнее всего, образовались в результате истирания стальных шаров в процессе синтеза. По данным РФА было установлено, что структура всех синтезированных образцов соответствует структуре СДГ. У образцов, полученных методом соосаждения, дифрактограммы характеризуются четкими и узкими пиками. А у образцов, полученных методом механохимического синтеза, пики на дифрактограммах более размыты, это вероятнее всего, говорит об уменьшении частиц Ni в составе образца и, как следствие, увеличении его дисперсности. Также при увеличении доли Ni в образцах, вне зависимости от метода синтеза, наблюдается увеличение аморфности.

Исследование катализаторов в реакции гидрирования фурфурола показало, что при закреплении никеля на поверхности MgAl- носителя происходит формирование неактивных катализаторов. Ведение Ni непосредственно в структуру СДГ привело к значительному увеличению активности катализаторов. Наибольшую активность проявили трехкомпонентные системы 0.3NiMgAl(4) – СДГ, полученные методом соосаждения и 0.5NiMgAl(4) – СДГ, полученные методом механохимической активации. Для них конверсия фурфурола была 100%, и селективность по ТГФС 65 % и 37%, и ФС 35% и 35% соответственно. Также установлена зависимость активности катализатора и распределения продуктов реакции от температуры реакции.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦНХТ ИК СО РАН в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы по направлению V.46, проект № V.46.2.4 (номер госрегистрации в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА-А17-117021450095-1).

УДК 62-405.8:621.039.341.22

ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ МЕМБРАНАМИ НА ОСНОВЕ КАНАЛЬНОГО КРЕМНИЯ

Болотов В. В., Ивлев К. Е., Князев Е. В., Пономарева И. В., Росликов В. Е.

ОНЦ СО РАН, Россия, г. Омск, пр. К. Маркса, 15

На участках различных промышленных производств, в том числе связанных с газовой и нефтехимической отраслью селективное определение компонентов газовых смесей является одной из важнейших задач, которая может быть решена посредством применения селективных сенсоров с фильтрами. Перспективными материалами для газовых фильтров являются пористые кремниевые мембраны. Одними из ключевых факторов, влияющих на прохождение газа через фильтрационный элемент, являются размер и морфология пор. Канальный макропористый кремний с порами диаметром более 50 нм более перспективен по сравнению с мезопористым для применения в качестве газовых фильтров, так как для многих молекул средняя длина свободного пробега в воздухе при нормальных условиях составляет ~70 нм.

Структуры с варьированием каналов по диаметрам в диапазоне до 100 нм, с однородностью геометрии каналов можно получать на сильнолегированном кремнии n-типа.

В данной работе изучены физико-химические процессы формирования сквозных каналов в сильнолегированном n-Si (0.01 Ом·см) в органических электролитах различного состава. Рассмотрены условия формирования многослойных структур, состоящих из мезопористых и макропористых слоев со сквозными каналами с диаметрами 20–90 нм, толщинами от 20 до 360 мкм и плотностью каналов порядка 10^{10} $см^{-2}$. Данные характеристики необходимы для создания достаточно механически прочных мембран и фильтров.

Формирование мембран на полученных образцах проводилось по методике, описанной в [1].

На рис. 1 представлены РЭМ-изображения мембраны на основе канального кремния.

Тестирование на газопропускание мембран толщиной 100 мкм и диаметром каналов в самом узком месте 50 нм показало, что наличие мембран уменьшает отклик сенсорного элемента к одинаковым дозам NO_2 на 40–50 %. Таким образом, можно сделать вывод, что газ частично сорбируется на стенках каналов и полностью не проходит через мембрану, которую можно использовать в качестве фильтра.

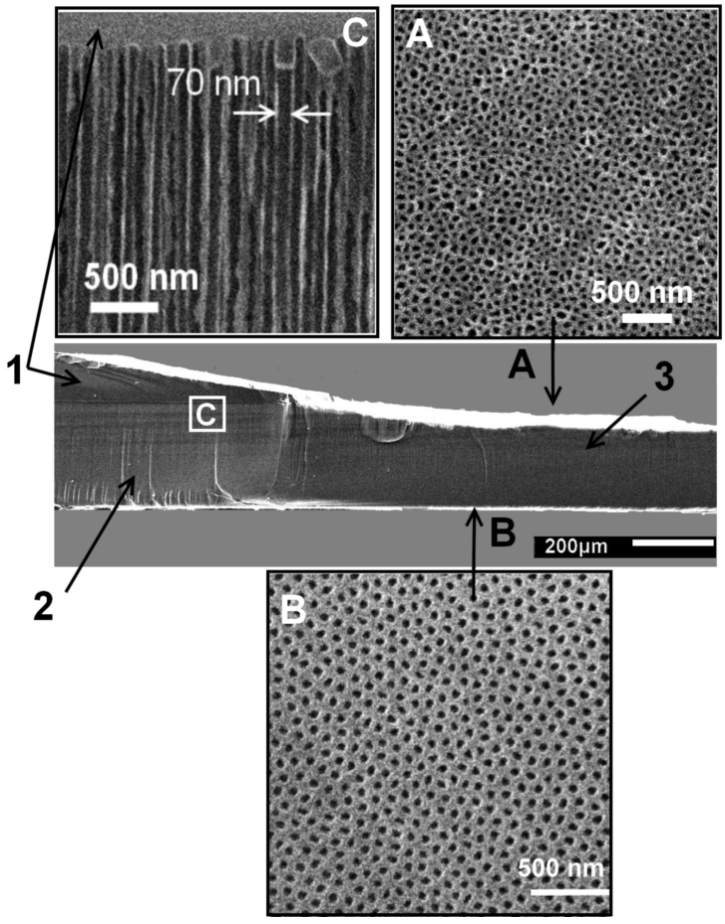


Рис. 1. РЭМ – изображение мембраны канального кремния:
А – изображение тыльной поверхности; В – изображение фронтальной поверхности;
С – интерфейс канальный кремний – монокристаллическая подложка;
1 – монокристаллическая подложка; 2 – слой канального кремния; 3 – рабочая зона мембраны

Работа выполнена по государственному заданию Омского научного центра СО РАН в соответствии с Программой ФНИ ГАН на 2013–2020 годы (номер госрегистрации проекта в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА-А17-117041210227-8) в части исследования образцов методами РЭМ и электрофизических измерений и при частичной финансовой поддержке РФФИ и Субъекта РФ Омской области в рамках научного проекта № 18-48-550009 р_а в части получения слоев пористого кремния. В работе было использовано оборудование Омского регионального центра коллективного пользования СО РАН.

Библиографический список

1. В.В. Болотов, К.Е. Ивлев, Е.В. Князев, И.В. Пономарева, В.Е. Росликов, Способ получения кремниевой пористой мембраны. – Патент РФ № 2690534 С1, 2019.

УДК 544.452.2

ПОЛУЧЕНИЕ НИТРИДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ СИНТЕЗА СЖИГАНИЕМ В ВОЗДУХЕ СМЕСЕЙ НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ С ПЕНТАОКСИДАМИ ЭЛЕМЕНТОВ V ГРУППЫ

Чудинова А. О., Ильин А. П.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

В работе использовались промышленные порошки пентаоксидов ниобия и тантала, а также нанопорошок алюминия. Массы исследуемых смесей подбирались таким образом, чтобы их горение в воздухе было устойчивым и с достаточным количеством продуктов сгорания для проведения последующих анализов.

Процесс синтеза происходит в воздухе при атмосферном давлении. При горении в воздухе смесей нанопорошка алюминия (НП Al) с пентаоксидами элементов V группы (Nb_2O_5, Ta_2O_5) образуются нитриды соответствующих металлов Nb_2N и Ta_2N. Однородность продуктов сгорания достигается их дезагрегированием и измельчением.

Для изучения скорости окисления и степени превращения при определенных температурах использовали дифференциальный термический анализ (ДТА). Используя термоанализатор STD Q600, были продиагностированы исходные промышленные порошки металлов (НП Al, Nb_2O_5, Ta_2O_5) на их пирофорность, путем расчета четырех параметров активности [1, 2]: температура начала окисления ($t_{н.о.}$, ˚С), максимальная скорость окисления (v_{max}, мг/с), степень превращения (степень окисленности) нанопорошка в определенном температурном интервале (α, %), удельный тепловой эффект (ΔH/Δm, кДж/г). Для определения фазового состава продуктов сгорания использовали данные рентгенофазового анализа (РФА) [3]. Обработку рентгенограмм проводили по стандартному методу сравнения рефлексов продуктов сгорания с рефлексами предполагаемых фаз, которые были взяты из базы данных картотеки ASTM (Американское общество испытаний материалов). Необходимым минимальным критерием отнесения присутствующих фаз являлось совпадение трех и более интенсивных рефлексов с рефлексами эталонов.

Режим распространения пламени в смесях нанопорошка алюминия с пентаоксидами ниобия и тантала характеризуется двумя последовательными стадиями горения [4, 5]. Первая стадия характеризуется распространением теплового фронта, связанна с выгоранием адсорбированного и абсорбированного водорода. Вторая стадия заключается в распространении тепловой волны в объеме образца с повышением температуры до 2200–2400 ˚С . Основной кристаллической фазой являлись нитриды ниобия и тантала (Nb_2N, Ta_2N). Результаты исследований показали, что с увеличением содержания нанопорошка алюминия увеличивается выход нитридов ниобия и тантала в продуктах сгорания, достигая максимума Nb_2N = 47 отн. %, Ta_2N = 54 отн. %.

Библиографический список

1. Уэндландт У. Термические методы анализа. – М.: Мир, 1978. – 218 с.

2. Ilyin A., Gromov A., An A. et al. Characterization of aluminum powders I. Parameters of reactivity of aluminum powders // Propellants, explosive, pyrotechnics. 2002. V. 27, № 6. Pp. 361–364.

3. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. – М.: МГУ, 1976. – 232 с.

4. Nobuzo Terao. Structure des Nitrures de Niobium. Japanese Journal of Applied Physics. V.64, №. 5. 1965. Pp. 353–367.

5. Химия синтеза сжиганием / под ред. М. Коидзуми // пер. с японск. – М.: Мир, 1998.

УДК 620.181.4

ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ РАСПЛАВА ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА

Филиппов Ю. О., Еремин Е. Н., Семко В. И., Филиппов М. Ю.

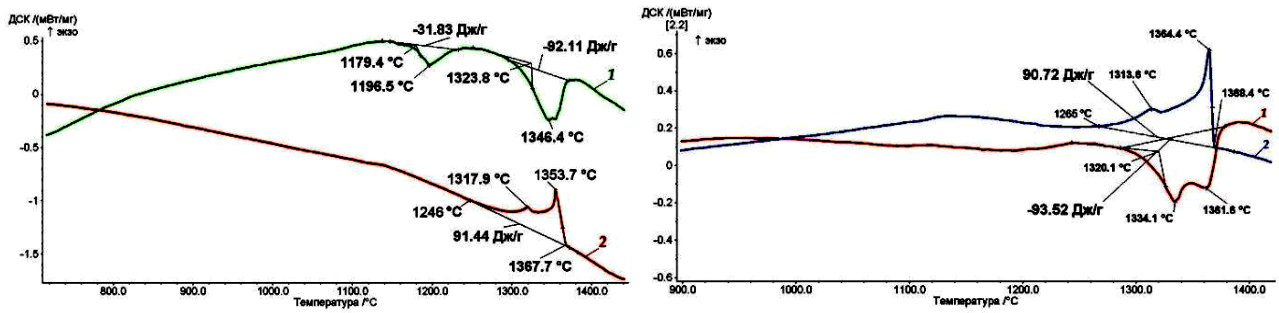
Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11

Работа посвящена исследованию влияния модифицирующих комплексов на процессы формирования фаз при кристаллизации жаропрочного сплава на основе никеля. Основу структуры никелевых жаропрочных сплавов состоит из γ-фазы, которая представляет собой твердый раствор на основе никеля, и γ'-фазы – твердого раствора на основе интерметаллидного соединения Ni_3Al.

В результате ранее проведенных исследований [1, 2] было установлено, что для сплава Х10Н60К10В10Ю5Т3М2Б наиболее подходящей является комплексная добавка, содержащая в качестве инокуляторов ультрадисперсные частицы карбонитридов титана, а в качестве активизирующих добавок – титан и иттрий при условном соотношении 1:10:1. При этом, рациональная концентрация инокуляторов должна составлять порядка 0,025 % от массы модифицируемого металла, титана – 0,2–0,4 %, а иттрия – до 0,05 %.

Целью данной работы является исследование и анализ кинетики кристаллизации расплавов как с комплексными добавками, так и без них. Это позволит установить влияние модифицирования на изменение строения расплава, условий кристаллизаций и выделения основных и избыточных фаз.

На рис. 1 представлены кривые ДСК для немодифицированного и модифицированного сплавов, полученные при нагреве (кривые 1) и охлаждении (кривые 2).



а) *б)*

Рис. 1. ДСК-кривые немодифицированного (а) и модифицированного (б) сплава

При нагреве в немодифицированном сплаве наблюдаются тепловые эффекты превращений, связанные с растворением γ′-фазы в γ-твердом растворе в интервале ~800–1090 °С. Температура верхней точки этого интервала называется температурой полного растворения γ′-фазы $Т_{п.р.}$ Процесс растворения γ’-фазы характеризуется по мере роста температуры увеличением интенсивности фазового превращения. В модифицированном сплаве $Т_{п.р.}$ соответствует ~1200 °С. При этом превращение происходит равномерно, практически без изменения интенсивности.

Затем, при ~1160 °С в немодифицированном сплаве регистрируется тепловой эффект, связанный с плавлением эвтектической фазы в междендритных областях. Такая температура именуется температурой неравновесного солидуса. Пик плавления эвтектики γ-γ’ соответствует температуре 1179,4 °С. В модифицированном сплаве такой эффект начинается при ~1250 °С, а пик соответствует температуре 1320,1 °С.

Анализ ДСК-кривых охлаждения показывает, что в немодифицированном сплаве от температуры начала кристаллизации 1367,7 ºС до температуры 1353,7 °С сначала из расплава кристаллизуется γ-твердый раствор. В этот период происходит рост дендритов, сопровождающийся экзотермическим эффектом. Дальнейшее охлаждение приводит к выделению в сформировавшихся междендритных областях карбидов и эвтектической фазы, что характеризуется на ДСК-кривой тепловым эффектом при температуре ~1325 ºС. В модифицированном сплаве кристаллизация γ-твердого раствора начинается практически при аналогичной с немодифицированным температуре (1368,4 °С), однако скорость кристаллизации выше и заканчивается при 1364,4 °С. Начало выделения карбидов и эвтектики происходит на 11 °С раньше, чем в немодифицированном сплаве. Начало выделение упрочняющей γ’-фазы в немодифицированном сплаве характеризуется точкой 1317,9 °С, а в модифицированном – 1313,6 °С. Кристаллизационные процессы в немодифицированном сплаве заканчиваются при 1246 °С, тогда как в модифицированном сплаве эта точка на кривой соответствует 1265 °С.

Таким образом, изучение и анализ кинетики кристаллизации расплавов показали, что модифицирование сплавов комплексными добавками приводит к изменению строения расплава, условий кристаллизаций и выделения основных и избыточных фаз. Эти изменения заключаются в уменьшении интервала кристаллизации сплава за счет повышения температуры солидус, увеличения темпа роста твердой фазы в начальный период кристаллизации, замене механизма кристаллизации карбидов, повышении температуры начала выделения эвтектической и упрочняющих фаз.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-19-01224).

Библиографический список

1. Eremin E.N., Filippov Y.O., Eremin A.E. Promising method of producing cast billets from superalloys // Russian metallurgy (Metally). – 2010. – Т. 2010. – № 12. – P. 1131–1135.

2. Еремин Е.Н., Филиппов Ю.О., Еремин А.Е., Миннеханов Г.Н. Изменения упрочняющей γ'-фазы в жаропрочном сплаве при его модифицировании // Омский научный вестник. – 2014. – № 1 (127). – С. 58–62.

УДК 539.121.8.04

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Акимов В. В.[1], Путинцева А. Р.[2], Сидоренко Д. Д.[2], Руппель З. Ю.[2], Лаврова И. Е.[2]

[1] *Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Россия, г. Омск, проспект Мира, 5*
[2] *Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск, проспект Мира, 11*

В нефтегазовой промышленности внедряются различные современные композиционные материалы по своим механическим свойствам не уступающие традиционным [1–3]. Физико-механические свойства, новых композиционных материалов, должны достигать уровня вольфрамосодержащих твердых сплавов типа ВК, ТК, ТТК. В тоже время существующие способы создания новых композиционных материалов, обеспечивающих повышения пластичности за счет использования более мелких карбидов и мягких металлических матриц, не позволяют создать достаточно прочных и вязких композиционных материалов [4].

В данной статье предложен способ изменения микротвердости твердосплавных композиционных материалов составов 40TiC–10TiC(УДП)–50TiNi об. % и 50TiC–49,5TiNi–0,5B об.% и проведены экспериментальные исследования.

Сегодня, попытки повышения пластичности твердосплавных композиционных материалов, традиционными методами: разрушение каркасного строения, использование пластичных карбидов и металлических связующих фаз, измельчение зерна карбидов не дают возможность создать прочные, вязкие композиционные материалы.

Существующие твердые сплавы отличаются высоким структурным уровнем пластической деформации, что и является причиной низкой пластичности. Повысить уровень пластичности материала возможно, придав связующей фазе в сплаве изменение формы за счет структурного фазового превращения типа мартенситного.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что в процессе облучения поверхности отполированных образцов ионами Ar^+ и Zr^+ с энергией 20 кэВ с дозой ~ 10^{17} ион/см^2 происходит существенное изменение микротвердости твердых сплавов приведенных составов, вследствие образования локализованных закаленных областей в твердом растворе на основе TiNi (рис. 1). Можно заметить, что распределение закаленных областей согласуется с поверхностным изменением микротвердости образцов, которые подвергались имплантации.

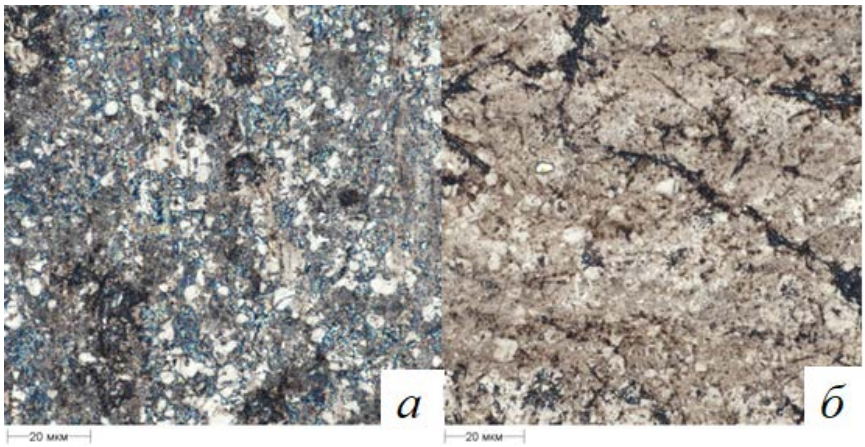


Рис. 1. Микроструктура твердых сплавов после облучения (х 1000):
а) (50 TiC – 49,5 TiNi – 0,5 B) об. %; б) (40 TiC – 10 TiC (УДП) – 50 TiNi) об. %

После имплантации поверхности образцов экспериментальное значение микротвердости сплава 50TiC–49,5TiNi–0,5B об. % увеличивается на 2,65 ГПа, в то время как для сплава (40TiC –10TiC (УДП)–50TiNi) об. % микротвердость увеличивается на 5,68 ГПа.

В результате проведения исследований микротвердости образцов безвольфрамовых сплавов установлено, что после облучения поверхности ионами аргона и циркония произошло увеличение поверхностной микротвердости, что позволяет использовать данный метод поверхностного упрочнения для повышения износостойкости изделий из твердых сплавов.

Библиографический список

1. Негров Д.А., Еремин Е.Н., Мирошниченко О.М. Разработка ультразвукового инструмента для изготовления изделий из полимерных композиционных материалов // Технология машиностроения. – 2012. – № 5. – С. 44–47.
2. Негров Д.А., Еремин Е.Н., Путинцев В.Ю., Передельская О.А., Маталасова А.Е. Влияние ультразвукового воздействия на механические свойства политетрафторэтилена, модифицированного нитридом бора // Омский научный вестник. – 2014. – № 1 (127). – С. 110–113.
3. Негров Д.А., Еремин Е.Н., Путинцев В.Ю. Исследование влияния энергии ультразвуковых колебаний на структуру композиционного материала // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2014. – № 7 (208). – С. 3–5.
4. Akimov V.V., Mishurov A.F., Negrov D.A., Putintsev V.Yu., Pantyukhova K.N., Burgonova O.Yu. Increasing the hardness and wear resistance of tungstenless hard alloy working under the abrasive wear and dynamic loads // AIP Conference Proceedings Oil and Gas Engineering Conference: (OGE-2019). 2019. 040009.

УДК539.534.9

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

Корусенко П. М.[1,2], Несов С. Н.[1,2], Болотов В. В.[1,3], Стенькин Ю. А.[1], Соколов Д. В.[1], Ивлев К. Е.[1]

[1] *ОНЦ СО РАН, Россия, г. Омск, пр-т К. Маркса, д. 15*
[2] *ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр-т Мира, д. 11*
[3] *ОмГУ им. Ф. М. Достоевского, Россия, г. Омск, пр-т Мира, д. 55а*

Около 80 % российского газа и 70 % российской нефти находятся в регионе Северного Ледовитого океана, а остальные в пределах северного континентального шельфа РФ. Следовательно, для осуществления добычи и переработки нефтепродуктов требуется применение техники, способной работать в условия низких температур. Разработка новых автономных источников хранения и преобразования энергии для техники в условиях крайнего севера является одним из приоритетных направлений развития промышленности в условиях импортозамещения [1]. В последнее десятилетие высокий интерес исследователей в области разработки новых материалов для производства электродов суперконденсаторов представляют многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) [2].

В данной работе исследованы электрохимические свойства суперконденсаторов, сформированных на основе нелегированных и легированных азотом МУНТ. Проведен сравнительный анализ электрохимических характеристик электродов суперконденсаторов в традиционно используемом 1М водном растворе серной кислоты.

МУНТ были сформированы с применением метода CVD. В качестве углеродного прекурсора для формирования нелегированных МУНТ использовался толуол, для легированных азотом – ацетонитрил. Катализатором роста углеродных нанотрубок являлась смесь оксалатов Ni и Mg, предварительно нанесенных на подложку. Температура синтеза МУНТ составляла 800 °С, время синтеза – 30 мин. Формирование электродов проводилось методом раскатки суспензии, содержащей 90 % масс. МУНТ и 10 % масс. поливинилиденфторида с добавлением органического растворителя (N-метилпирролидона). Полученные электроды сушились при температуре 70 °С в течение 24 часов.

Исследование электрохимических характеристик сформированных электродов проводилось методом циклической вольтамперометрии с использованием трех-электродной электрохимической ячейки. В качестве электрода сравнения применялся хлорсеребрянный электрод, погруженный в раствор KCl.

Анализ полученных данных показал, что электрод на основе нелегированных МУНТ в 1 молярном водном растворе H_2SO_4 обладает удельной ёмкостью 18 Ф/г при скорости развертки потенциала 5 мВ/с, тогда как электрод из легированных МУНТ – 26 Ф/г. Аналогичная тенденция при анализе удельной емкости электродов наблюдалась при использовании 1 молярного KOH: нелегированные МУНТ обладают значением удельной емкости – 19 Ф/г, легированные МУНТ – 33 Ф/г. Повышенные электрохимические характеристики легированных МУНТ мы связываем с рядом факторов. Первым фактором является наличие гофрированной поверхности у легированных МУНТ, что приводит к увеличению их удельной площади поверхности при контакте с электролитом. Вторым фактором является формирование дополнительной удельной емкости (псевдоемкости) за счет протекания электрохимических процессов с участием функциональных кислородсодержащих и азотных групп на поверхности легированных МУНТ, сформированных в процессе их синтеза [1].

The work supported by the grant of the President of the Russian Federation no. MK-843.2019.8.

Библиографический список

1. L.G. Bulusheva, E.O. Fedorovskaya, A.G. Kurenya, and A.V. Okotrub, Supercapacitor performance of nitrogen-doped carbon nanotube arrays // Phys. Status Solidi B. – 2013. – P. 50–59.

2. M. Ates, A.A. Eker, B. Eker, Carbon nanotube-based nanocomposites and their applications // Journal of Adhesion Science and Technology. – 2017. – Vol. 31. – P. 1–21.

УДК 537.533.2

РАБОТА ВЫХОДА, ПОВЕРХНОСТНАЯ ЭНЕРГИЯ И СВОЙСТВА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ПОКРЫТИЙ

Еремин Е. Н.[1], Юров В. М.[2], Олешко В. С.[3], Гученко С. А.*[2]

[1] *Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*
[2] *Карагандинский государственный университет им. Е. А. Букетова, Караганда, Казахстан*
[3] *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия*

Отличительной особенностью высокоэнтропийных сплавов (ВЭСов) от традиционных является то, что эти сплавы имеют высокую энтропию смешения, которая влияет на образование структур на основе твердых растворов. В настоящее время изучено множество различных ВЭСов. Но пока исследования носят пока чисто научный характер и направлены на установление закономерностей влияния различных факторов (размер атомов, электроотрицательность, энтальпия смешения, электронная концентрация и т.д.) на свойства получаемых ВЭСов. Среди исследованных сплавов есть материалы, которые по твердости, жаропрочности, коррозионной стойкости, износостойкости и термостабильности уже могут конкурировать с лучшими традиционными сплавами специального назначения.

В настоящей работе представлены результаты исследования высокоэнтропийных покрытий CrNiTiZrCu, полученных методом механического легирования [1].

Для приготовления мишени CrNiTiZrCu брались микропорошки соответствующих металлов и смешивались в эквиатомных пропорциях. Затем приготовленная смесь порошков помещалась в мелющий стакан планетарной шаровой мельницы изготовленный из карбида вольфрама и добавлялись мелющие тела (шары диаметром 5–10 мм) также изготовленные из карбида вольфрама, масса которых была равна 10-ти массам смеси порошков. После стакан наполняли бензином «Галоша», плотно закрывали крышку и включали планетарную шаровую мельницу (скорость вращения составляла 500 об/мин., время работы 5 ч.). Полученный гомогенизированный состав затем сушился в вакууме и при помощи прессформы пресовался в плоский диск диаметром 100 мм и толщиной в 5 мм. Далее диск помещался в вакуумную термопечь и спекался в ней в течении 3-х часов. Таким образом изготовленная мишень CrNiTiZrCu использовалась для дальнейшего магнетронного нанесения покрытий на установке НВВ 6.

Комплекс измерения контактной разности потенциалов, разработанный авторами [2], представлен на рис. 1. Корпус датчика (рис. 2) спроектирован в программе SolidWorks и напечатан на 3Д-принтере Picaso3D Designer.

Рис. 1. Комплекс измерения контактной разности потенциалов металлических деталей

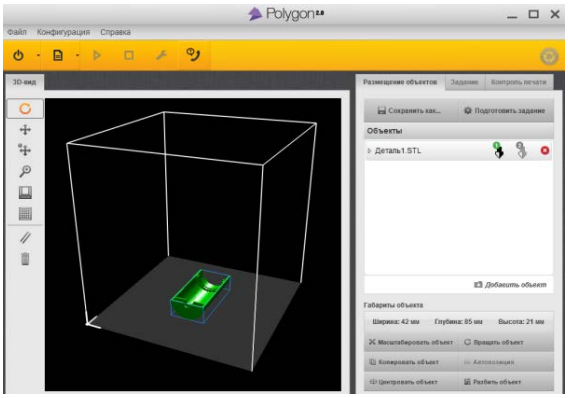


Рис. 2. Polygon 2.0: программа-оператор 3Д-принтера Picaso3D Designer

В таблице 1 представлены экспериментальные данные.

Таблица 1. Поверхностная энергия, контактная разность потенциалов и работа выхода электронов для сплава и его состава

Покрытие	T_m, K	σ, J/m^2	CPD, mV	φ, eV
CrNiTiZrCu	1642	1,149	271	4,73
Cu	1336	0,935	374	4,36
Ni	1726	1,208	–	4,91–5,01
Al	1207	0,845	304	4,2
Fe	1812	1,268	319	4,40–4,71
Cr	2130	1,491	187	4,60

Поверхностная энергия имеет значение близкое к железу и характеризуется повышенной прочностью. Работа выхода электронов имеет близкое значение к хрому. Этот эффект может служить качественной характеристикой высокоэнтропийного покрытия.

Библиографический список

1. Еремин Е.Н., Гученко С.А., Юров В.М**.,** Завацкая О.Н. Износостойкость и трибологические свойства высокоэнтропийных покрытий CrNiTiZrCu // 11-я Международная науч. конферен. «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент», 2019. Караганда. – С. 90–94.

2. Юров В.М., Олешко В.С., Федоров А.В. Разработка устройства определения работы выхода электронов // 11-я Международная науч. конферен. «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент», 2019. Караганда. – С. 149–154.

УДК 621.763

НОВЫЙ СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Негров Д. А., Путинцев В. Ю., Путинцева А. Р., Сидоренко Д. Д., Руппель З. Ю., Лаврова И. Е.

[1] *Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск, проспект Мира, 11*

Полимерные композиционные материалы в большинстве своем не подвержены влиянию агрессивных сред, поэтому из них изготавливают различные уплотнения, подшипники скольжения, сальники насосов и компрессоров применяемых в нефтехимической отрасли. Необходимыми механическими и эксплуатационными характеристиками, для изготовления металополимерных пар трения, обладают полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) [1].

Существующие на сегодняшний день способы изготовления изделий из ПКМ на основе ПТФЭ осуществляют по отработанным и общедоступным методикам, которые заключаются в холодном прессовании, спекании и охлаждении с различной скоростью [2]. Данные способы имеют ряд недостатков, поскольку изделия и заготовки обладают высоким и нестабильным уровнем усадки, а так же невозможностью достичь достаточно плотной упаковки частиц матрицы и наполнителей.

В статье предложен новый способ ультразвукового прессования изделий ПКМ на основе ПТФЭ модифицированного нитридом бора с одновременным наложением низкочастотной амплитудной модуляции, что позволит добиться повышения механических и триботехнических свойств, а так же обеспечить практически нулевую пористость получаемого материала.

Объектом исследований является политетрафторэтилен модифицированный нитридом бора в количестве 5 мас. %. Образцы для исследований получали по технологии холодного прессования с ультразвуковым воздействием и наложением одновременной низкочастотной модуляции для двух режимов прессования. Параметры первого режима: частота – 40 кГц, амплитуда – 8 мкм, низкочастотная модуляция 500 Гц. Параметры второго режима: частота – 17 кГц, амплитуда – 40 мкм, низкочастотная модуляция – 50 Гц.

После прессования образцы подвергались одинаковой термической обработке (спеканию) – температура спекания 360 ^{o}C и охлаждению от температуры спекания до 327 °С со скоростью 0,3–0,4 °С/мин, а далее до 20 °С – свободное охлаждение с печью.

Применение нового способа изготовления композитов с первым режимом прессования приводит к повышению предела прочности в среднем на 5,3 % и модуля упругости на 12,9 %. Так же улучшаются и триботехнические показатели: скорость изнашивания уменьшается на 14,2 %. Наблюдается снижение показателя относительного удлинения на 13,8 %, характеризующего пластические свойства материала.

Анализ полученных результатов второго режима прессования, показывает, что предел прочности повышается в среднем на 6,1 %, а модуль упругости на 13,8 %. Уменьшается скорость изнашивания на 12,5 % и относительное удлинение на 20,1 %.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что при применении ультразвуковых колебаний с одновременной низкочастотной амплитудной модуляцией существенно снижается сила сцепления (взаимодействия) частиц полимерной композиционной смеси, они легко смещаются относительно друг друга и под давлением прессования достигают значительного сближения до уровня межмолекулярного взаимодействия. Это способствует значительному усилению связей между частицами, которые окончательно стабилизируются в процессе последующей термообработки (спекании), благодаря чему достигается значительное повышение прочностных свойств полимерных композиционных материалов на основе ПТФЭ.

Новый способ изготовления изделий из композиционных материалов может быть использован при производстве и изготовлении изделий из уже известных или новых композиционных материалов применяемых в нефтегазовой отрасли.

Библиографический список

1. Negrov, D.A., Eremin, E.N., Korusenko, P.M., Yu Putintsev, V., Nesov, S.N. The effect of ultrasonic activation on the formation of polytetrafluoroethylene modified by detonation nanodiamonds // Journal of Physics: Conference Series, 2019. – Vol. 1260. DOI: 10.1088/1742-6596/1260/6/062016.

2. Петрова П.Н., Федоров А.Л., Исакова Т.А., Егоров В.В. Использование энергии ультразвука для повышения механических и триботехнических свойств композитов на основе политетрафторэтилена // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 70. – С. 92–101.

УДК 666.762.852

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОГНЕВЗРЫВОПРЕГРАДИТЕЛЯ

Пантюхова К. Н.[1], Бургонова О. Ю.[1], Филиппов Ю. О.[1], Уляшева Г. П.[2]

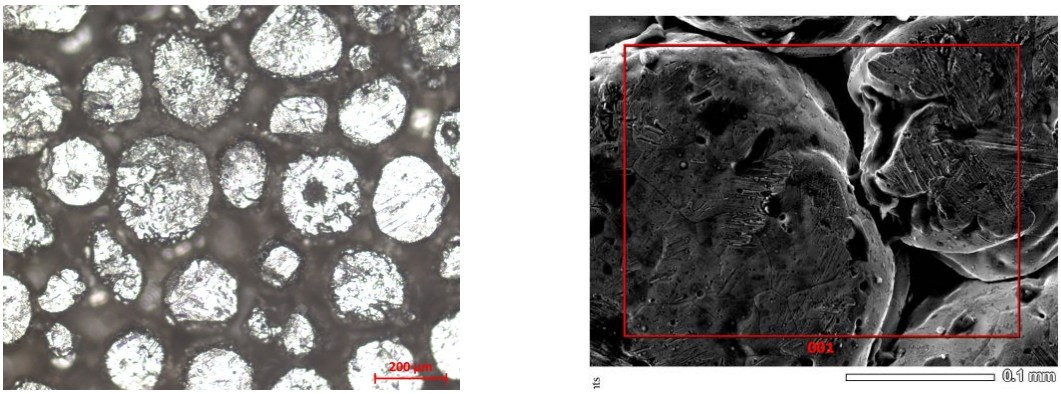
[1] *Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11*
[2] *ЗАО ПО «Электроточприбор», Россия, г. Омск, пр. Маркса, 18/13*

Процесс добычи, транспортировки и переработки нефти связан с риском внезапного выброса смеси взрывоопасных горючих, а также токсичных газов. Для измерения довзрывоопасных концентраций горючих газов и предельно допустимых концентраций токсичных газов рабочей зоны используются газоанализаторы, в котором поступление анализируемой газовой смеси в реакционную камеру осуществляются через поры фильтра–огневзрывопреградителя [1].

По существующей технологии огневзрывопреградитель получают из пористого металлокерамического материала путем смешивания металлического порошка никеля (количество примесей не превышает 0,6 % Cu, 0,1 % C, 0,03 % Si) со стеаратом цинка ($[CH_3(CH_2)_{16}COO]_2Zn$). Затем выполняется прессование и последующее спекание в печи с водородной атмосферой [2].

Предлагаемый новый материал имеет следующий состав: 76 % зелёного карбида кремния (зернистость 16…10), 2 % – декстрина, 22 % – керамической связки. После смешивания новый материал прессовался в форме и спекался в печи с воздушной средой.

Результаты оптической металлографии показали, что исходный образец состоит из частиц никеля размером 100–200 мкм, покрытых тонким слоем связующего вещества (рис. 1).

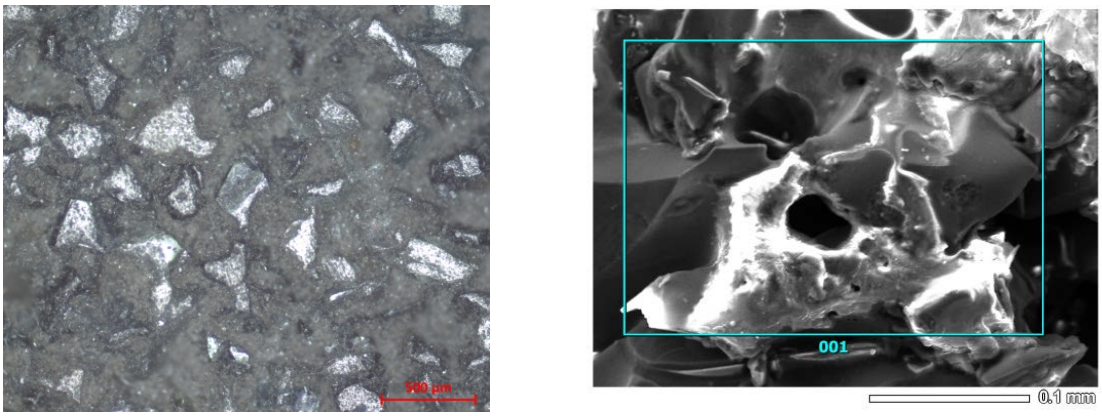


а) *б)*

Рис. 1. Структура (а) и пористость (б) материала на основе порошка никеля

Зависимость прочности и модуля упругости спеченного порошкового никеля от пористости, измеренные при комнатной температуре, являются типичными для материалов, разрушающихся по механизму слияния пор: $E = E_0(1-P)^m$, где m = 1,6.

Структура материала на основе карбида кремния более дисперсна по сравнению с порошком никеля. Пространство между частицами карбида кремния размером 50–100 мкм заполняет керамическая связка, снижая таким образом пористость материала и повышая его прочность (рис. 2).



а) *б)*

Рис. 2. Структура (а) и пористость (б) материала на основе карбида кремния

Исследование зависимости механических свойств от пористости материала показало, что поведение модуля упругости, трещиностойкости и прочности соответствует указанной выше функции с показателем m = 2. Таким образом, новый композиционный материал имеет одинаковую прочность с материалом на основе никеля, но при этом более пластичен. Кроме того, карбид кремния имеет очень низкий коэффициент теплового расширения и не испытывает фазовые переходы, из-за которых может произойти разрушение кристаллов.

Воздухопроницаемость исследуемых материалов при давлении потока воздуха (5,86±0,02) кПа была примерно одинакова и соответствовала требованиям – 16–60 л/мин.

В результате проведенных исследований был предложен новый композиционный материал, позволяющий обеспечивать стабильную работу огневзрывопреградителя при комплексном воздействии высоких температур и механических нагрузок.

Библиографический список

1. Dudzińska, Analysis of sorption and desorption of unsaturated hydrocarbons: Ethylene, propylene and acetylene on hard coals // Fuel. – 2019. – 246. – P. 232–243.

2. Р.В. Коломиец, Спеченные порошковые материалы на основе механохимически активированных порошков Ni // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2005. – 2. – С. 74–76.

3. Baux, L. Nouvian, K. Arnaud, et al, Synthesis and properties of multiscale porosity TiC-SiC ceramics // Journal of the European Ceramic Society. – 2019. – 39(8). – P. 2601–2616.

УДК 621.791.927.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛИ 15Н8Г6М3ФТБ

Еремин Е. Н., Лосев А. С., Пономарев И. А., Бородихин С. А., Кузьмин Н. О., Филиппов М. Ю.

Омский государственный технический университет (Россия, г. Омск, пр. Мира, 11)

Широкое применение в нефтехимическом машиностроении находят мартенситно-стареющие стали. Они обладают высокой прочностью, пластичностью и хорошей технологичностью, благодаря чему являются перспективным конструкционным материалом для техники настоящего и будущего [1–5].

Все большее применение находят экономнолегированные мартенситно-стареющие стали, содержащие пониженное количество никеля. С целью повышения их степени упрочнения в их состав вводят марганец и молибден. Такая композиция легирования используется в известной стали Н8Г6М3 [6]. Однако такая сталь имеет сравнительно не высокую твердость и как следствие, низкую износостойкость и не может использоваться в качестве материала для наплавки упрочняющих покрытий.

Высокий эффект упрочнения сталей может обеспечиваться путем создания различных дисперсных промежуточных фаз. К эффективным фазам вызывающим значительное упрочнение относят карбиды, нитриды ванадия, титана, ниобия и комплексные соединения на их основе [7, 8].

В связи с вышеизложенным, представляет интерес использования для создания основы износостойких покрытий сталь 15Н8Г6М3 легированную ванадием, титаном и ниобием. Проведенными ранее исследованиями установлено, что такая сталь в результате старения имеет значительный эффект упрочнения [9]. Однако износостойкость такой стали не изучена.

В связи с этим, исследовали износостойкость стали системы Fe-C-Ni-Mn-Mo-V-Ti-Nb в состоянии после старения. Объектом исследований являлся металл покрытия наплавленного порошковой проволокой созданной на основе стали 15Н8Г6М3ФТБ.

Испытания на изнашивание пар металл-металл осуществлялось при трении скольжения без смазки по схеме палец – вращающийся диск (контртело), на машине трения УМТ-2168. Испытание на износ проводили на трех образцах при нагрузке F = 0,75 кН, частоте вращения диска контртела 20 об/мин. Полный цикл испытаний составлял путь трения 1130 м.

Результаты испытаний на адгезионное изнашивание металла, полученного наплавкой ПП15Н8Г6М3ФТБ показали, что средний массовый износ образцов для пути трения 113 м составляет 0,0289 г, а для пути трения 1130 м массовый износ составил уже 0,4223 г, при этом износ по длине достиг 0,89 мм. Среднее значение относительного массового износа за испытание составило 0,000374 г/м. Среднее значение линейного износа за испытание составило 0,0007876 мм/м.

Коэффициент трения металла, наплавленного ПП15Н8Г6М3ФТБ, после приработки упал с 0,257 (для пути трения 339 м) до 0,209 (для пути трения 1130 м), а среднее значение за испытание составило 0,220.

Дюрометрическими исследованиями такого металла установлено, что микротвердость матрицы находится в пределах 602-620 HV, микротвердость эвтектики составляет 648-783 HV и упрочняющих фаз в пределах 700–1029 HV.

Рентгеноструктурным анализом установлено, что структура металла после старения состоит из мартенсита, незначительного количества аустенита и 10 видов соединений фазовых составляющих. В ней присутствуют частицы карбидов большей частью $V_{0,89}Ti_{0,11}C_{0,5}$, NbC, и небольшого количества $Ti_6C_{3,75}$, Mo_2C, интерметаллидов большей частью Fe_2Ti, $Ni_{0,75}Mo_{0,125}V_{0,125}$, и небольшого количества MoNb, $Ti_{0,942}Ni_{0,106}$, $Fe_{0,08}Ti_{0,092}V_{0,828}$ и нитрида $Nb_4N_{2,62}$.

Таким образом, механизм износа такого металла обусловлен в большей степени наличием карбидных соединений, являющихся препятствием для скольжения дислокаций в условиях пластического деформирования поверхности при изнашивании.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-19-01224).

Библиографический список

1. М. Д. Перкас, В. М. Кардонский, Высокопрочные мартенситостареющие стали. – М.: Металлургия, 1970. – 224 с.

2. М. Н. Бодяко, С. А. Астанчик, Г. Б. Ярошевич, Мартенситно-стареющие стали. – Минск: Наука и техника, 1976. – 246 с.

3. С. В. Грачев, Высокопрочные мартенситно-стареющие стали // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1989. – № 4. – С. 2–8.

4. В. В. Русаненко, А. Ф. Еднерал, Многофункциональные мартенситно-стареющие сплавы // Физика металлов и металловедение. – 2003. – Т. 96. – Вып. 1. – С. 108–113.

5. В. Н. Кальянов, В. А. Багров, Мартенситно-стареющие стали для наплавки штампов // Сварочное производство. – 2003. – № 2. – С. 35–37.

6. С. Р. Бирман, Экономнолегированные мартенситностареющие стали. – М.: Металлургия, 1974. – 208 с.

7. М. И. Гольдштейн, В. М. Фарбер, Дисперсионное упрочнение стали. – М.: Металлургия, 1979. – 208 с.

8. К. И. Портной, Б. Н. Бабич, Дисперсноупрочненные материалы / К. И. Портной, Б. Н. Бабич. – М.: Металлургия, 1974. – 123 с.

9. E. N. Eremin, A. S. Losev, I. A. Ponomarev, S. A. Borodikhin, A. E. Matalasova, Structure and properties of the weld metal N8G6M3FTB after aging // AIP Conference Proceedings: Oil and Gas Engineering. – 2019. – Vol. 2141. – P. 040004-1-040004-6. – Doi: doi.org/10.1063/1.5122123.

УДК 621.791.927.5

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ 10Г7М3С2АФТЮ

Еремин Е. Н., Лосев А. С., Пономарев И. А., Бородихин С. А., Семко В. И., Кузьмин Н. О.

Омский государственный технический университет (Россия, г. Омск, пр. Мира, 11)

Одной из технологий поверхностного упрочнения деталей машин нефтехимического производства, работающих в условиях изнашивания, является наплавка рабочих поверхностей порошковыми проволоками [1].

Для наплавки большой номенклатуры деталей можно вместо мартенситных сталей использовать стали ферритного класса, характеризующихся хорошей технологичностью, сравнительно низкой стоимостью и высокой работоспособностью в условиях трения металла о металл. Особый интерес представляют такие стали с содержанием марганца менее 10%, легированные небольшим количеством кремния, молибдена и титана, которые могут иметь ферритную структуру [2, 3]. Такая композиция используется в стали 10Г7М2С2Т, применяемой для изготовления металлических конструкций повышенной прочности [4]. Однако такая сталь имеет сравнительно невысокую твердость и как следствие низкую износостойкость и не может быть использована для наплавки упрочняющих покрытий. Существенный эффект упрочнения такой стали можно достичь легированием азотом совместно с ванадием, титаном и алюминием [5–8].

В связи с этим, объектом исследований являлся металл покрытия наплавленного порошковой проволокой созданной на основе стали 10Г7М3С2АФТЮ.

Установлено, что твердость такого металла после наплавки находится в пределах 17–19,5 HRC.

Изменение твердости металла покрытия исследуемого состава после старения при выбранных температурах 350, 500, 550, 600 °С приведены в таблице 1.

Таблица 1. Изменение твердости наплавленного металла после старения

Температура старения, °С	Значения твердости металла, HRC			
	После наплавки	После старения в течение, ч		
		2	6	10
350	17,0–19,5	17,0–19,0	18,5–22,0	19,5–22,0
500		19,5–23,5	28,0–32,5	32–37,5
550		28,0–32,5	36,5–42,0	33,0–36,5
600		28,5–33,0	34,5–40,0	32,5–35,0

Полученные данные обусловили проведение дальнейших исследований металла, прошедшего старение на режиме при температуре 550 °С в течение 6 часов, показавшем наивысший эффект упрочнения в 25 HRC.

Рентгеноструктурным анализом установлено, что структура металла после старения состоит из феррита – α-Fe и 6 видов соединений фазовых составляющих. В ней присутствуют частицы большей частью карбонитрида Ti_2CN, нитрида $MnN_{0,457}$ и карбида VC, интерметаллидов большей частью $V_{1,98}Ti_{0,02}$, $Fe_{0,875}Mo_{0,125}$, $Fe_{0,91}Si_{0,09}$.

Анализ структуры полученный просвечивающей электронной микроскопией и микродифракций с её объектов показывают наличие в ферритной матрице крупных выделений частиц Ti_2CN круглой формы диаметром до 1000 нм, и более мелких округлых выделений частиц VC диаметром 200 нм. По границам раздела наблюдаются крупные выделения $V_{1,98}Ti_{0,02}$ прямоугольной формы.

Полученные результаты показывают, что особенностью механизма упрочнения исследуемой стали в результате старения является образование доминирующих в ней соединений карбонитридов титана, карбидов ванадия, нитридов марганца и интерметаллидов титана, ванадия и молибдена.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-19-01224).

Библиографический список

1. И. А. Рябцев, Наплавка деталей машин и механизмов. – Киев: Екотехнология, 2004. – 159 с.

2. Г. И. Сильман, Сплавы системы Fe-C-Mn. Часть 4. Особенности структурообразования в марганцевых и высокомарганцевых сталях // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2006. – № 1 (607). – С. 3–7.

3. В. В. Русаненко, Н. Г. Шапошников, Б. М. Могутнов, А.Ф. Еднерал, Исследование старения мартенсита сплавов на основе системы Fe-Mn // Материаловедение. – 2007. – № 1. – С. 32–42.

4. С. Р. Бирман, Экономнолегированные мартенситностареющие стали. – М.: Металлургия, 1974. – 208 с.

5. М. И. Гольдштейн, В. М. Фарбер, Дисперсионное упрочнение стали. – М.: Металлургия, 1979. – 208 с.

6. Я. Катада, Н. Вашицу, Х. Баба, Стали с повышенным содержанием азота, разработанные в Национальном институте материаловедения // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2005. – № 11 (605). – С. 14–16.

7. К. О. Базалеева, Механизмы влияния азота на структуру и свойства сталей (обзор) // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2005. – № 10 (604). – С. 17–24.

8. S. M. Abbasi, A. Shokuhfar, Improvement of mechanical properties of Cr-Ni-Mo-Cu-Ti stainless steel with addition of vanadium // Journal of Iron and Steel Research, International. – 2007. – Vol. 14. – P. 74–78.

УДК 678.073:661.481

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИИМИДА С РАЗНЫМИ ВИДАМИ ПТФЭ-НАПОЛНИТЕЛЯ

Панин С. В.[1,2], Ло Цзянкунь[2], Корниенко Л. А.[1], Буслович Д. Г.[1,2], Алексенко В. О.[1,2]

[1] *ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4*
[2] *ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

Полиимид (ПИ) является популярным высокотехнологичным конструкционным полимером, благодаря сочетаниям его выдающихся свойств и простоты синтеза [1–3]. Он обладает комплексом высоких эксплуатационных характеристик, такими как превосходные механические и диэлектрические свойства, а также высокие термическая, кислото- и щелочестойкости. Следует отметить возможность его применения в условиях фрикционной смазки при низких или высоких температурах, что позволило найти широкое применение в аэрокосмической отрасли, автомобильной и микроэлектронной промышленности. В некоторых случаях он способен заменять конструкционные стали. Тем не менее, большой коэффициент трения и высокая степень износа чистого ПИ ограничивают его использование в системах динамического движения, а также в качестве материала для узлов трения в машиностроении.

В ряде работ было показано, что введение различных волокон или частиц в матрицу ПИ является эффективным способом улучшения трибологических свойств. Так частицы политетрафторэтилена (ПТФЭ), образуя пленку переноса на контртеле, обеспечивают низкий коэффициент трения и высокую износостойкость композита ПИ-ПТФЭ [4]. При этом механические свойства композита снижаются по сравнению с ненаполненным полимером.

В работе исследовано влияние различного вида наполнителей на основе ПТФЭ (частицы различного размера, а также рубленые волокна) на механические и триботехнические характеристики композитов с матрицей из полиимида.

Использовали порошок PI (Solver PI-Powder 1600, КНР) со средним размером частиц 16 мкм. В качестве наполнителя использовали а) частицы политетрафторэтилена (PTFE) ∅ 6–20 мкм, (марка Ф4-ПН20, ООО «Руфлон», РФ), волокна политетрафторэтилена размером 5–15 мм (CF/W-3, Shanghai Linflon Film Technology Co., Ltd. КНР) и порошок сополимер фторпласта марки Ф-4 «Флуралит» [http://fluralit.ru/] (ООО «Флуралит синтез», РФ) размером менее 3 мкм. Образцы для испытаний получали методом компрессионного спекания при давлении 15 МПа и температуре 370 °С. В таблице 1 приведены трибологические характеристики композитов ПИ+10 вес.% ПТФЭ, имеющие наполнитель различной формы.

Таблица 1. Триботехнические характеристики ПИ и композитов на его основе

Наполнитель, вес.%	Коэффициент трения		Скорость износа, $мм^3/Н*м, 10^{-6}$	
	Металлич. контртело	Керамич. контртело	Металлич. контртело	Керамич. контртело
ПИ	0,388±0,012	0,375±0,008	134,16±18,5	76,07±3,24
+ 10 ПТФЭ (част.)	0,128±0,004	0,136±0,010	0,62±0,08	0,57±0,07
+ 10 ПТФЭ (волокно)	0,127±0,011	0,113±0,005	0,69±0,14	0,58±0,09
+ 10 ПТФЭ (флурал.)	0,098±0,003	0,085±0,001	0,78±0,10	0,71±0,10

Показано, что при содержании мелкодисперсного флуралита в количестве 10 вес. % механические свойства композита находятся на уровне чистого ПИ за счет равномерного распределения наполнителя в матрице, а износостойкость матрицы увеличивается до 100 раз за счет образования на контртеле пленки переноса. Композит «полиимид + 10 вес.% ПТФЭ (флуралит)» может быть рекомендован в качестве антифрикционного материала для узлов трения в металло- и керамо-полимерных сопряжениях, так как в данной композиции удается сохранить механические свойства на уровне чистого ПИ и значительно повысить износостойкость.

Работа выполнена в рамках плана фундаментальных научных исследований государственных академий наук 2013–2020 гг., а также работа также поддержана грантами РФФИ № 18-58-00037 и № 19-38-90106.

Библиографический список

1. Yen HJ, Chen CJ, Liou GS. Flexible multi -colored electr
derived from starburst triarylamine -based electroactive polyi
5316.

2. Lin L, Wang A, Dong M, Zhang Y, He B, Li H. Sulfur removal from fuel using zeolites/polyimide mixed matrix membrane adsorbents. Journal of Hazardous Materials. 2012; 203:204–212.

3. Jiang Q, Wang X, Zhu Y, Hui D, Qiu Y. Mechanical, electrical and thermal properties of aligned carbon nanotube/polyimide composites. Composites Part B: Engineering. 2014;56:408–412.

4. Samyn P, Schoukens G. Tribological properties of PTFE -filled thermop
and temperature. Polymer Composites. 2009; 30:1631–1646.

УДК 678.073:661.481

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОЙ МАТРИЦЫ ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА

Панин С. В.[1,2], Нгуен Дык Ань [2], Корниенко Л. А.[1], Буслович Д. Г.[1,2], Лернер М. И.[1]

[1] *Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4*
[2] *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина,30*

Полиэфирэфиркетон (ПЭЭК) широко применяется в машиностроении и медицине благодаря ряду высоких эксплуатационных свойств: высокой прочности, высокой термической и химической стойкости, высокой биосовместимости и др. Однако ПЭЭК обладает высоким коэффициентом трения ($f_{тр} > 0,4$) и недостаточной износостойкостью, что огранивает его применение в узлах трения. В последнее время различные типы

наполнителей были использованы для повышения трибомеханических свойств композитов на основе ПЭЭК, такие как армирующие волокна, твердосмазочные частицы, а также наночастицы [1–3]. По сравнению с микро-, нанонаполнители обладают рядом преимуществ: а) меньшее абразивное воздействие; б) большая удельная площадь поверхности и, следовательно, большая адгезия к полимерной матрице; в) возможность повышения ряда свойств композита при относительно низком содержании наполнителя.

В настоящей работе поставлена задача повышения механических и трибологических свойств композитов на основе ПЭЭК введением различных нанонаполнителей. Использован порошок ПЭЭК 450PF (фирмы Victrex, Ø = 50 мкм). В качестве наполнителей использовали следующие типы наночастиц: меди (Cu), латуни (Cu-Zn), дисульфида кремния (SiO_2) и феррита меди ($CuFe_2O_4$) в объеме 0,3 вес. %. Заготовки в форме круглых пластин получены методом горячего прессования при давлении 15 МПа и температуре 400 °С. Скорость охлаждения – 2 °С/мин. Механические характеристики (при одноосном растяжении) исследовали в соответствии ASTM D638 с использованием электромеханической испытательной машины INSTRON 5582. Трибоиспытания при сухом трении скольжения проведены на трибометре CSEM CH-2000 в соответствии с ASTM G99 по схеме «шар-по-диску» при нагрузке 10 Н и скорости вращения 0.3 м/с. Трибологические характеристики композитов исследованы на двух контртелах: стальное (ШХ15) и керамическое (ZrO_2).

В работе показано, что все использованные нанонаполнители увеличивают механические свойства композиций (модуль упругости, предел прочности) на 10–12%, удлинение при этом уменьшается на 5–7%. Величины скорости износа для ненаполненного ПЭЭК и его нанокомпозитов представлена на рис. 1, из которого следует, что при скольжении по металлическому контртелу, в композитах, наполненных наночастицами Cu, SiO_2 и $CuFe_2O_4$ величина скорости изнашивания уменьшается по сравнению с ненаполненным ПЭЭК, а в композите «ПЭЭК+0,3 вес.% Cu-Zn» скорость изнашивания увеличивается по сравнению с исходным полимером. При скольжении по керамическому контртелу во всех нанокомпозитах скорость изнашивания повышается по сравнению с ненаполненным полимером.

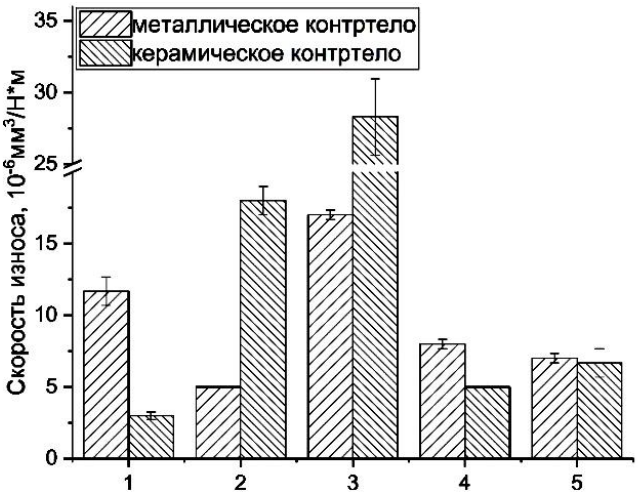


Рис. 1. Скорость изнашивания образцов ПЭЭК (1) и композиций с содержанием 0,3 вес. % наночастиц: Cu (2); латунь (3); SiO_2 (4) и $CuFe_2O_4$ (5) при сухом трении скольжения по стальному и керамическому контртелам

Обсуждается роль нанонаполнителей в металло- и керамо-полимерных сопряжениях композитов с фрагментарным типом надмолекулярной структуры (ПЭЭК).

Работа поддержана грантом президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации НШ-5875.2018.8. Авторы выражают благодарность РФФИ за поддержку данных исследований, выполненных в рамках проекта № 18-58-00037.

Библиографический список

1. J. Paulo Davim, Rosária Cardoso. Effect of reinforcement carbon or glass fibres on friction and wear behavior of the PEEK against steel surface at long dry liding. Wear 266 (2009), 795–799.

2. Bijwe, J.; Sen, S.; Ghosh, A. Influence of PTFE content in PEEK–PTFE blends on mechanical properties and tribo-performance in various wear modes. Wear. 2005, 258(10), 1536–1542.

3. M. C. Kuo, C. M. Tsai, J. C. Huang, M. Chen. PEEK composites reinforced by nano-sized SiO2 and Al2O2 particulates // Materials Chemistry and Physics, 2005, Vol. 90, 185–195.

УДК544.478

СПОСОБ СИНТЕЗА НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ Pd/MgO КАК ФАКТОР РЕГУЛИРОВАНИЯ ЕЕ СВОЙСТВ В ПРОЦЕССЕ ГИДРИРОВАНИЯ АЦЕТИЛЕНА

Глыздова Д. В.[1], Ильина Е. В.[2], Карнаухов Т. М.[2], Шляпин Д. А.[1], Ведягин А. А.[2]

[1] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Россия, Омск, ул. Нефтезаводская, 54*
[2] *Институт катализа СО РАН, Россия, Новосибирск, Лаврентьева 5*

Этилен является наиболее универсальным нефтехимическим сырьем для получения полиэтилена, этилового спирта, этиленоксида, этиленгликоля, стирола, дихлорэтана и многих других химических продуктов. Процесс гидрирования ацетилена в этилен может применяться как для очистки этилена от примеси алкина, который образуется на стадии пиролиза нефтяного сырья при получении C_2H_4 [1], так и для прямого получения этилена из ацетилена [2]. Наиболее часто в качестве катализатора для реакции гидрирования ацетилена используют нанесённые металлические катализаторы на основе палладия из-за его высокой каталитической активности. При этом эффективность таких катализаторов определяется, прежде всего, дисперсностью и электронным состоянием палладия, которые зависят от силы его взаимодействия с носителем и кислотно-основных свойств последнего [3, 4].

Ранее нами была показана возможность применения золь-гель метода и аэрогельной технологии для синтеза различных нанокристаллических систем, характеризующихся высокой удельной поверхностью и равномерным распределением активного компонента, что важно для достижения успешных результатов в каталитических процессах [5, 6]. В настоящей работе синтезирована серия катализаторов Pd/MgO, идентичных по содержанию палладия (1 мас.%), но отличающихся методом приготовления: использовали аэрогельный способ, золь-гель и метод пропитки по влагоёмкости с последующим восстановлением в водороде при 500°C в течение 3 часов. Каталитические испытания в реакции гидрирования ацетилена проводили в проточном режиме, в потоке газовой смеси, содержащей 4 об.% C_2H_2 в водороде в интервале температур от 20 до 90°C ($m_{нав}$ = 5.0 мг).

С применением метода просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) показано, что частицы палладия имеют сферическую форму и равномерно распределяются по поверхности носителя. Средний размер частиц палладия зависит от способа синтеза: наиболее дисперсные частицы ($d_{ср}$ = 2.0–2.2 нм) образуются при использовании золь-гель методики и метода пропитки. Катализаторы, синтезированные аэрогельным способом, содержат частицы палладия с $d_{ср}$ ~ 8.0 нм (рис. 1). Наибольшую активность проявляют образцы, полученные аэрогельным способом: 50 % степень превращения ацетилена наблюдается уже при 35°C, в то время как при использовании золь-гель метода и пропитки по влагоёмкости данное значение достигается при более высоких температурах – при 49 и 65°C, соответственно. Установлено, что максимальная селективность по этилену при 25°C также характерна для аэрогельного образца и составляет 70 %, что превышает значения, найденные для катализаторов, синтезированных двумя другими способами.

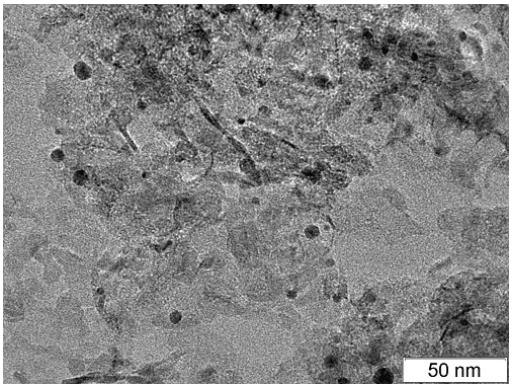


Рис. 1. Микроснимок ПЭМ для аэрогельного катализатора 1%Pd/MgO

Библиографический список

1. A. Borodziński, G. Bond. Selective Hydrogenation of ethyne in ethene -rich streams
Part 1. Effect of changes to the catalyst during reaction // Catalysis Reviews. – 2006. – V. 48. – P. 91–144.

2. Д.А. Шляпин, Д.В. Глыздова, Т.Н. Афонасенко, В.Л. Темерев, П.Г. Цырульников. Гидрирование ацетилена в этилен в обогащенной водородом газовой смеси на катализаторе Pd/Сибунит // Кинетика и катализ. – 2019. – Т. 60. – № 4. – С. 479–485.

3. Z. Guan, M. Xue, Z. Li, R. Zhang, B. Wang. C_2H_2 semi-hydrogenation over the supported Pd and Cu catalysts: The effects of the support types, properties and metal-support interaction on C_2H_4 selectivity and activity // Applied Surface Science . – 2020. – V. 503. – P. 144142.

4. Y. He, J. Fan, J. Feng, C. Luo, P. Yang, D. Li Pd nanoparticles on hydrotalcite as an efficient catalyst for partial hydrogenation of acetylene: Effect of support acidic and basic properties // Journal of Catalysis. – 2015. – V. 331. – P. 118–127.

5. A.A. Vedyagin, I.V. Mishakov, T.M. Karnaukhov, E.F. Krivoshapkina, E.V. Ilyina, T.A. Maksimova, S.V. Cherepanova, P.V. Krivoshapkin Sol-gel synthesis and characterization of two-component systems based on MgO // Journal of Sol-Gel Science and Technology. – 2017. – V. 82. – № 2. – P. 611–619.

6. E.V. Ilyina, I.V. Mishakov, A.A. Vedyagin, S.V. Cherepanova, A.N. Nadeev, A.F. Bedilo, K.J. Klabunde Synthesis and Characterization of Mesoporous VO_x/MgO Aerogels with high surface area // Microporous and Mesoporous Materials. – 2012. – V. 160. – P. 32–40.

УДК 538.975

МОДИФИКАЦИЯ МУНТ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ HE:O ПЛАЗМЫ

Болотов В. В.[1,2], Ивлев К. Е.[1], Кан В. Е.[1] , Князев Е. В.[1], Макушенко Р. К.[1], Сачков В. А.[1]

[1] *Омский научный центр СО РАН, Россия, г. Омск, пр. Маркса 15*
[2] *Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского. Россия, г. Омск, пр. Мира, 55а*

Для контроля технологических процессов при переработке нефти и газа, а так же обеспечения безопасности, требуется наличие газоаналитического оборудования. В качестве материала для создания газовых наносенсоров могут использоваться многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ), обладающие широким диапазоном значений электропроводности, высокой механической прочностью и химической инертностью [1].

Изменение структуры МУНТ приводит к существенной модификации физико-химических свойств нанотрубок. Так наличие точечных дефектов в структуре стенок МУНТ приводит к изменению их сопротивления. Дефекты во внешних слоях способствуют формированию функциональных комплексов повышающих химическую активность МУНТ. В данной работе методами РЭМ, ИК спектроскопии исследована структура МУНТ после воздействия He:O плазмы мощностью 250W, скорость потока 40 sccm, время обработки 20 и 120 sek. Методами математического моделирования описаны процессы окисления графенового слоя.

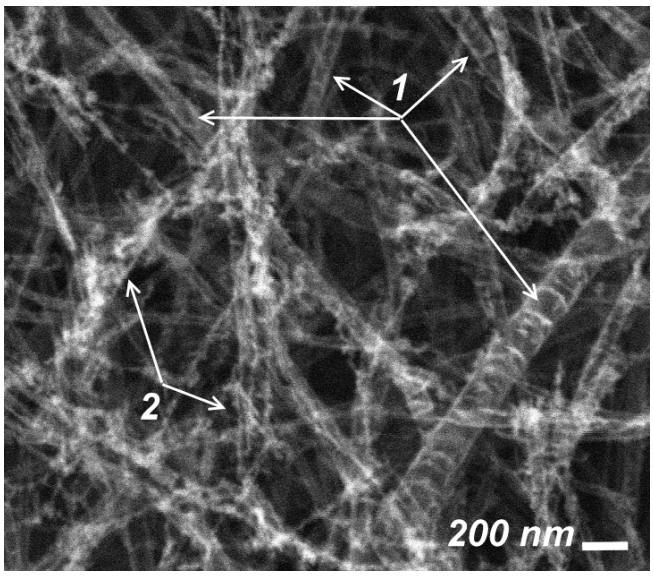


Рис. 1. РЭМ изображения слоя МУНТ после 20 секунд экспонирования в He:O плазме: 1 – кратеры на поверхности МУНТ; 2 – фрагменты разрушенных МУНТ

Результаты исследований по модификации структуры МУНТ плазменными обработками показывают существенные изменения морфологии МУНТ после экспонирования в плазме. Данные РЭМ указывают на формирование крупных структурных дефектов на поверхности МУНТ. Данные дефекты образуются за счет удаления части графеновых слоев нанотрубок. Результаты ИК спектроскопии свидетельствуют о разупорядочении графенового слоя. Увеличение времени экспонирования приводит к появлению пика поглощения в области 1550 $см^{-1}$, соответствующего колебаниям C-N связи [2].

Данные полученные методами численного моделирования указывают наиболее энергетически выгодную конфигурацию взаимодействия атома кислорода и вакансионного кластера. Данные расчетов показали, что образование одинарной связи кислорода и углерода на границе вакансионного кластера способно сформировать более устойчивую систему, нежели идеальных графеновый слой.

Работа выполнена с использованием оборудования Омского центра коллективного пользования (ОмЦКП СО РАН). Работа выполнена по государственному заданию ОНЦ СО РАН в соответствии с Программой ФНИ ГАН на 2013–2020 годы (номер госрегистрации проекта в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА-А17-117041210227-8).

Библиографический список

1. Е.В. Князев, В.В. Болотов, К.Е. Ивлев, С.Н. Поворознюк, В.Е. Кан, Д.В. Соколов. Структура и электрофизические свойства многостенных углеродных нанотрубок, подвергнутых облучению ионами аргона. ФТТ. – 2019. – Том 61, вып. 3. – С. 564–570.

2. D. Kolacyak, J.Ihde, C. Merten, A. Harting and U Lommatzsch. Fast functionalization of MWCNT by an atmospheric pressure plasma jet. Journal of Colloid and Interface Science. 359, p. 311. 2011.

УДК 677.494

НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ВОДЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕМ РАСПЛАВОВ ПОЛИАМИДА-6 И ЕГО СМЕСЕЙ

Малахов С. Н., Чвалун С. Н.

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, 1

Нефть и жидкие продукты ее переработки играют важнейшую роль в современном мире. При этом на любом этапе работы с ними (добыча, переработка, транспортировка) возникает риск их утечек, что приводит к значительному загрязнению биосферы, в т.ч. водоемов. Так, два крупнейших разлива нефти, произошедшие в результате аварий на нефтяных платформах Ixtoc I (1979 год) и Deepwater Horizon (2010 год) – привели к выбросу в океан около 480 000 и 680 000 тонн нефти соответственно [1]. В связи с этим, разработка материалов для ликвидации последствий разливов нефти является весьма актуальной.

Одним из видов сорбентов, которые могут быть использованы для удаления жидких нефтепродуктов из воды, являются нетканые материалы, получаемые методом электроформования [2]. При этом экономически более целесообразным для получения подобных материалов является использование крупнотоннажных полимеров, например, полиамида-6.

Нетканые материалы на основе полиамида-6 после получения характеризуются достаточно высокой гидрофобностью [3], которая пропадает после выдерживания данных материалов в воде в течение нескольких минут. Как следствие – полученные материалы обладают низкой селективностью, сорбируя не только нефтепродукты, но и воду. Одним из способов повышения гидрофильности является получение смесевых материалов на основе нескольких полимеров.

В данной работе нетканые материалы были получены электроформованием расплавов полиамида и его смесей с полистиролом, полипропиленом и полилактидом. Средний диаметр волокон в полученных материалах, определенный по данным оптической и электронной микроскопии, находился в диапазоне 2–20 мкм. Состав и надмолекулярная структура полимеров в полученных волокнистых матрицах были исследованы при помощи ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа в больших углах. Поверхностные свойства материалов оценивали с использованием метода определения краевых углов смачивания.

По результатам исследования было установлено, что сорбционная емкость полученных материалов по моторному маслу достигает значений до 100 г/г, что существенно выше, чем для коммерчески доступных сорбционных материалов, емкость которых составляет, как правило, около 20–30 г/г [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 18-73-00328.

Библиографический список

1. P. Eckle, P. Burgherr, E. Michaux. Risk of large oil spills: a statistical analysis in the aftermath of Deepwater Horizon // Environmental Science & Technology. – 2012. – V. 46. – № 23. – P. 13002–13008.

2. R. Sarbatly, D. Krishnaiah, Z. Kamin. A review of polymer nanofibres by electrospinning and their application in oil–water separation for cleaning up marine oil spills // Marine Pollution Bulletin. – 2016. – V. 106. – № 1-2. – P. 8–16.

3. Малахов С.Н., Белоусов С.И., Щербина М.А., Мещанкина М.Ю., Чвалун С.Н., Шепелев А.Д. Влияние низкомолекулярных добавок на электроформование нетканых волокнистых материалов из расплава полиамида-6 // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2016. – Т. 58. – № 2. – С. 169–178.

4. Wei Q.F., Mather R.R., Fotheringham A.F., Yang R.D. Evaluation of nonwoven polypropylene oil sorbents in marine oil-spill recovery // Marine Pollution Bulletin. 2003. – V. 46. – № 6. – P. 780–783.

УДК 678

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИКАТОРА НА СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ РЕЗИН

Жансакова К. С., Еремин Е. Н., Русских Г. С.

Омский государственный технический университет (Россия, г. Омск, пр. Мира, 11)

Изготовление пористых изделий является востребованным направлением в производстве предметов изоляции. В зависимости от сферы применения, к готовому продукту могут предъявляться различные требования, например, тепло-, звукоизоляция и небольшая плотность. Все эти показатели композитов можно получить за счет вариации рецептуростроения резиновых смесей.

Свойства пористых резин зависят от технологии изготовления эластомера, полимерной матрицы, наполнителя, порофора, пластификатора и других составляющих.

В ряде случаев от резин требуется более высокая огнестойкость, для уменьшения риска возникновения пожаров. Использование полимеров в электротехнике, электронике, транспортных системах и строительных объектах ограничено из-за их воспламеняемости, несмотря на преимущества, которыми они обладают[1].

Популярным пластификатором для резин принято считать масло-мягчитель «Стабилойл-18». Однако, от воздействия огня, данный компонент не защитит, так как имеет парафино-нафтеновую основу. Резины в природе своей горючи из-за полимерной матрицы, поэтому для создания огнестойких резин, пластификаторы нужно подбирать так, чтобы при горении происходило образование негорючего расплавленного остатка, защищающего каучук от огня[2]. Кроме того, можно вводить антипирены, такие как тетраборат натрия, для замедления или предотвращения горения изделий.

Исходя из данной проблемы, была поставлена цель, изготовить пористые резины, обладающие меньшими показателями горючести, меньшей плотностью и низкой теплопроводностью.

В качестве объектов исследования, были взяты резиновые смеси на основе бутадиен-стирольного каучука (СКМС-30АРКПН) наполненные различными пластификаторами масло-мягчителем «Стабилойл-18» и хлорпарафином 470А, с добавлением и без добавления тетрабората натрия (бурой).

В задачи исследования входило определение технологических свойств резиновых смесей, определение плотности, физико-механических качеств, показателя горючести и теплопроводности готовых пористых резин.

Результаты проведенных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты проведенных испытаний

Показатель	Ст	Ст+Б	ХП	ХП+Б
Min крутящий момент (ML), Н·м	0,55	0,16	1,01	0,37
Max крутящий момент (MH), Н·м	30,90	21,36	7,37	20,60
Разность крутящих моментов (ΔM), Н·м	30,35	21,20	6,36	20,23
Время начала вулканизации (t_s), мин	6,54	2,13	1,01	1,44
Время достижения 50% степени вулканизации (τ_{50}), мин	14,28	5,39	4,42	4,40
Оптимальное время вулканизации (τ_{90}), мин	23,40	13,58	7,37	8,07
Показатель скорости вулканизации (R_V), мин$^{-1}$	5,93	8,73	15,72	15,08
Сила сжатия (F), N	443,2	445,4	651,4	920,6
Сопротивление сжатию (σ), МПа	0,51	0,49	0,72	0,99
Плотность, кг/м3	555,78	718,69	659,86	722,59
Показатель горючести	Г3	Г3	Г2	Г2
Теплопроводность (λ), Вт /(м·К)	0,1011	0,1683	0,1088	0,1770
Высота образцов: до, мм	4,0	3,5	4,0	4,0
после, мм	6,5	5,5	6,5	6,0

Примечание. Ст – резиновая смесь с маслом-пластификатором «Стабилойл»; Ст+Б – резиновая смесь со «Стабилойл» и бурой; ХП – резиновая смесь с хлорпарафином; ХП + Б – резиновая смесь с хлорпарафином и бурой.

Исходя из полученных результатов, видно, что с добавлением антипиренов класс горючести не изменился, зато плотность и теплопроводность образцов значительно ухудшились. Кроме того, высота образцов стала меньше, что говорит об уменьшении порообразования.

Поэтому, в качестве основного ингредиента резиновой смеси, понижающего огнестойкость, стоит использовать хлорпарафин 470А. Данный пластификатор, уменьшает класс горючести, значительно не увеличивает теплопроводность, плотность образцов и экономически более выгоден, нежели Стабилойл 18.

Библиографический список

1. М. Ксантос, Функциональные наполнители для пластмасс // Научные основы и технологии. – 2010. – С. 462.
2. Ф.Ф. Кошелев, А.Е. Корнев, А.М. Буканов, Общая технология резины // Химия. – 1978. – С. 598.

УДК 676.264.3

ВЛИЯНИЕ БИОМОДИФИЦИРОВАННОГО ГЛЮТЕНА НА СВОЙСТВА ГЛЮТЕНОВОЙ ПЛЕНКИ ДЛЯ ЛАМИНИРОВАНИЯ КАРТОНА

Захарова Н. Л., Канарский А. В., Захаров И. В., Файзуллин И. З., Вольфсон С. И.

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, Казань, ул. К.Маркса, д. 68

Биополимеры в качестве барьерных покрытий для бумажной промышленности могут заменить существующие синтетические материалы. Они основаны на возобновляемых ресурсах и предлагают многочисленные благоприятные экологические преимущества, такие как биоразлагаемость, нетоксичность и биосовместимость по сравнению с обычными синтетическими полимерами [1, 2]. Изучались биополимерные покрытия для картона, такие как полисахариды (крахмал, производные целлюлозы, хитозан, альгинаты), белки (казеин, сыворотка, коллаген, соя и пшеничный глютен), липиды (пчелиный и карнаубский воск и свободные жирные кислоты) и полиэфиры (полигидроксиалканоаты и полимолочная кислота).

Авторами [3] исследовано применение биомодифицированного глютена с целью повышения физико-механических и деформационных характеристик при пропитке картона. Глютен – это растительный белок, состоящий из полимерных глютенинов и мономерных глиадинов. Глютенины состоят из отдельных субъединиц полипептида, соединенных межцепочечными дисульфидными связями с образованием высокомолекулярных полимеров. WG имеет широкий диапазон молекулярных масс от тысячи до миллиона дальтон. Как дисульфидные, так и водородные связи играют ключевую роль в структуре и свойствах белков глютена пшеницы [4].

Главный вопрос – как нанести белок на картон? Когда водный раствор белка наносится на картон валиком (влажное формование), белок может проникать в пористую структуру целлюлозы, а бумага и белки могут состоять из уникальной взаимопроникающей системы. Если толщина высокая, мы можем предположить, что обработка белка влияет главным образом на поверхностные свойства картона. При ламинировании глютеновой пленки (термоформование) важно, чтобы адгезия пленки была достаточной для обеспечения хороших механических свойств, исключающих расслоение. Обычно в индустрии пластмасс нагревание при высокой температуре пленки приводит к хорошим адгезионным свойствам. В противном случае не будет достаточно термостойких или адгезионных свойств полимера для нанесения на картон. Следовательно, адгезионные свойства белкового покрытия важны для применения в бумажной промышленности. Картон обладает плохими барьерными свойствами, в частности кислородопроницаемостью, из-за большой пористости листа.

Таким образом, в настоящей работе рассмотрены реологические, барьерные, термические и прочностные свойства биомодифицированных глютеновых пленок с целью использования их в качестве покрытия для ламинирования картона. Для биомодификации глютена применялись ферментные препараты из класса гидролаз и трансфераз.

Исследования показали, что обработка глютена ферментными препаратами приводит:

– к повышению на 15 % кинематической вязкости коллоидного раствора глютена, и составляет 2,003 $мм^2/с$;

– к понижению на 300 % коэффициента кислородопроницаемости пленки глютеновой, и составляет $0{,}6386 \cdot 10^{-14}$ моль/м·с·Па;

– к повышению на 30 % температуры стеклования глютена, и составляет 70 ^oC;

– к повышению на 80 % прочности при растяжении пленки глютеновой, и составляет 4,8 МПа;

– к повышению на 200 % удлинения при растяжении пленки глютеновой, и составляет 240 %.

Таким образом, ферментативная обработка глютена способствует улучшению свойств биомодифицированного глютена, который можно использовать в качестве покрытия картона.

Библиографический список

1. Патент США 8328989 B2, C08H99/00, D21H17/21, D21H17/28, D21H17/22, D21H17/02. Flour-based product, its preparation and use / J. G. Renirie, J. Van Der Meijden, J. J. Plijter, J. Van Soest, Färre; заявл. 5.12.2006.; опубл. 11.12.2012.

2. X.Z. Tang, P. Kumar, S. Alavi, K.P. Sandeep, Recent advances in biopolymers and biopolymer-based nanocomposites for food packaging materials // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. – 2012. – № 52. – С. 426–442

3. И.В. Захаров, Н.Л. Захарова, А.В. Канарский, Я.В. Казаков, Е.О. Окулова, Д.А. Дулькин, Физико-механические свойства картона, обработанного биомодифицированным глютеном // Лесной журнал. – 2017. – № 6. – С. 135–144.

4. M. Pommet, A. Redl, S. Guilbrt, M.-H. Morel, Intrinsic influence of various plasticizers on functional properties and reactivity of wheat gluten thermoplastic materials // Journal of Cereal Science. – 2005. – № 42. – С. 81–91.

УДК 676.264.3

БИОРАЗЛАГАЕМОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ГЛЮТЕНА НА ОСНОВУ ДЛЯ ПАРАФИНИРОВАННОЙ БУМАГИ

Захарова Н. Л., Канарский А. В., Захаров И. В., Файзуллин И. З., Вольфсон С. И.

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, Казань, ул. К.Маркса, д. 68

На сегодняшний день во всем мире растет интерес к разработке полимеров на биологической основе, биокомпозитов и инновационных технологических процессов, которые могут уменьшить зависимость от углеводородных пластмасс и перейти на ресурсосберегающие технологии [1].

Сегодня наиболее изученными биокомпозитами, подходящими для применения в упаковке, являются волокнистые материалы, содержащие производные крахмала, полимолочную кислоту, поликапролактон, полибутиленсукцинат и полигидроксибутират [2], а так же белки: соевый, пшеничный (глютен) и др. [3].

Нативные биополимеры имеют слабые эксплуатационные характеристики, в этой связи, они подвергаются модификации. Для улучшения физико-механических свойств используют различные методы, например, введение органических и неорганических наночастиц, такие как серебро, титан, хитозан, целлюлоза, глина, крахмал, диоксид кремния и зеин [3].

В работе [4] картон пропитывали коллоидным раствором глютена, обработанного ферментными препаратами при низкой концентрации субстрата. В результате увеличены прочностные и деформационные характеристики в сухом состоянии до 50 % и до 200 % соответственно, и до 14 % увеличение влагопрочности. Обработка сырья при высоком гидромодуле не является технологичной и ресурсосберегающей технологией в индустрии пластмасс.

В настоящей работе изучены барьерные и прочно-деформационные характеристики бумаги, покрытой биомодифицированным глютеном. Жиростойкость образцов бумаги, покрытых биомодифицированным глютеном, определяли по ГОСТ ИСО 16532-2. Результаты исследований показали, что все образцы бумаги покрытые глютеном как биомодифицированным так и небиомодицированным относятся к жиростойким материалам (балл Кита 21). Паропроницаемость образцов, определяли по ASTM E96-05. При покрытии бумаги биомодифицированным глютеном – обработка ферментными препаратами, такими как Оллзайм Вегпро, Протосубтилин или Липопан 50 БГ показано понижение паропроницаемости до нулевого значения. Изучено влияние ферментных препаратов при обработке глютена при воздействии высоких сдвиговых усилиях на прочностные и деформационные характеристики бумаги покрытой таким биомодифицированным глютеном. Для определения прочностных и деформационных характеристик использовали ГОСТ ИСО 1924-2, согласно результатам исследований прочностные характеристики образцов увеличились более чем на 40 %, деформационные увеличились более чем на 30 %.

Таким образом, целесообразно модифицировать глютен пшеничный при высоких концентрациях субстрата в условиях высоких сдвиговых усилий с целью получения покрытия на бумагу.

Библиографический список

1. Fayzullin I.Z., Volfson S.I., Musin I.N., Fayzullin A.Z., Nikiforov A.A. Influence of the type of wood flour and nano-additives on structure and mechanical properties of wood polymer composites based on polypropelene. Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures (MRDMS-2016) AIP Conf. Proc. 1785, 040098-1–040098-6; doi: 10.1063/1.4967155 Published by AIP Publishing.

2. Rhim, J.-W., Park, H.-M., & Ha, C.-S. (2013). Bio-nanocomposites for food packaging applications. Progress in Polymer Science, 38(10-11), 1629–1652. doi:10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008

3. Potentials of Fibrous and Nonfibrous Materials in Biodegradable Packaging. 06 November 2015.

4. Захаров, И.В. Регулирование влагопрочности картона обработкой биомодифицированным глютеном / И.В. Захаров, Н.Л. Захарова, А.В. Канарский, А.Н. Романова, Я.В. Казаков, Д.А. Дулькин // Лесн. журн. (Изв. высш. учеб. заведений). – 2018. – № 5. – С. 181–190.

УДК 661.666.4

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ, ТЕКСТУРНЫХ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПОСЛЕ ТЕРМОГАЗОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Сырьева А. В., Суровикин Ю. В., Резанов И. В., Лавренов А. В.

Центр новых химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (Омский филиал), Россия, г. Омск, ул. Нефтезаводская, д. 54

Среди различных марок технического углерода (ТУ) можно выделить специальные марки, обладающие повышенными электропроводными свойствами. Существующий ассортимент электропроводного ТУ составляют, в основном, печные марки, полученные высокотемпературным окислительным пиролизом жидких углеводородов и отличающиеся высокими величинами удельной поверхности и абсорбции дибутилфталата, химической чистотой [1, 2]. В тоже время производство сверхэлектропроводного (С/Э) отечественного ТУ на сегодняшний день отсутствует, а многие технологические приемы и способы синтеза зарубежных марок С/Э ТУ (например, Ensaco 350G, Printex XE2-B, Black Pearls 2000, Ketjenblack EC600JD) являются ноу-хау фирм-разработчиков. В этой связи проведение прикладных научных исследований по разработке импортозамещающей технологии получения сверхэлектропроводного ТУ является важной практической задачей. Решение этой задачи будет направлено на расширение номенклатуры данного вида продукции и выпуск С/Э ТУ для полимер-углеродных композитов и электродных масс систем получения и хранения электроэнергии. Разветвленная структура специальных марок ТУ делает его идеальным наполнителем различных композитов, позволяя при меньших концентрациях образовывать и поддерживать токопроводящую сеть без ухудшения механических свойств композитов.

Для решения поставленной задачи была проведена термогазохимическая постобработка [3] серийной марки ТУ N115 (ООО «Омсктехуглерод») и опытного образца ТУ ПО (ЦНХТ ИК СО РАН). Термогазохимическую обработку (ТГХО) подвижного слоя ТУ осуществляли в лабораторных условиях водяным паром при 900°С. Экспериментальные образцы С/Э ТУ были подробно исследованы методами низкотемпературной адсорбции азота, рентгеновской дифракции, просвечивающей электронной микроскопии, спектроскопии КР и ИК, определены показатели назначения: абсорбция ДБФ, йодное число, зольность, pH водной суспензии и объемное электросопротивление. Приведены результаты исследований физико-химических свойств и электропроводности полимер-углеродных композитов, полученных на основе экспериментального С/Э ТУ, а также результаты электрохимических испытаний этих же образцов в составе двухэлектродной ячейки суперконденсатора типа Swagelok с использованием водного электролита.

Физико-химические исследования образцов проведены с использованием приборной базы ЦКП «Национальный центр исследования катализаторов».

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации прикладных научных исследований (уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI60419X0228).

Библиографический список

1. M.E. Spahr, R. Gilardi, D. Bonacchi, Carbon black for electrically conductive polymer applications // Polymers and Polymeric Composites: A Reference Series / Ed. S. Palsule. – Ch. 2. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2016. – P. 1–26.

2. Получение и свойства электропроводящего технического углерода. – Вып. 4. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1981. – 137 с.

3. Ю.В. Суровикин, А.Г. Шайтанов, И.В. Резанов, А.В. Сырьева, Термогазохимическая модификация технического углерода: структура и свойства // Технологическое горение: коллективная монография / под общ. ред. акад. С.М. Алдошина, чл.-корр. РАН М.И. Алымова. – Гл. 7. – М.: Изд-во РАН, 2018. – С. 161–190.

УДК661.961.3;502.174.1

МАТЕРИАЛ ВОДОРОДНЫХ КАРТРИДЖЕЙ НА ОСНОВЕ АКТИВИРОВАННОГО АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МОЩНОСТЬЮ 10÷100 Вт

Низовский А. И.[1,2], Грибов П. А.[3], Рогожников В. Н.[1], Калинин Ю. В.[2]

[1] *ФГБУН "Федеральный исследовательский центр "Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН" 630090, Новосибирск, пр. Акад. Лаврентьева, 5*

[2] *Омский государственный технический университет 644050, Омск, пр. Мира, 11*

[3] *ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН 630128, Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18*

Получение водорода с использованием алюминия и воды при нейтральном pH и начальной комнатной температуре реакции является весьма перспективным методом, имеющим свою технологическую нишу. Это, прежде всего, энергетические устройства на основе водородных топливных элементов для мобильных устройств связи, видеоаппаратуры, сверхлегких летательных аппаратов и др. Появился даже специальный термин «алюмоводородная энергетика» [1]. Алюминий и его сплавы широко используются в качестве конструкционных материалов в различных отраслях машиностроения и изделий бытовой техники. Тем не менее, алюминий является весьма активным химическим элементом, легко вступающим в реакцию с водой после специальной активирующей обработки. Исследования в этой области отличаются условиями проведения реакции (давление, температура, pH среды), а также способами активирования алюминия или его сплавов. Наибольшее число работ посвящено направлению, связанному с приготовлением специальных многокомпонентных сплавов на основе алюминия, включающих добавки щелочных и щелочноземельных металлов, а также галлия, индия, олова, цинка и др. [2]. Широкое распространение получил метод получения активированных материалов с помощью механохимической обработки.

Основная масса исследователей, занимающихся изучением процессов активирования алюминия активаторами на основе жидких сплавов галлия (галламами) с целью повышения его активности в реакции с водой, рассматривает алюминий как химический элемент-металл, а не как материал, состоящий из алюминия. Важно отметить, что в современной промышленности металлический алюминий присутствует как конкретный продукт, как изделие, но не как химический элемент.

В данной работе было установлено, что особенности строения исходного материала (различных конструкционных алюминиевых сплавов) принципиальным образом влияют на эффективность процесса активирования. В свою очередь, реакционная способность активированных продуктов, полученных из разных исходных алюминиевых материалов, также существенно отличается. На рис. 1а приведены результаты взаимодействия активированных продуктов, полученных из разных исходных алюминиевых сплавов с отличной морфологией.

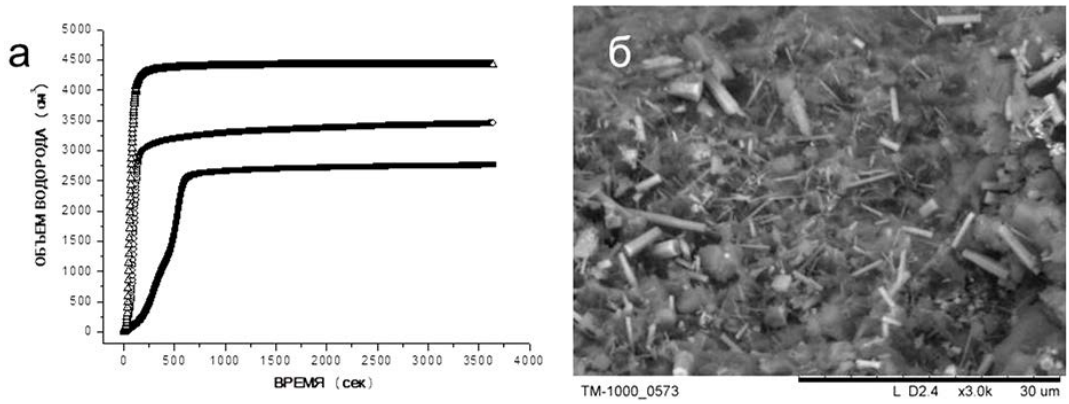


Рис. 1. (а) – Зависимость количества выделенного водорода от времени при реакции с водой активированных сплавов с различной морфологией. (б) – Данные растровой микроскопии (РЭМ)

Видно, что все образцы прореагировали полностью, различия в количества выделенного водорода связаны с разной величиной навески образцов. Полнота взаимодействия подтверждается данными растровой микроскопии (РЭМ), согласно которым на снимке (Рис. 1б) наблюдаются только продукты взаимодействия (смесь гидроксидов).

Важно отметить, что характер выделения водорода существенно отличается для разных сплавов. Наиболее эффективно взаимодействуют с водой активированные сплавы, у которых однородное распределение зерна.

Библиографический список

1. Шейндлин А.Е., Жук А.З.. Концепция алюмоводородной энергетики // Российский химический журнал. – 2006. – T.L, № 6. – С. 105–108.

2. Шейндлин А.Е., Школьников Е.И., Жук А.З., Клейменов Б.В., Власкин М.С. Особенности энергетического использования алюминия // Изв. РАН. Энергетика. – 2011. – № 6. – С. 3–30.

УДК 620.193

МЕТОД ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАСТЕЙ ПИТТИНГООБРАЗОВАНИЯ

Виноградова С. С., Ахметова А. Н., Тазиева Р. Ф.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, ул. К. Маркса, 68

Метод импедансной спектроскопии, основанный на измерении общего сопротивления коррозионной системы, применяется как для исследования общей коррозии, так и для исследования процессов питтинговой коррозии [1–2], что позволяет изучать кинетику и механизм локальных коррозионных процессов, процессов пассивации и формирования защитных пленок на металлах, не нарушая характера течения процессов. Применение метода электрохимической импедансной спектроскопии для оценки состояния поверхности при различных стадиях питтинговой коррозии позволяет определить изменение значений электрических параметров эквивалентной схемы для установления механизма процесса питтинговой коррозии [3, 4]. Цель работы заключалась в исследовании кинетики процесса питтинговой коррозии для стали 10Х17Н13М2Т в растворе 0,1 моль/л NaCl методом электрохимической импедансной спектроскопии на основе определения значений электрических параметров эквивалентной схемы.

В динамике развития питтинговой коррозии при анодной поляризации выделяют три стадии коррозионного разрушения. На первой стадии наблюдается резкое возрастание количества метастабильных питтингов вследствие того, что большая часть площади поверхности на начальном этапе является пассивной. На второй стадии наблюдается динамическое равновесие процессов зарождения и пассивации питтингов. На третьей – в процессе коррозионного разрушения участвуют стабильные питтинги, при этом динамическое равновесие между зарождающимися и пассивирующимися питтингами сохраняется, но общее количество метастабильных питтингов на поверхности уменьшается в связи с уменьшением площади поверхности на которой питтинги могут зарождаться и пассивироваться.

Для определения значений электрических параметров состояния поверхности при различных стадиях питтинговой коррозии методом электрохимической импедансной спектроскопии предложено смещать значение потенциала в пределах дополнительного потенциодинамического базиса питтингостойкости, т.к. потенциодинамический потенциал питтингообразования наиболее чувствителен к изменениям состояния поверхности по сравнению с другими характеристическими потенциалами.

Импедансная диаграмма для стали 10Х17Н13М2Т состоит из ряда импедансных спектров, каждый из которых оценивался для соответствующего смещения потенциала. Годограф импеданса, соответствующий пассивному состоянию, принимает форму прямых линий, расположенных под углом к действительным осям импеданса. Импедансные спектры отражают процесс роста метастабильных питтингов, а различие форм импедансных спектров вызвано тем, что рост питтингов сопровождается увеличением скорости процесса коррозии внутри них. Импедансные спектры в области развития стабильных питтингов принимают форму полукругов.

Для описания поведения системы на границе пассивного и локально-активного состояния поверхности, согласно литературным данным [4] выбрана электрическая эквивалентная схема. Она включает в себя совокупность элементов, отражающих наличие пассивной поверхности электрода вне питтингов и активной поверхности внутри развивающихся питтингов. Пробой пассивной пленки приводит к началу растворению металла, и эквивалентная схема отражает фарадеевские процессы, связанные с питтинговой коррозией. Для оценки схемы на ее пригодность для моделирования экспериментальных спектров импеданса использовали рассчитанный критерий $\chi^2 = 1{,}125 \cdot 10^{-5}$. Исходя из условия $\chi_{кр}^2 < 10^{-3}$ эквивалентную схему можно считать удовлетворительной.

Таким образом, по результатам исследования определены электрохимические параметры эквивалентной схемы – сопротивление раствора; емкость двойного электрического слоя; постоянный фазовый элемент; сопротивление переноса заряда; сопротивление пассивной пленки. Установлены зависимости их изменения от потенциала в пределах потенциодинамического базиса питтингостойкости. Динамика перехода из пассивного состояния в состояние роста устойчивого питтинга подтверждается результатами металлографических исследований поверхности стали.

Библиографический список

1. Darowicki, K. Evaluation of pitting corrosion by means of dynamic electrochemical impedance spectroscopy / K. Darowicki, S. Krakowiak, P. Ślepski // Electrochim. Acta. – 2004. – V. 49. – No. 17–18. – P. 2909–2913.

2. Amin, M.A. AC and DC studies of the pitting corrosion of Al in perchlorate solutions / M.A. Amin, S.S. Abd El Rehin, E.F.El Sherbini // Electrochim. Acta. – 2006. – V. 51. – No. 22. – P. 4754–4761.

3. Jia, Z. Study on pitting process of 316L stainless steel by means of staircase potential electrochemical impedance spectroscopy / Z. Jia, C. Du, C. Li, Z. Yi, X. Li // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. – 2011. – V. 18. – № 1. – P. 48–54.

4. Kocijan, A. Electrochemical and XPS studies of the passive film formed on stainless steels in borate buffer and chloride solutions / A. Kocijan, Č. Donik, M. Jenko // Corros. Sci. – 2007. – V. 49. – № 5. – P. 2083–2094.

УДК 678.742.3

СВОЙСТВА МАСЛОБЕНЗОСТОЙКИХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ СМЕСИ АБС-ПЛАСТИКА С СОПОЛИМЕРОМ БУТАДИЕНА И АКРИЛОНИТРИЛА

Хасанова А. Д., Вольфсон С. И. , Хусаинов А. Д. , Борейко Н. П., Егоров А. С.

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Российская федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса ,72

Структура термоэластопластов (ТЭП) состоит из двух микроскопических фаз, одна из которых обладает низким модулем и легко деформируется, а вторая более жесткая, вследствие чего, она выступает в роли связей между упруго-эластичными зонами. Подобные свойства обуславливают такие механические характеристики ТЭП, при которых появляется возможность изменения этих характеристик таким образом, что упруго-эластичный полимер обретает свойства полимерной жидкости. Жесткая фаза обуславливает возможность полимера переходить в вязкотекучее состояние, что позволяет осуществлять переработку в результате нагрева выше температуры плавления [1]. Термопластичные вулканизаты (ТПВ) представляют собой особый класс ТЭП, полученных путем динамической вулканизации в присутствии вулканизующих систем. Динамическая вулканизация была впервые описана Гесслером, а затем разработана Фишером, Кораном и Пателем, а также Абду-Сабетом и Майклом. Во время динамической вулканизации каучуковая фаза вулканизируется и тонко диспергируется в непрерывной матрице термопласта под усилиями сдвига, и полученные материалы демонстрируют высокие физико-механические свойства и могут многократно перерабатываться и повторно использоваться.

Наибольшее распространение получили ТПВ, производимые на основе смеси полиэтилена или полипропилена с олефиновыми или диеновыми каучуками, бутил каучуком этиленпропилендиеновым каучуком [2]. Однако такие ТПВ имеют низкую стойкость к углеводородам, что в значительной степени сужает их применение в автомобильной промышленности. Проблему низкой маслобензостойкости можно решить заменой неполярного каучука, входящего в их состав, на полярный. Благодаря своей доступности и хорошей стойкости к неполярным жидким углеводородам, для этого подходит такой полярный полимер, как бутадиен-нитрильный каучук. Поскольку кроме каучука значительное влияние на ТПВ оказывает и выбор пластика, представляло интерес оценить свойства ТПВ, полученных с использованием АБС-пластика, поскольку АБС-пластик обладает высокими деформационно-прочностными характеристиками и стойкостью к смазочным материалам, продуктам нефтепереработки, растворам неорганических солей и кислот, щелочи.

В работе исследовано влияние технического углерода модифицированного фуллереном (образец 1), фторированный технический углерод, отличающиеся размером частиц (образец 2 и 3) на свойства

термопластичных вулканизатов на основе бутадиен-нитрильного каучука и АБС-пластика. Образцы модифицированных технического углерода предоставлены компанией ООО «ПКФ Альянс».

Интервал дозировок наполнителей для образцов 1–3 составил 0–7 мас. ч. Для обеспечения равномерного распределения наполнителей время смешения составляло 8 минут. В ходе проведенных физико-механических испытаний было выявлено, что оптимальные свойство ТПВ были получены с использованием образцов 1 и 2, в качестве наполнителей при содержании от 3,0 до 5,0 мас. ч.

Для подтверждения высокой маслобензостойкости материала были проведены испытания ТПВ после выдержки образцов в маторном, гидравлическом и стандартом (СЖР-1) маслах в течение 72 часов при температурах 23 и 120 °С. После выдержки образцы не изменили цвет, вспучивания и трещин на поверхности не наблюдалось. Было выявлено, что разработанные термопластичные вулканизаты с использованием наполнителей 1 и 2, при содержании их 3 мас.ч., сохраняют высокий уровень деформационно-прочностных свойств после воздействия масел.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что введение модифицированных углеродных наполнителей (образец 1 и 2), в дозировке 3 мас.ч., может оказаться перспективным для повышения упруго-прочностных характеристик и эксплуатационных свойств получаемых термопластичных вулканизатов.

Библиографический список

1. Вольфсон С.И. Динамически вулканизованные термоэластопласты: получение, переработка, свойства. – М.: Наука, 2004. – 170 с.

2. П.Г. Баннов, Процессы переработки нефти. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2001. – 415 с.

3. Shishkina N.N., Zakirova L.Yu., Samuilov Ya.D. The effect of adhesive additives on the properties of isoprene rubber. Key Engineering Materials. – V. 816. – Pp. 255–259.

УДК 621.762.4.04

АДСОРБЦИОННЫЕ КРИОГЕННО-ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ С СОРБИРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВ ЦЕОЛИТОВ И МЕДИ

Кузнецов П. А., Просторова А. О., Третьяков В. П., Яковицкая М. В.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Россия, Санкт-Петербург, 195251, ул. Политехническая, д. 29

Развитие криогенно-вакуумной техники обусловлено необходимостью создания технологических устройств, обеспечивающих глубокий безмасляный вакуум, необходимый для реализации тонких химических и физических процессов, в том числе для получения новых материалов, проведения химических реакций в специальных условиях, вакуумного напыления и т.д. Криогенные вакуумные насосы, выполняющие указанные задачи, работают на принципе адсорбции молекул газов веществами, обладающими высокими сорбирующими свойствами.

В качестве сорбирующих материалов наиболее часто применяются активированные угли, силикагели и цеолиты [1–3]. Для поддержания сорбционных свойств на высоком уровне необходимо обеспечить охлаждение сорбирующего материала, которое осуществляется за счёт отвода тепла от слоя адсорбента через металлическую поверхность, с которой он контактирует, к хладагенту – различным сжиженным газам, например, азоту.

Силикагели и цеолиты, в отличие от углей, не образуют мелкую пыль и не загрязняют вакуумные установки. Кроме того, цеолиты более эффективно, чем другие адсорбенты, поглощают водород и гелий, поэтому являются самой перспективной группой адсорбентов для получения высокого вакуума в криогенных установках. Для повышения теплоотвода используют композиции цеолита и металлических частиц, например, порошков меди.

Эффективность работы криогенно-вакуумного насоса во многом определяется типом сорбирующей системы. Тенденцией в проектировании адсорбционных криогенно-вакуумных насосов является использование более тонких слоев адсорбента, увеличение площади откачивающей поверхности и повышение теплопроводности сорбирующих композиций. При этом для создания оптимальных условий работы адсорбента

требуется уплотнение композиции и напрессовка её на поверхность панели или трубки. Плоские тонкие слои адсорбента эффективно получать прокаткой порошковой композиции. Оптимальное содержание цеолита и медного порошка в композиции обеспечивает расположение частиц адсорбента в порах металлической матрицы, что снижает пылеобразование и повышает теплоотвод. Спекание, необходимое для повышения прочности прокатанных тонких плоских лент, эффективно осуществлять бесконтактным радиационным нагревом.

При проведении опытной прокатки из порошкового композита с 17% порошка силикагеля СаЕ-Т и медного порошка марки ПМС-1 на стане с диаметром валков 250 мм были получены ленты толщиной 1,0 и 2,0 мм с величиной общей пористости 45–51% после спекания радиационным нагревом [3, 4].

Более эффективными, технологичными и перспективными по сравнению с плоскими панелями являются сорбирующие элементы коаксиально-цилиндрической формы. Современные технологии изостатического прессования порошков позволяют напрессовывать порошковые слои толщиной от 2 до 5 мм как на внутреннюю, так и на наружную поверхности втулок в зависимости конкретной конструкции насоса [4]. Трубчатые сорбирующие элементы являются гораздо более технологичными при сборке и эксплуатации насоса, а также более эффективны при теплообмене.

Насосы с коаксиально-цилиндрическими сорбционными элементами обеспечивают скорость откачки – 100–120 $м^3$/с и время выхода насоса на рабочий режим – 80–120 мин. [5]. Результаты проведенных исследований и практических испытаний показали, что адсорбционные криогенно-вакуумные насосы с коаксиально-цилиндрическими сорбционными элементами могут эффективно применяться в криогенно-вакуумных установках большого объёма (например, на вакуумных спектрофотометрах) и обеспечивают безмасляную откачку приборов для спектральных исследований.

Библиографический список

1. Глазков А.А., Саксаганский Г.Л. Вакуум электрофизических установок и комплексов. – М.: Энергоатомиздат. 1985. – 184 с.

2. Хоффман Д., Сингх Б., Дж. Томас III, Справочник по вакуумной технике и технологиям. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2011. – 736 с.

3. Гоциридзе А.В., Кузнецов П.А., Просторова А.О. Адсорбционные криогенно-вакуумные насосы с коаксиально-цилиндрическими сорбционными элементам // Холодильная техника. – 2018. – № 4. – С. 3–4.

4. А.В. Гоциридзе, П.А. Кузнецов, А.О. Просторова, Анализ эффективности адсорбционных криогенно-вакуумных насосов с плоскими сорбирующими элементами на основе порошков цеолитов и меди // Холодильная техника. – 2019. – № 5. – С. 47.

5. Кузнецов П.А., Просторова А.О. Изостатическое прессование коаксиально-цилиндрических сорбционных элементов для криогенно-вакуумных насосов // Холодильная техника. – 2018. – № 5. – С. 3–4.

УДК 678.019.391

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЗИН НА ОСНОВЕ ГИДРИРОВАННЫХ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ СТАРЕНИИ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

Хорова Е. А.[1,2], Мышлявцев А. В.[1]

[1] *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет» (Россия, Омск, пр. Мира, 11)*

[2] *Федеральное государственное унитарное предприятие «Федеральный научно-производственный центр «Прогресс» (Россия, Омск, 5-я Кордная, 4)*

Как известно, работоспособность резинотехнических изделий непосредственно связана со стойкостью резин к старению, при котором они постепенно теряют свои эластические свойства. Изменение свойств резин со временем поддается прогнозированию [1]. К состоянию, соответствующему окончанию заданного срока службы, резины можно привести путем ускоренного термического старения при повышенных температурах.

Целью данного исследования явилась оценка технического ресурса работы изделий, в частности резинокордных оболочек (РКО), путем прогнозирования изменения свойств резин в процессе термического

старения на воздухе и в моторном масле М-14В$_2$ [2] в соответствии с требованиями ГОСТ 9.713 [3], ГОСТ 9.024 [4] и методикой [5]. Продолжительность старения образцов составляла 77 суток при температурах 110, 125, 150 °С.

В качестве объектов исследования использовали резиновые смеси на основе комбинации частично и полностью гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков (ГБНК) торговых марок Therban AT 5065 VP и Therban AT 5005 VP (Германия), взятых в различных соотношениях. Резиновая смесь на основе 100 мас. ч. ГБНК Therban AT 5065 VP принята за базовую. Выбор каучуков, рабочих сред и температурно-временного режима сделан, исходя из специфики работы РКО.

Проанализированы результаты изменения условного напряжения при 300 %-ном удлинении, условной прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве в процессе старения. Сохранение эластичности резин оценивали по величине относительного удлинения (ε_p), которое, монотонно изменяясь в ходе эксперимента, более других подходит в качестве характерного показателя старения резин и приведения их к состаренному состоянию, соответствующему окончанию срока службы изделия.

На рисунке 1 представлены совмещенные кривые резин, полученные в результате обработки данных изменения показателя ε_p в соответствии с ГОСТ 9.713. По совмещенным кривым определяли продолжительность старения резин при максимально допустимой температуре 150 ºС до критического значения ε_p, равного 100 %, ниже которого резина теряет эластические свойства (таблица 1).

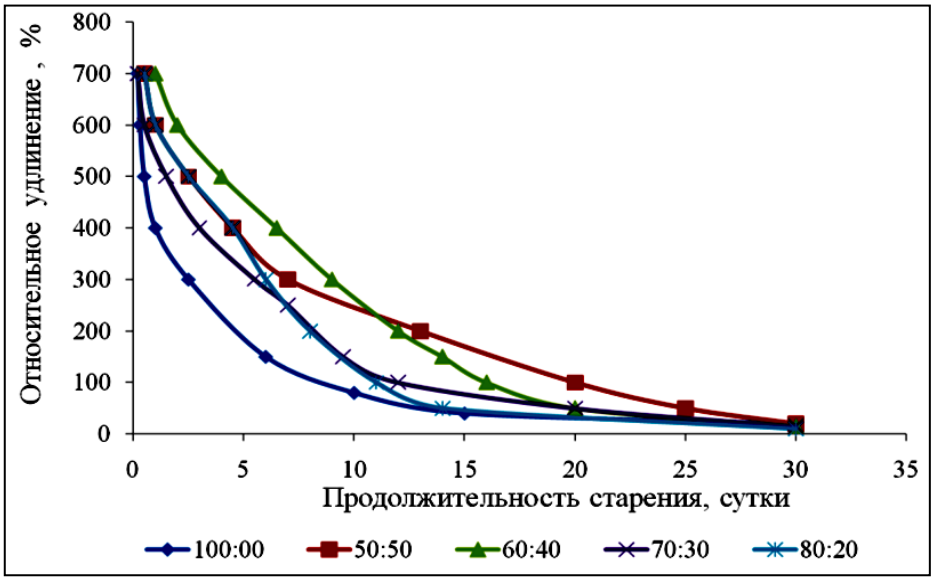


Рис. 1. Совмещенные прогнозирующие кривые резин на основе ГБНК

Таблица 1. Расчет продолжительности старения резин по величине ε_p

Соотношение каучуков Therban AT 5065 VP : Therban AT 5005 VP	Критическое значение относительного удлинения при разрыве, %	Продолжительность старения резин при 150 ºС, сутки
100:0	100	10
80:20		11
70:30		12
60:40		16
50:50		20

Для подтверждения работоспособности РКО по методике [5] произведен расчет срока службы резин по критическому значению ε_p (100 %) На основании заданной температурной модели эксплуатации изделия определена среднеэффективная температура (70 ºС), воздействующая на резины РКО. Исходя из расчетных данных, срок службы РКО в условиях термического старения на воздухе и в масле возрастает по мере увеличения в резине доли высоконасыщенного Therban AT 5005 VP с 20,81 (100:0) до 25,12 лет (80:20); 26,50 лет (70:30); 28,50 лет (60:40); 32,40 лет (50:50).

Представленные результаты прогнозирующих расчетов по методам [3] и [5] доказывают, что резина с соотношением 50:50 имеет наибольший срок службы.

Библиографический список

1. Кузьминский, А.С. Метод ускоренного определения гарантийных сроков хранения резин / А.С. Кузьминский, Л.И. Любчанская, Т.Г. Дегтева и др. // Каучук и резина. – 1963. – № 4. – С. 17–20.

2. ГОСТ 12337-84. Масло моторное для дизельных двигателей. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2009.

3. ГОСТ 9.713-86. Резины. Метод прогнозирования изменения свойств при термическом старении. – М.: Изд. Стандартов, 1987.

4. ГОСТ 9.024-74. Резины. Методы испытаний на стойкость к термическому старению. – М.: Изд. Стандартов, 1989.

5. Методика № Р-08-71-11/36-2017 ускоренного старения для имитации срока службы резинокордных оболочек и уплотнительных резинотехнических изделий. – Омск, 2017.

УДК 661.666.4

ВЛИЯНИЕ СВЕРХЭЛЕКТРОПРОВОДНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОДА СУПЕРКОНДЕНСАТОРА

Резанов И. В., Суровикин Ю. В., Лавренов А. В.

Центр новых химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (Омский филиал), Россия, г. Омск, ул. Нефтезаводская, 54

На сегодняшний день темпы развития различных электрохимических систем получения и хранения электроэнергии продолжают сохранять высокий уровень. И связано это не только с основными драйверами технологического прогресса, повышением комфорта жизни человечества, но и с развитием альтернативных источников энергии [1].

Одним из перспективных альтернативных источников энергии является конденсатор двойного электрического слоя (суперконденсатор) [2]. В настоящее время суперконденсаторы (СК) используют в целом ряде приложений, и следует отметить такие направления, в которых СК уже используют в качестве основных элементов э/питания: при разработке микро электроники, термогенераторов, развитие систем беспроводной передачи мощности, в том радиомаяки (RFID – метки), балансировка импульсных нагрузок в «MicroGrid», создание сверхнизкопотребляющих микросхем, интернет вещей и т.д.

Особой задачей при разработке СК является подбор материалов для изготовления электродов с целью создания оптимального двойного электрического слоя. Одним из важных требований к материалам электродов являются требования к параметрам пористой структуры углеродных компонентов. Причем эти требования для СК в зависимости от размерного фактора – соотношения размеров пор и размера катионов и анионов могут существенно отличаться [3]. Кроме оптимизации пористой структуры активного углеродного материала важен тщательный подбор компонентов электрода, их глубокая очистка и разработка методов нанесения на токовый коллектор. Применение токопроводящего наполнителя обуславливает высокую проводимость электродного материала и минимальное внутреннее сопротивление суперконденсатора.

Повышенный интерес к применению в качестве компонентов электрода представляет наноразмерный технический углерод (ТУ), электропроводные свойства которого возможно изменять в широком диапазоне в условиях воздействия различных реакционных сред [4].

В настоящей работе в качестве компонентов активной массы электрода ячейки СК использовали активный уголь Norit DLC Supra 30, а также ТУ марки Printex XE2-B и экспериментальные образцы сверхэлектропроводного ТУ, полученные термогазохимической обработкой ТУ марки N115 и ПО водяным паром при температуре 900^{o}C. Была проведена сравнительная оценка электрохимических свойств (емкость и электросопротивление) применения экспериментальных образцов сверхэлектропроводящего ТУ в качестве активного и токопроводящего компонентов. Установлено оптимальное содержание и показана перспектива их применения в составе активной массы электрода суперконденсатора.

Исследования проведены с использованием приборной базы ЦКП Национальный центр исследования катализаторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации прикладных научных исследований (уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI60419X0228).

Библиографический список

1. Калимуллин Л.В., Левченко Д.К., Смирнова Ю.Б., Тузикова Е.С. Приоритетные направления, ключевые технологии и сценарии развития систем накопления энергии // Вестник ИГЭУ. – 2019. – № 1. – С. 42–52.

2. Груздев А.И. Состояния и перспективы развития производства высокотехнологичных автономных источников электрической энергии // Электрохимическая энергетика. – 2015. – № 6. – С. 3–29.

3. Surovikin Yu.V. Carbon Nanocomposites for Electrochemical Capacitors // Procedia Engineering. – 2015. – V. 113. – P. 511–518.

4. Суровикин Ю.В., Шайтанов А.Г., Резанов И.В., Сырьева А.В. Термогазохимическая модификация технического углерода: структура и свойства // Технологическое горение: коллективная монография / под общ. ред. акад. С.М. Алдошина, чл.-корр. РАН М.И. Алымова. Гл. 7. – М.: Изд-во РАН, 2018. – С. 161.

УДК 621.791.3/.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ПРОЦЕССЕ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ С ТЕРМИЧЕСКИМИ ЦИКЛАМИ СВАРКИ

Сараев Ю. Н.[1], Нестерук Д. А.[2], Семенчук В. М.[1], Непомнящий А. С.[2, 1]

[1] *Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, г. Томск*

[2] *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

Цель работы: установление взаимосвязи между характеристиками тепломассопереноса в процессе дуговой сварки плавящимся электродом и термических циклов сварки.

Более высокая экономичность оборудования нефтехимического производства может быть обеспечена путем повышения рабочих параметров технологического процесса и увеличения единичной мощности агрегатов. В связи с этим, в нефтехимическом машиностроении используется большое количество специальных сталей и сплавов. Основным способом производства конструкций из таких сталей является сварка. В то же время, получение надежных сварных конструкций с высокими эксплуатационными характеристиками является актуальной задачей.

Эксплуатационные показатели сварных соединений в значительной степени зависят от условий формирования неразъемного соединения, а именно, от процесса плавления материала, кристаллизации расплава, а также формирования напряжений и деформаций. Все перечисленные стадии формирования неразъемных соединений непосредственно связаны с характеристиками тепломассопереноса, которые оказывают доминирующее влияние на процессы структурно-фазовых превращений и, в конечном итоге, определяют эксплуатационные показатели металлоконструкций в целом [1].

Одним из путей, позволяющим снизить уровень остаточных напряжений, связан с уменьшением теплосодержания сварочной ванны и повышением скорости ее кристаллизации, что может быть достигнуто с применением источников питания с высокими динамическими свойствами [2]. Оценить их влияние на процессы формирования неразъемных соединений можно путем анализа тепловых полей, однако, имеющихся примеров использования для указанной цели специального тепло регистрирующего оборудования, не достаточно для систематизации получаемых результатов.

Перспективным инструментом в оценке соблюдения технологий металлургических процессов при сварке изделий является дистанционная регистрация температуры их поверхностей при помощи тепловизионной аппаратуры [3]. При этом, область регистрации температурного поля охватывает зону протекания металлургических процессов в сварочной ванне, зону формирования структуры металла шва, а также зоны термического влияния, прилегающие к сварному шву.

Реализация данного типа контроля в процессе формирования сварного шва позволяет корректировать технологические параметры в зависимости от показателей температурного поля, а также выявлять потенциально дефектные участки, которые характеризуются тепловыми аномалиями. В данном случае это

превышение установленных для конкретного изделия допусков критических параметров температурного поля, а именно, максимальной температуры расплава, ширины области температурного влияния и формы температурного профиля вдоль сварного шва. Вышеотмеченные аномалии можно оценить путем анализа кривых термических циклов сварки непосредственно определяемых при обработке тепловых полей, фиксируемых в процессе технологического эксперимента [4].

Комплекс взаимосвязанных характеристик тепломассопереноса в процессе дуговой сварки плавящимся электродом и термических циклов сварки, определяет напряженно-деформированное состояние сварных соединений, структуру и механические характеристики. Наиболее эффективным приемом определения вышеуказанной взаимосвязи может быть синхронная регистрация характеристик тепломассопереноса, совмещенная с регистрацией температурных полей с помощью тепловизора, работающего в узком спектральном диапазоне ближнего инфракрасного излучения. Выполненная верификация качества сварного соединения на основе микроструктурного анализа поперечного сечения сварного шва, полностью подтвердила эффективность выбранного направления исследований.

Исследования выполнены за счет средств проекта РНФ №16-19-10010П.

Библиографический список

1. Кархин В. А. Тепловые процессы при сварке. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Изд. Политехн. университета, 2015. – 572 с.

2. Лоос А.В., Лукутин А.В., Сараев Ю.Н. Источники питания для импульсных электротехнологических процессов. – Томск: Издательская полиграфическая фирма ТПУ, 1998. – 159 с.

3. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и неразрушающий контроль. – М.: Спектр, 2013. – 547 с.

4. Сараев Ю.Н., Гордынец А.С., Семенчук В.М., Непомнящий А.С. Кинетические особенности тепломассопереноса в условиях сварки и наплавки // Физика. – 2019. – № 9. – С. 34–40.

Секция 5

МОНИТОРИНГ, ДИАГНОСТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ

УДК 504.064

АВТОМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ОБЪЕКТАХ

Васина М. В., Нор П. Е., Костыря А. Н.

Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11

Наибольшему негативному воздействию компоненты окружающей природной среды подвергаются при освоении и эксплуатации нефтегазопромысловых месторождений. Целью данной работы являлась разработка автоматических систем контроля розливов нефти и нефтепродуктов на почву и грунт на территориях нефтедобывающих объектов, а также контроль выбросов загрязняющих веществ на факельных системах на месторождении..

При разгерметизации оборудования и трубопроводов для быстрого и точного обнаружения розлива в реальном времени предлагается использовать наилучшую технологию, которой является система TraceTek – комплекс, позволяющий оперативно определить точное место, а также существенно сократить объем возможных потерь нефтепродуктов [1].

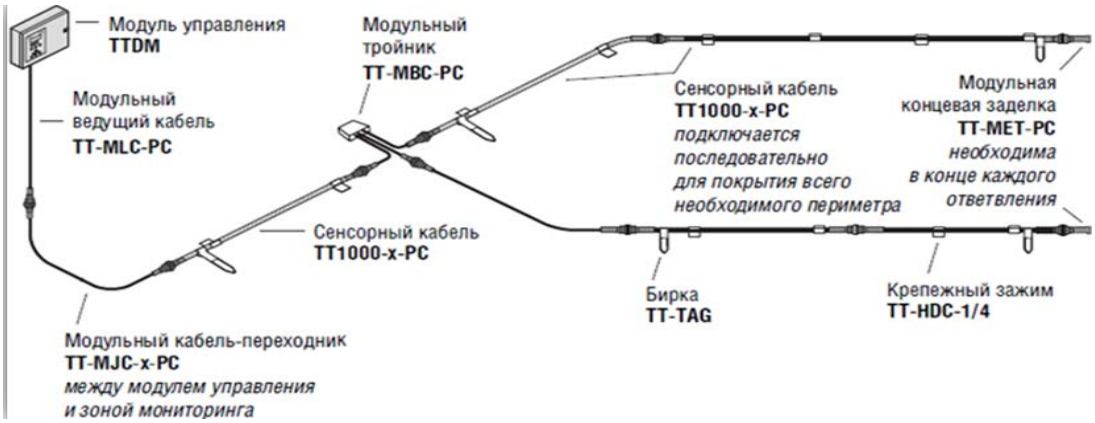


Рис. 1. Автоматическая система контроля розлива нефтепродукта в почву

Автоматическая система розлива нефти (рис. 1) состоит из сенсорного кабеля TraceTek TT5000-HS и модуля управления TTDM. Такой кабель позволяет обнаружить утечки жидких углеводородов в любых точках вдоль всей длины и при этом не реагирует на воду. Сенсорный кабель используется в поливинихлоридном кабелепроводе с внешним слоем из полиэтиленовых волокон, изготовленный из тысяч отдельных нитей, что способствует увеличению предела тяговой силы до 100 кг, делает кабель гибким, но в тоже время устойчивым к перегибам и трению. Внедрение такого комплекса позволит сократить время обнаружение утечек в 120 раз, а объемы потерянного продукта в 10 раз.

На центральном пункте сбора нефти (ЦПС) источником негативного воздействия на атмосферный воздух являются факела, на которых проводится сжигание попутного нефтяного газа (ПНГ) [2]. Для контроля выбросов в атмосферный воздух и управления технологическими процессами с целью контроля и минимизации выбросов при сжигании газа на факельных установках предлагается автоматическая система контроля промышленных выбросов (АСКПВ), представленная на рисунке 2.

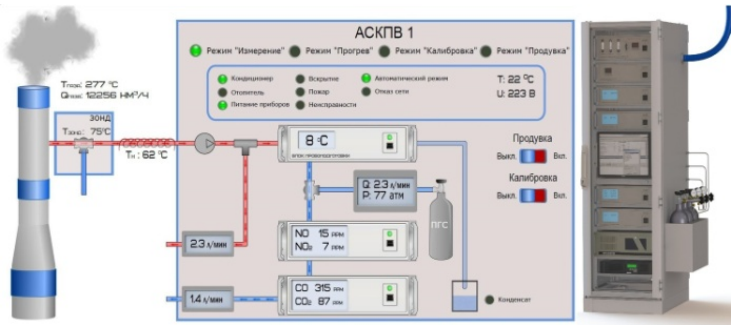


Рис. 2. Автоматическая система контроля промышленных выбросов (АСКПВ)

Данная система предназначена для непрерывного автоматического измерения массовых (или объемных) концентраций загрязняющих веществ, расхода, температуры и влажности газовоздушных смесей, отводимых через стационарные организованные источники выбросов. Функционал АСКПВ обеспечивает создание первичной базы данных, статистическую обработку и визуализацию информации, расчет мощности выброса (г/с).

Таким образом, рассчитанные объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, при сжигании ПНГ на факельных системах, а также объёмы проливов нефти и нефтепродукта происходящие при транспортировке нефти, доказывают, значительное влияние данных процессов на состояние окружающей среды. В том числе увеличивается и количество выбрасываемых парниковых газов на территории РФ от месторождений нефти и газа. Для оперативного реагирования на аварийные ситуации, для минимизации воздействия на природные объекты на ЦПС должен быть осуществлен автоматический контроль за выбросами дымовых газов и розливов нефти и нефтепродуктов.

Библиографический список

1. В.Ф. Данилов, Шурыгин. Система автоматизированного обнаружения утечек нефтепродуктов // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 11. – С. 63–67.

2. Т.И. Дроздова, Р.Н. Суковатиков. Экологический риск от выбросов загрязняющих веществ при сжигании попутного нефтяного газа нефтегазоконденсатного месторождения // XXI век. Техносферная безопасность. – 2017. – Т. 2. – № 3. – С. 88–101.

УДК 543.38

ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД УГЛЕВОДОРОДАМИ

Вершинин В. И.

Омский государственный университет им Ф. М. Достоевского, Россия, Омск, пр. Мира, 55а

Приблизительной оценкой суммарного содержания УВ в природных и сточных водах (c_Σ) служит интегральный показатель «нефтепродукты» (НП). Найденные по стандартным методикам значения НП (c*), выраженные в пересчете на стандартное вещество $X_{ст}$, сопоставляют с природоохранными нормативами (ПДК, ОБУВ). Лучшей считают методику [1], основанную на применении многоволновой ИК-спектрометрии, но даже в этом случае погрешности имеют систематический характер, иногда достигая 80% отн. [2]. Основная причина появления погрешностей - внутригрупповая селективность сигналов. А именно, сигналы разных УВ (например, алканов и аренов) в одних и тех же условиях измеряются с существенно разной чувствительностью, а соотношение концентраций этих УВ в пробе может сильно отличаться от их соотношения в стандартной смеси. Найденные по таким методикам значения c* нельзя сравнивать с нормативными значениями c_Σ, их нельзя применять в качестве абсолютных оценок загрязнения водоемов, поскольку это может привести к ошибочным выводам и неправильным техническим решениям.

В последние годы в ОмГУ разработан способ интервальной оценки суммарного содержания любых однотипных аналитов [3]. Он учитывает внутригрупповую селективность сигналов и не предполагает выражения результата анализа в пересчете на $X_{ст}$. Информация о природе и соотношении компонентов единичной пробы (например, разных УВ) также не требуется. Способ применим, если: 1) искомая группа включает однотипные аналиты X_1, X_2, X_3 …. X_m, участвующие в формировании обобщенного сигнала A_Σ; 2) A_Σ линейно зависит от концентрации каждого X_i, является аддитивной величиной и не создается другими компонентами; 3) для всех X_i известны коэффициенты чувствительности, $0 < K_1 \le K_2 \le \ldots \le K_m$; 4) $X_{ст}$ определяется по той же методике, причем $K_1 \le K_{ст} \le K_m$; 5) погрешности анализа, вызванные всеми факторами, кроме различий в чувствительности определения аналитов, пренебрежимо малы. В рамках данной модели легко выводятся искомые равносильные неравенства для интервальной оценки c_Σ. А именно:

$$\frac{A_\Sigma}{K_m} \le c_\Sigma \le \frac{A_\Sigma}{K_1}; \quad (1)$$

$$\frac{c^* K_{ст}}{K_m} \le c_\Sigma \le \frac{c^* K_{ст}}{K_1}. \quad (2)$$

Величина Δc – ширина интервала возможных значений c_Σ – объективно характеризует систематическую составляющую общей неопределенности результата анализа, не зависит от выбора $X_{ст}$ и обращается в 0 при одинаковой чувствительности определения всех X_i. На практике Δc значительно превышает ширину доверительных интервалов, вычисленных с учетом случайных погрешностей по традиционным алгоритмам Стьюдента и Лапласа. Правильность оценок c_Σ по (1) или (2) была ранее подтверждена в ходе анализа модельных смесей разного типа (углеводы, фенольные токсиканты, фенольные антиоксиданты и др.). В ходе проверки применяли разные способы измерения сигналов. Оказалось, что достаточно узкие оценки суммарного содержания аналитов ($\Delta c < 0{,}5\ c^*$) можно получить, если $1 < K_m/K_1 < 1{,}3$. В других случаях неопределенность интервальных оценок слишком велика.

Изложенный алгоритм был применен для объективной оценки углеводородного загрязнения вод Омского региона. При этом использовали разные варианты ИК- и УФ-спектрометрии. В докладе будет описана методика анализа и приведены интервальные оценки содержания УВ в природных и сточных водах. Примером может быть таблица 1.

Таблица 1. Интервальные оценки содержания УВ в сточных водах машиностроительных (M_1, M_2) и нефтехимического (НХ) предприятий по методике [4]. Расчеты по Стьюденту (слева) и по новому алгоритму (справа)

Тип воды	Результаты анализа (мг/л)	
	c^* (в пересчете на смесь Симарда)	c_Σ
Неочищенная, M_1	6,89 ± 0,09	5,8–8,7
Неочищенная, M_2	4,32 ± 0,06	3,6–5,4
Очищенная, НХ	1,02 ± 0,06	0,8–1,3
Очищенная, M_1	0,08 ± 0,02	0,07–0,10

Библиографический список

1. ГОСТ 51797-2001. Вода питьевая. Метод определения содержания нефтепродуктов. – М.: Госиздат России. – 15 с.

2. В.И. Вершинин. Определение суммарного содержания однотипных веществ (теория интегральных показателей). – Омск: ОмГУ, 2016. – 288 с.

3. V.I. Vershinin, N.A. Isachenko, N.S. Brilenok. Methodology of analysis of unseparated mixtures: Interval estimates of the total concentrations of similar analytes // J. Anal. Chem. – 2016. – V. 71(4) – P. 351–358.

4. V.I. Vershinin, S.V. Petrov. The estimation of total petroleum hydrocarbons in waste waters by multiwave IR spectrometry with multivariate calibrations / Talanta. – 2016. – V. 148. – P. 163–169.

УДК 66.011

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТЫ УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА БЕНЗИНОВОЙ ФРАКЦИИ НА КАТАЛИЗАТОРЕ R-264 В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

Власова Л. А.[1], Дюсембаева А. А.[2]

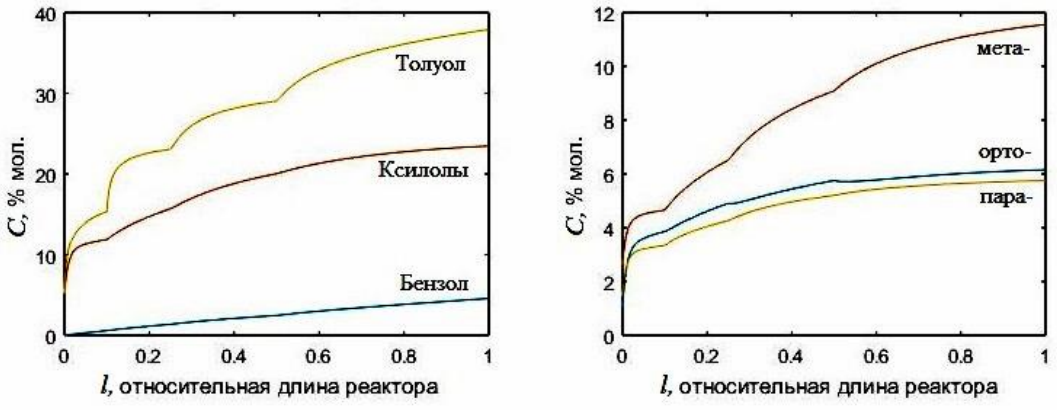
[1] *ОмГТУ, г. Омск, Мира 11*
[2] *ОмГУ им. Ф. М. Достоевского, г. Омск, Мира, 55а*

В процессе моделирования каталитического риформинга важно адекватно прогнозировать не только суммарное содержание ароматических углеводородов в платформате, но и выход индивидуальных углеводородов, имеющих разное практическое значение в промышленности. Целью работы является кинетическое моделирование процесса риформинга на катализаторе R-264 в нестационарных условиях с учетом кинетики превращений индивидуальных ксилолов на основе ранее разработанной схемы превращения углеводородов C_6–C_8 Островского [1].

В существующую схему превращения агрегированных компонентов [2] было добавлено 15 реакций дегидрирования и гидрокрекинга орто-, мета-, пара-ксилолов.

Моделирование проводилось в программе MATLAB в среде GNU Octave. Поиск констант скоростей и энергий активации прямых реакций осуществлялся через квадратичную функцию оптимизации. В результате

решения обратной задачи кинетики получены значения констант скоростей и энергий активации реакций углеводородов C_6–C_8. Концентрационные профили для всех ароматических углеводородов представлены на рис. 1. Относительная погрешность прогноза не превышает 5 %, что удовлетворяет требованиям адекватности модели. Для орто-, мета- и пара-ксилола она равна соответственно 2.9, 5.0 и 4.5 % (мол.).



а *б*

Рис. 1. Выход ароматических углеводородов:
а – бензола, толуола, ксилолов; б – индивидуальных ксилолов

Компьютерный эксперимент по оценке влияния технологических параметров на концентрацию ксилолов в платформате показал, что в температурном интервале 763–783 К доля ксилолов увеличивается с ростом давления и уменьшением кратности циркуляции ВСГ, причем в большей степени это характерно для мета-ксилола. Снижение доли ксилолов наблюдается при увеличении объемной скорости подачи сырья.

Для учета дезактивации катализатора уравнения материального и теплового балансов дополняются уравнениями, описывающими кинетику дезактивации металлических и кислотных центров катализатора (1).

$$\frac{da_x}{dq} = -k_{dx}^{*} P_{N_5}^{2} \frac{a_x - a_{xs}}{1 - a_{xs}}, \qquad \frac{da_z}{dq} = -k_{dz} P_{N_5} a_z, \tag{1}$$

где a_x, a_z – относительные активности металлических и кислотных центров; a_{xs} – стационарная активность металлических центров; q – количество переработанного сырья; P_{N5} – парциальное давление N_5–нафтенов.

Произведен расчет константы скорости дезактивации металлических центров по данным мониторинга активности катализатора за цикл относительно реакций N_6–нафтенов, для которых дезактивация наиболее выражена [3]. Решением правых частей уравнений с учетом изменяющейся активности катализатора найдена константа скорости дезактивации кислотных центров. В ходе программного решения по нестационарной модели получены значения кинетических параметров дезактивации (табл. 1).

Таблица 1. Значения кинетических параметров дезактивации

Параметры дезактивации	Металлический центр	Кислотный центр
Константа скорости, $ч^{-1}$	0,146±0,008	0,0103±0,0007
Энергия активации, ккал/моль	28	34

Таким образом, построена нестационарная модель превращения компонентов C_6–C_8 с учетом дезактивации металлических и кислотных центров катализатора R-264 и определены кинетические параметры дезактивации. Относительная погрешность модели не превышает 5,5 %.

Библиографический список

1. А. А. Джунусова, Н. М. Островский, Двухуровневая модель риформинга // Химическая технология. – 2003. – № 9. – С. 37–41.

2. А. А. Дюсембаева, Физико-химические аспекты моделирования риформинга с учетом дезактивации катализатора при разных уровнях агрегирования компонентов: дисс. канд. хим. наук. Омский гос. тех. университет. – Омск, 2017.

3. Н.М. Островский. Кинетика дезактивации катализаторов. Математические модели и их применение / Н.М. Островский. – М.: Наука, 2001. – 334 с.

УДК 622.691.4

МОНИТОРИНГ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ

Голик В. В.[1], Земенков Ю. Д.[1], Гладенко А. А.[2]

[1] *Тюменский индустриальный университет, Володарского 38, Тюмень, 625000, Россия*
[2] *Омский государственный технический университет, 11, Пр. Мира, г. Омск, 644050, Россия*

Целью работы является разработка технологии долгосрочного прогнозирования термодинамических параметров грунтов и многослойных трубопроводов при строительстве и эксплуатации в условиях Арктики.

Изучение силового влияния морозного пучения грунтов на действующий трубопровод связано с промерзанием грунтов – сложным процессом, зависящим от тепломассообмена в мерзлом и талом грунте, характера фазового перехода и химических превращений, от возможного изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива (талого и мерзлого) с последующим структурным изменением.

Наиболее полной математической моделью процессов промерзания и оттаивания влажных грунтов в рамках сплошной среды является задача Стефана [1]. Наличие подвижных границ раздела зон с различными агрегатными состояниями поровой влаги в грунте, закон перемещения которых заранее неизвестен, ставит задачу Стефана в ряд с самыми сложными нелинейными задачами математической физики. С учётом вышеописанных условий расчётная модель процесса распределения тепла вокруг подземного нефтепровода представлена на Рис 1.

Для дальнейшего решения применялись универсальная программа конечно-элементного моделирования и продукты семейства Autodesk, как AutoCAD, и встроенные пакеты САПР (средства автоматизированного проектирования и черчения). На первом этапе производилось двумерное и трёхмерное моделирование нужного участка нефтепровода с грунтом [2].

Второй этап выполняется после окончательной проработки трехмерной модели, математическое моделирование при условии, что большая часть требуемых параметров нам известна. В настоящее время моделирование тепловых процессов максимально приближенных к реальным условиям обеспечивает универсальная программная система конечно-элементного моделирования – ANSYS.

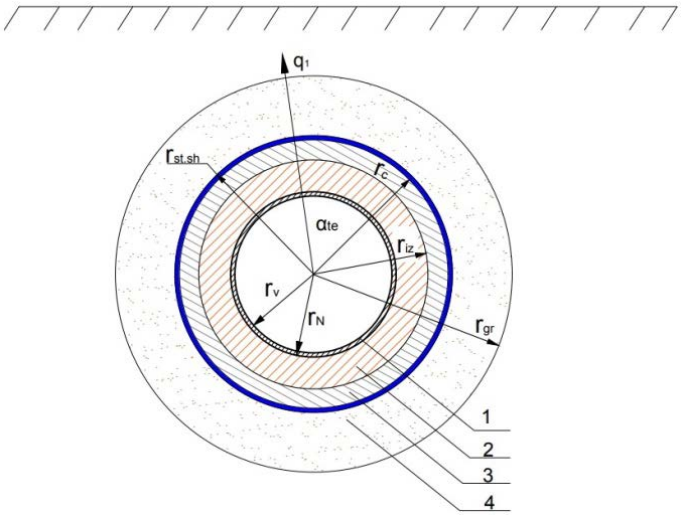


Рис. 1. Расчётная модель теплового взаимодействия подземного нефтепровода в многолетнемерзлых грунтах: 1 – стальная труба; 2 – теплоизоляция ППУ; 3 – наномодифицированное бетонное покрытие; 4 – многолетнемерзлый грунт

Для проверки выходных данных и ускорения расчётов авторским коллективом был разработан программный блок на базе Visual Basic for Applications (VBA) [3].

Проверочные расчёты математической модели и ANSYS проводились в VBA, в блоке были заданы граничные условия соответствующие информации полученной с предприятий. С целью увеличения точности расчета, произведена аппроксимация функции смены температуры на поверхности грунта, при помощи программного комплекса MATLAB [4].

Разработанная математическая модель включает в себя большое количество переменных, в том числе коэффициенты, разработанные авторским коллективом под руководством профессора Б.В. Моисеева позволяющих наиболее точно описать процессы, протекающие в системе «труба-грунт» на достаточно продолжительном промежутке времени.

Библиографический список

1. СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 (с Изменениями N 1, 2).

2. M. Zemenkova, Methodology of Monitoring of Hydrocarbon Transportation Hydraulic Reliability. Advances in Intelligent Systems and Computing 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-70987-1_72.

3. M.Y. Zemenkova, U. Shastunova, A. Shabarov, A. Kislitsyn, A. Shuvaev, Physical and mathematical modeling of process of frozen ground thawing under hot tank. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018. DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/357/1/012007.

4. M. Zemenkova, Yu. Zemenkov, A. Gladenko, S. Podorozhnikov,. Estimation of Emissions During Monitoring of Pipelines in the Dynamic Mode of Operation. MATEC Web Conf. 2016. https://doi.org/10.1051/matecconf/20168604053

УДК 621.314.1

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК

Дёмко А. И., Семенов О. Ю.

Научно-Образовательный Центр Политехнического института
Сургутского государственного университета
ХМАО-Югры, Россия, г. Сургут, ул. Энергетиков, 22

Бурное развитие электроники, а в особенности быстродействующих энергоэкономичных микроконтроллеров способствует развитию новых алгоритмов работы привычных устройств электронной аппаратуры. Разрабатывается и выпускается много приборов бытового и промышленного назначения с автономным питанием. Длительную бесперебойную работу (от нескольких дней до нескольких лет) таких устройств должны обеспечивать автономные источники [1] питания (АИП).

Современные АИП, кроме их непосредственного назначения – формирования питающего напряжения с заданными параметрами (номинальным напряжением и максимальным током), могут реализовывать дополнительные возможности, перечень которых определяется назначением и областью применения АИП.

Для автономных промышленных метрологических устройств (уровнемеров, газосигнализаторов, охранных систем) АИП [2] должен обеспечивать длительную безотказную работу в широком температурном диапазоне. При этом параметры АИП определяются назначением и областью применения основного прибора: величина и нестабильность напряжения, величина и характер изменения тока нагрузки, КПД, наличие и набор сервисных возможностей. Для минимизации массогабаритных показателей при высокой надёжности целесообразно использование солнечных батарей и накопителей энергии (аккумуляторов и ионисторов) [3–4]. Алгоритм функционирования АИП может предусматривать возможности удалённого управления и получения информации, как о текущих параметрах электропитания, так и о прогнозе оставшегося ресурса, что реализуется микроконтроллерами, выполняющими измерение, управление, хранение и передачу информации о параметрах электропитания на центральный пункт [5–6].

Разработанный АИП для автономных метрологических приборов нефтегазовой отрасли [7] имеет следующие эксплуатационные параметры:

– выходное напряжение – 3,3 В +0%, –5%;

– средний ток нагрузки – 2 мА;

– импульсный ток нагрузки – 100 мА;

– рабочий диапазон температур от –40°С до +60°С;

– срок эксплуатации – не менее 5 лет.

Источник питания может использоваться для работы в пожаро- и взрывоопасных условиях. Длительная работа обеспечивается использованием энергии солнечных батарей, батарей, аккумуляторов и ионисторов с возможностью считывания информация о прогнозе ресурса работы.

Приведены результаты выполнения проекта «Комплект приборов для экологического мониторинга и нефтегазового комплекса», поддержанного Департаментом образования и молодёжной политики ХМАО – Югры.

Библиографический список

1. А.И. Дёмко, С.А. Радомский, Автономный источник питания с длительным временем работы / Международная конференция «Математика и информационные технологии в нефтегазовом комплексе». – Сургут, 2016. – С. 194–196.

2. Е.Г. Алмазова, А.И. Дёмко, С.А. Радомский, Автономный источник питания многофункционального измерителя уровня / Север России: стратегии и перспективы развития: материалы II Всероссийской научно практической конференции (Сургут, 27 мая 2016 г.). – Сургут: Изд-во СурГУ, 2016. – С. 145–148.

3. А.И.Дёмко, О.Ю Семенов,. Электропитание автономных приборов/ Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы IX Международной научно-технической конференции (Омск, 26–28.02 2019 г.). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2019. – С. 193.

4. М.И.Ганиев, А.И. Дёмко, О.Ю. Семенов, Использование суперконденсаторов в автономных источниках питания / Международный научно-практический семинар «Проблемы повышения энергоэффективности в северных регионах нефтегазовой отрасли России» (Нижневартовск, 4–5 апреля 2019 г.). Изд-во Нижневартовского гос. унив. 2019. – С. 59–64.

5. Пат. 168024 Российская Федерация, МПК H02J 7/35. Интеллектуальный автономный источник питания/ Дёмко А.И., Радомский С.А., Петров Б.А.; заявитель и патентообладатель ООО БИТ. – №20161028/01; заявл. 28.01.2016; опубл. 17.01.2017; Бюл. № 2.

6. Свид. 2019665887 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Встроенная программа для работы микропроцессорного интеллектуального устройства источника питания / А.И. Дёмко, И.А. Дёмко, О.Ю. Семенов; заявитель и правообладатель БУ ВО СурГУ (RU). – №2019662143/69; заявл. 07.10.2019; опубл. 02.12.2019, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

7. А.И. Дёмко, С.А Радомский,. Сеть сбора метрологических данных системы дистанционного контроля параметров жидкости в резервуарах / T Comm Телекоммуникации и транспорт «T Comm — Telecommunications and Transport» magazine. – 2014. – Том 8, № 3. – С. 19–22.

УДК 629.113.004.67

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СМАЗОЧНОЙ СИСТЕМЫ И ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ

Денисов А. С.[1], Гребенников А. С.[1], Гребенников С. А.[1], Снарский С. В.[2], Носов А. О.[3]

[1] *ФГБОУ ВО «Саратовский государственный техническийуниверситет имени Гагарина Ю. А.», Россия, Саратов, Политехническая,77*

[2] *ПАО «КАМАЗ», Россия, Набережные Челны, Автозаводской проспект, 2*

[3] *ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», Россия, Саратов, Театральная пл., 1*

На долю смазочной системы приходится до 15% отказов двигателя, определяющих ресурсные возможности его систем и механизмов [3, 4]. Поэтому разработка методов оценки предела её работоспособности и, связанных с ней элементов двигателей, является актуальным направлением исследований.

Параметры смазочной системы дизеля изменяются как в периоды между заменами масла, так и по сроку эксплуатации [1–7]. Рассмотрим причины их изменения для обоснования способа диагностирования смазочной системы совместно с текущим состоянием цилиндропоршневой группы (ЦПГ) двигателя,

Известно, что максимальная доля (до 70%) подачи масла от насоса прокачивается через подшипники коленчатого вала. Учитывая экспоненциальный вид зависимости увеличения износа S в подшипниках [1] по мере выработки ресурса двигателем, динамика снижения давления P масла в смазочной системе от наработки l при определенном скоростном режиме

$$P = \frac{a}{S_0 e^{b_p l}} = P_0 e^{-b_p l}, \quad (1)$$

где a – коэффициент, учитывающий конструктивный и режимный параметр системы; $P_0 = \frac{a}{S_0}$ – значение давления смазывания в конце этапа приработки механизмов ДВС при структурных зазорах S_0, приведенное к началу эксплуатации ($l = 0$); b_p – коэффициент интенсификации снижения давления на единицу пробега;

С увеличением пробега двигателя из-за износа ЦПГ повышение расхода моторного масла на «угар» также растёт по экспоненциальной зависимости [3]

$$Q = Q_0 e^{bl}, \tag{2}$$

где Q_0 – расход масла на «угар», приведенный к началу эксплуатации; b – коэффициент интенсификации расхода масла на «угар» на единицу пробега,
что приводит к снижению его уровня в картере.

Следовательно, параметром работоспособности смазочной системы является уровень масла в картере [2, 3], который имеет три типичных случая изменения, показанных на рисунке 1 цифрами. За предельный уровень масла принято значение, соответствующее верхней метке маслоизмерительного щупа, который для дизелей КАМАЗ по объёму 34 л отмечен чертой между областями 1-2 (рис. 1).

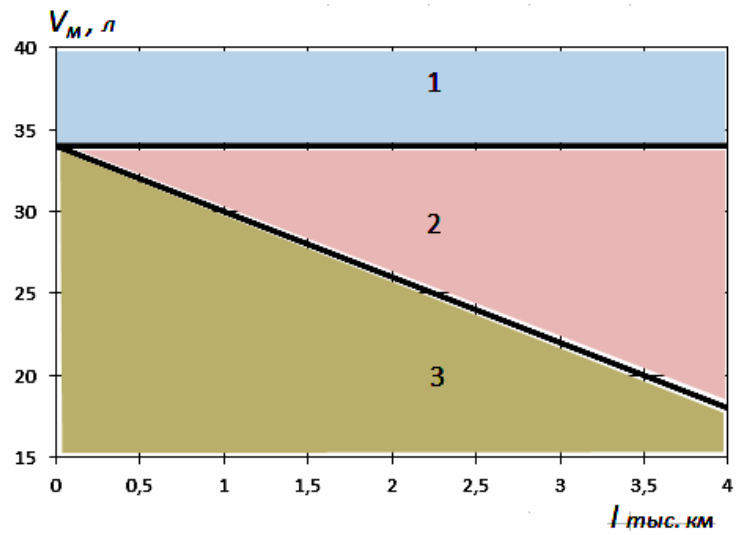


Рис. 1. Возможные варианты изменения объёма масла в картере двигателя

Превышение уровня масла (зона 1) свидетельствует о неисправностях топливной аппаратуры или попадания антифриза в картер – требуется их ремонт. Снижение уровня (зона 2) соответствует потерям на «угар» – необходим долив масла. Зона 3 отражает совокупное влияние ранее указанных причин, приводящих к физико-химическим изменениям показателей моторного масла (вязкость, плотность, температура вспышки). Поэтому при бортовом диагностировании технического состояния ЦПГ и смазочной системы необходимо использовать не только датчики количества [5, 6], но и датчики, оценивающие его качественные свойства. Поскольку в [2] доказано, что наиболее существенно в процессе эксплуатации изменяется вязкость моторного масла, то для диагностирования смазочной системы дизеля предложено использовать объёмный и качественный датчики для разработки более совершенного диагностического устройства взамен ранее изобретенного [5].

Библиографический список

1. Ф.Н. Авдонькин, Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей / Ф.Н. Авдонькин. – М.: Транспорт, 1985. – 215 с.

2. А.С. Денисов, А.С. Гребенников, С.А. Гребенников, А.О Носов. Изменение свойств моторного масла в форсированных дизельных двигателях // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: матер. 9-й МНТК. – Омск: СибАДИ, 2019. – С. 6–7.

3. А.С. Денисов, А.О. Носов, А.М. Биниязов, А.В. Кожинская. Повышение эффективности использования масел для форсированных автотракторных дизелей. – Уральск: ЗКФ АО «НЦНТИ», 2014. – 98 с.

4. Н.А. Кузьмин, Процессы и закономерности изменения технического состояния автомобилей в эксплуатации: учеб. – Н. Новгород: НГТУ, 2002. – 142 с.

5. Патент РФ № 2641184. Регулятор уровня моторного масла для двигателя внутреннего сгорания / А.С. Денисов и др. – Опубл. бюл. № 2. 2018. – 4 с.

6. С.В. Снарский, А.А. Гафиятуллин, А.Т. Кулаков. Датчики для измерения эксплуатационных параметров дизельного двигателя и оценки остаточного ресурса // Научная мысль. – 2015. – № 3. – С. 208–214.

7. I. Hurtova, M. Sejkorova, Analysis of engine oils using modern methods of tribotechnical diagnostics // Key Engineering Materials. – 2016. – № 4. – P. 47–53.

УДК 676.824

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ПРИЕМНЫХ ВАЛОВ ЭКСТРУЗИОННОЙ МАШИНЫ НА СВОЙСТВА РУКАВНЫХ ПЛЕНОК ПЭВД ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УПАКОВКИ

Ефремов Н. Ф.[1], Будникова О. А.[1], Канаичева А. В.[1], Трапезникова О. В.[2]

[1] *Московский политехнический университет, Россия, Москва, ул. Б. Семеновская, 38*
[2] *Омский государственный технический университет, Россия, Омск, пр. Мира, 11*

Около 75% объема потребления термопластичных пленок в производстве упаковки приходится на полиэтилен высокого давления (ПЭВД) [1]. Примерно 85% всей пленочной продукции производится рукавным способом в экструзионных машинах [2].

Целью настоящих исследований является установление влияния повышения скорости вращения приемных валов экструзионной машины на свойства получаемых рукавных пленок ПЭВД, используемых в производстве упаковки.

Пленку изготавливали на лабораторной экструзионной машине Э–16 [3] с диаметром шнека экструдера 16 мм, отношением длины шнека L_s к диаметру D_s, равным $L_s/D_s = 26$, с тремя зонами обогрева материального цилиндра и двумя зонами обогрева угловой кольцевой головки. Температурные режимы экструзионной части машины (табл. 1) и производительность экструдера 0.02 кг/мин при частоте вращения шнека 73 об/мин поддерживались постоянными. При диаметре выходной щели кольцевой головки $d_к = 30$ мм и ширине щели $\delta_щ = 1$ мм скорость выхода расплава составляла $V_э = 0.23$ м/мин. Скорость вращения приемных валов повышали от 5,3 до 9,1 об/мин. Радиус приемных валов составлял $R_{пр} = 0.05$м. Регулируя интенсивность охлаждения, устанавливали постоянной высоту линии кристаллизации $H_{кр} \approx 0.12$м.

Таблица 1. Температурные режимы экструзионной части машины

Материальный цилиндр				Угловая кольцевая головка	
Зоны нагрева	1	2	3	4	5
Температура нагрева, ^{0}C	140	170	180	180	180

Повышение скорости вращения приемных валов приводит к более существенному возрастанию кратности продольной вытяжки $K_{пр}$ пленки ПЭВД в рукаве (рис. 1) по линейной зависимости: $К_{пр} = 1{,}37n_{пр}–0{,}02$. При увеличении скорости вращения приемных валов с 5,3 до 9,1 об/мин толщина получаемой пленки ПЭВД уменьшается с 53 до 24 мкм.

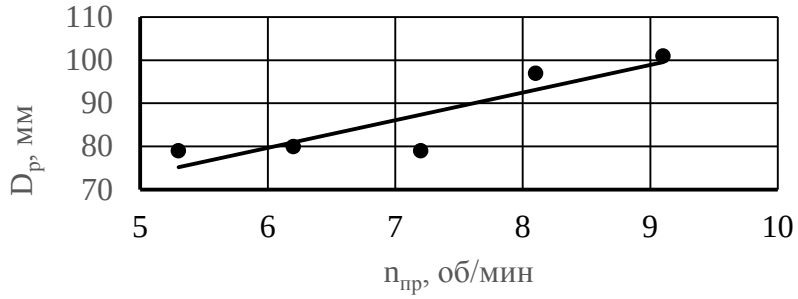


Рис. 1. Зависимость диаметра рукава $D_р$ пленки ПЭВД от скорости вращения приемных валов экструзионной машины $n_{пр}$

Испытания прочности при растяжении получаемых пленок проводили по ГОСТ 14236-81 (ASTM D882-10). Теплофизические свойства определяли методом дифференциально-сканирующей калориметрии по ГОСТ Р 55134 – 2012 с использованием прибора DSK 204 F1 Fhoenix фирмы NETZSCH в атмосфере аргона, при нагревании и охлаждении со скоростью 10 ^{0}C/мин. Установлено, что у исследованных пленок ПЭВД степень кристалличности $K_р$ изменяется в диапазоне от 37.25% до 40.80%, имеет минимум при $n_{пр}$ = 6–7 об/мин, после которого резко возрастает.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

– повышение скорости вращения приемных валов экструзионной машины, приводящее к увеличению кратности продольной вытяжки рукава от 7,2 до 12.4, позволяет получать пленки ПЭВД толщиной 25–50 мкм с прочностью, в 2–3 раза превышающей прочность обычных пленок. Такие пленки перспективны для применения в производстве упаковки;

– на повышение прочности при растяжении пленок ПЭВД, происходящее при повышении скорости вращения приемных валов экструзионной машины, влияют следующие факторы: ориентация полимерных цепей на аморфных участках; увеличение содержания крупных и средних размеров кристаллов; значительное уменьшение количества мелких кристаллов.

Библиографический список

1. Дж. Уайт, Д. Чой, Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины. – СПб.: Профессия, 2006. – 250 с.
2. Ю.Т. Панов, Л.А. Чижова, Е.В. Ермолаева, Современные методы переработки полимерных материалов : экструзия, литье под давлением. – Владимир : ВлГУ, 2013. – 127 с.
3. Н.Ф. Ефремов, В.В. Ананьев, А.А. Мандрусов, Установка для исследования процесса получения рукавных полимерных пленок // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2007. – № 1. – С. 16–25.

УДК 622.691.4

ИННОВАЦИОННЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДИКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ И РИСКАМИ В СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА

Земенкова М. Ю.[1], Гладенко А. А.[2], Земенков Ю. Д.[1]

[1] *Тюменский индустриальный университет, Россия, г. Тюмень, Мельникайте, 70*
[2] *Омский государственный технический университет, Россия, Омск, Мира, 11*

Целью исследований является разработка системы мониторинга нового поколения, позволяющей прогнозировать и предупреждать отказы и аварии в реальном времени. На кафедре ТУР разработан комплекс интеллектуального технологического менеджмента надежности и безопасности нефтегазовых систем. Предложена принципиально новая технология предиктивного управления рисками, на основании интеллектуального нейросетевого инжинирингового контроля, прогнозирования и предупреждения нештатных ситуаций, инцидентов, аварий при управлении процессами промышленных предприятий. Методологическое обеспечение разработанной интеллектуальной системы мониторинга весьма сложное и представлено в различных изданиях авторов [1, 2 и др.].

Рис. 1. Основной алгоритм реализации мониторинга надежности объектов с применением нейросетевых технологий

В рамках данной работы отмечены некоторые методические аспекты применения нейронных сетей для мониторинга состояний, надежности объектов нефтегазотранспортных систем для прогнозирования и управления технологическими рисками в соответствии с новой нормативной документацией. Например, базовый алгоритм контроля состояний согласно федеральным требованиям классификации по 5-ти состояниям и учета параметров надежности, предусматривает мониторинг по 16 группам факторов в зависимости от типа объекта и возможностей диагностической системы объекта, и может быть реализован с помощью глубокой нейронной сети с контролируемым обучением. Система сбора данных нефтегазотранспортных систем базируется на непрерывном сканировании параметров технологического процесса и результатах технического диагностирования в большом объёме данных. Слои нейронной сети учитывают факторы перехода из состояние в состояние по графу. Веса w_i нейронов для каждого слоя, определяются экспертным путем и уточняются нейронной сетью. Общий показатель надежности на выходном синапсе является интегральной величиной для каждого объекта технологической системы с учетом иерархии. Обучение моделей может быть выполнено для различного количества факторов и эпох. К примеру, при апробации на производственных данных точность обученной модели с применением сетей глубокого обучения составляет более 90 %.

Современная теория распознавания образов и машинного обучения владеет аппаратом более 25 типов нейронных сетей для анализа данных и может быть весьма эффективна для управления техническими рисками на предприятии в сочетании с классическими математическими методами и инструментарием. При реализации интеллектуальной системы на производственных объектах в системе управления техническим состоянием и рисками система эффективно может быть использована для предупреждения внештатных ситуаций, инцидентов и аварий в режиме реального времени, повышения эффективности принятия решений персоналом, технологического оперативного и диспетчерского контроля и повышения безопасности систем транспорта нефти и газа.

Библиографический список

1. М.Ю. Земенкова, Методологическое обеспечение экспертных систем мониторинга показателей надежности объектов трубопроводного транспорта углеводородов: монография / М.Ю. Земенкова. – Тюмень: ТИУ, 2018. – 411 с.

2. Типовые расчеты физических процессов транспорта и хранения углеводородных ресурсов // Гладенко А.А., Чекардовский С.М., Подорожников С.Ю. и др. В 2-х томах. Том 1. – Омск: ОМГТУ, ТИУ: Изд-во ОМГТУ, 2017. – 428 с.

УДК 658.512.012.011.56:665.6

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ

Зуга И. М.[1], Хомченко В. Г.[2], Кужель А. Н.[1], Овчинников П. А.[1], Строев А. О.[1]

[1] *ПАО «ОНХП», Россия, г. Омск, Бульвар Инженеров, 1*
[2] *Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11*

Основные экономические показатели предприятий нефтегазоперерабатывающей отрасли в значительной степени закладываются, в частности, на этапе проектирования их генеральных планов. Одним из важнейших критериев качества генеральных планов предприятий данной отрасли являются затраты на реализацию коммуникационных связей [1, 2].

В большинстве научных статей для оптимизации схем расположения объектов детерминированные методы нелинейного математического программирования [1, 2], приспособленные для поиска локальных минимумов.

В настоящей работе для поиска глобального минимума при синтезе оптимальных схем расположения производственных объектов предлагается использовать метод дифференциальной эволюции [3].

В качестве целевой функции W будем использовать линейную комбинацию критерия K_C, выражающего затраты на реализацию коммуникационных связей между производственными объектами, и функции штрафа S, отражающей требования на минимально допустимые регламентированные расстояния на просвет между объектами [1, 2]:

$$W = K_C + k_s S,$$

где $K_C = \sum_{i=1}^{i=n-1} \sum_{j=i-1}^{j=n} c_{ij}\, l_{ij}(x_i, y_i;\ x_j, y_j)$;

n – число объектов; l_{ij} – фактическое кратчайшее расстояние между центрами геометрических образов оснований i-го и j-го объектов; x_i, y_i; x_j, y_j – координаты центров геометрических образов оснований; k_S –

коэффициент веса функции штрафа S, предназначенный для обеспечения сопоставимости значений данной функции и критерия K_C.

Применительно к процессу поиска оптимальных схем расположения объектов проектируемого предприятия реализация метода дифференциальной эволюции заключается в следующем.

Вначале случайным образом формируются две матрицы Mx и My размерностью nr×n, представляющие собой стартовую популяцию nr возможных родителей-особей. Каждая строка матриц Mx и My представляет собой набор n значений координат x_i и y_i центров геометрических образов оснований объектов по осям соответственно Ox и Oy. В терминах метода дифференциальной эволюции элементы строк этих таблиц являются генами возможных родителей.

Затем генерируются два вектора-столбца случайных целых чисел Vx и Vy размерностью 4×1 в диапазоне 1, …, nr. Строки матриц Mx и My с номерами, равными значениям элементов соответственно векторов Vx и Vy, играют роль родителей для последующих операций мутации и кроссовера. При этом в качестве основного родителя по каждой их координат Ox и Oy примем строку с номером, равным первому элементу векторов-столбцов Vx и Vy.

Для выполнения операции кроссовера получены два мутантных вектора-строки MVx и MVy, определяющих положение центров геометрических образов оснований объектов по осям Ox и Oy. Элементы векторов-мутантов рассчитываются по формулам […] (здесь kx и ky – константы мутации):

$$MVx_i = Mx_{Vx2,i} + kx\left(Mx_{Vx3,i} - Mx_{Vx4,i}\right);$$
$$MVy_i = My_{Vy2,i} + ky\left(My_{Vy3,i} - My_{Vy4,i}\right). \ (i = 1, \dots, n)$$

Векторы-строки Mx_{Vx1}, MVx и $My_{Vy1,}$ MVy принимаются за родителей (индивидуумов) второго поколения в данной итерации поиска.

Кроссовер выполняется путем сравнения по определенному правилу назначенных предварительно скоростей кроссовера sx и sy с элементами случайным образом сгенерированных двух векторов Cx и Cy размерностью 1×n и соответствующим выбором генов родителей Mx_{Vx1}, MVx и $My_{Vy1,}$ MVy. Сформированные таким образом векторы-строки ребенка Rx, Ry.

В зависимости от соотношения значений целевой функции W, соответствующих генам основного родителя и ребенка происходит (или не происходит) ротация генов ребенка и основного родителя.

Вычислительный процесс прекращается либо по числу итераций, либо по заданному значению приращения целевой функции.

В докладе приводятся результаты вычислительного эксперимента, подтвердившего эффективность метода дифференциальной эволюции в задачах поиска оптимальных схем расположения объектов.

Библиографический список

1. И. М. Зуга, В. Г. Хомченко. Математическая модель и алгоритм автоматизированного проектирования схем размещения объектов из условий минимизации коммуникационных затрат // Динамика систем, механизмов и машин: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. / ОмГТУ. – Омск, 2009. – Кн. 3. – С. 35–38.

2. И. М. Зуга, В. Г. Хомченко. К проектированию схем размещения объектов предприятий нефтегазового комплекса // Нефтепереработка-2009: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2009. – С. 25–26.

3. Storn, Rainer and Price, Kenneth. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces // Journal of Global Optimization. – 1997. – Vol. 11, Issue 4. – P. 341–359.

УДК 665.77

МОДЕРНИЗАЦИЯ БЛОКА РЕГЕНЕРАЦИИ РАСТВОРИТЕЛЯ ИЗ РАСТВОРА ДЕАСФАЛЬТИЗАТА НА УСТАНОВКЕ 36/1 №3 ООО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-СМ» «ОЗСМ» С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ

Иващенко М. Н.[1], Дюсембаева А. А.[2]

[1] *ФГБОУ ВО «ОмГТУ», Россия, г. Омск, пр-т Мира, д. 11*
[2] *ФГБОУ ВО «ОмГУ им. Ф. М. Достоевского» Россия, г. Омск, пр-т Мира, д. 55А*

Цель данной работы – повышение энергоэффективности блока регенерации пропана из раствора деасфальтизата.

В настоящее время действующие установки деасфальтизации гудрона являются очень энергоемкими процессами с низкой энергоэффективностью. В среднем, затраты на нагрев и испарение пропановой фракции на стадии регенерации растворителя составляют от 25 до 30 ГДж/ч, а на её охлаждение и конденсацию – до 35–40 ГДж/ч [1]. Все это приводит к ежегодному увеличению капитальных затрат.

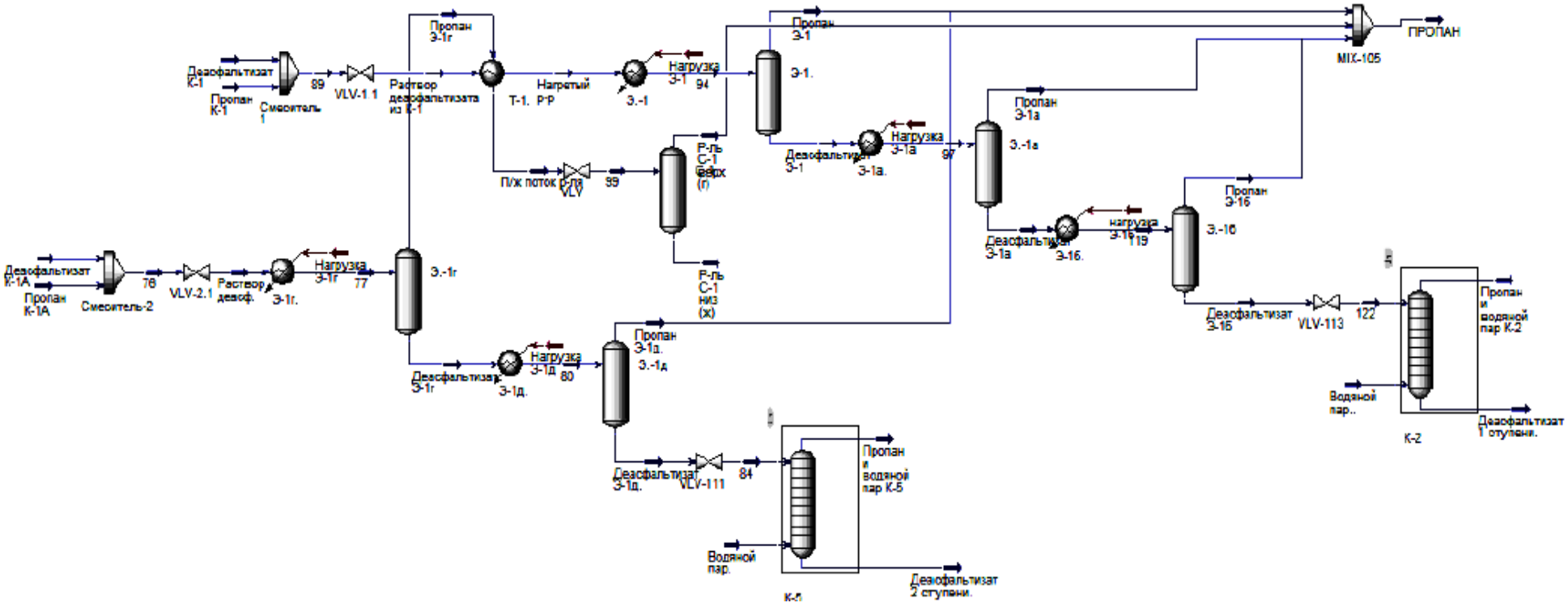


Рис. 1. Компьютерная модель блока регенерации пропана из раствора деасфальтизата первой и второй ступеней после модернизации

Разработка технологических решений осуществлялась на основе компьютерной модели, построенной в среде Aspen HYSYS.

Регенерация растворителя из деасфальтизатного раствора осуществляется в пяти испарителях, работающих по двухступенчатой схеме.

Основное количество пропана регенерируется в первых испарителях, температура которых не превышает 70 ^{o}C.

В данной работе предлагается повысить давление в первом испарителе на второй ступени регенерации до 3,2–3,5 МПа [2]. При таком давлении температура пропана, соответствующая температуре кипения в испарителе повышенного давления, достаточно высокая – 90–95 ^{o}C, а также обеспечивается переток в этот испаритель из экстракционной колонны К-1А, где давление составляет 3,8–3,6 МПа. Оставшиеся испарители остаются с теми же условиями, которые были до модернизации.

Реализация этого варианта потребует установку нового оборудования: кожухотрубчатого теплообменника и газового сепаратора (рис. 1).

Внедрение предлагаемого способа позволяет снизить расход теплоэнергии на нагрев и испарение растворителя на 35 %, на конденсацию и охлаждение – на 17%. Экономическая оценка энергоэффективности варианта модернизации показала, что срок окупаемости оборудования составит 1 год.

Библиографический список

1. В.А. Болдинов и др. Энергосберегающая схема регенерации пропана при деасфальтизации гудрона // ХТТМ. – 2004. – № 4. – С. 18.

2. Ф.М. Султанов и др. Модернизация блока регенерации растворителя из деасфальтизатного раствора на установках деасфальтизации типа 36/2, 36/2М с целью снижения энергозатрат // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2014. – № 2. – С. 12–15.

УДК 658.51

СИСТЕМА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ УСТАНОВКИ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ

Китов. С. И.[1], Гуровский А. И.[2], Фарунцев С. Д.[1]

[1] *Омский государственный технический университет (РФ, Омск, пр. Мира, 11)*
[2] *ООО «Инсист Автоматика» (РФ, Омск, пр. К. Маркса, 18/1А)*

В данной работе ставится задача разработки системы обеспечения необходимого качества предварительного обезвоживания и подогрева нефтяной эмульсии для поддержания параметров товарной нефти на выходе УПН, заданных ГОСТ Р 51858-2002, в условиях действия интенсивного фона возмущений по количеству и качеству эмульсии, поступающей со скважин к объектам подготовки нефти;

Секция предварительного обезвоживания УПН включает трёхфазный сепаратор (ТФС) и трубчатую печь (рисунок 1). В трёхфазном сепараторе происходит разделение эмульсии на составляющие её газ, нефть и воду. Скорость обезвоживания эмульсии зависит от концентрации деэмульгаторов, времени пребывания, вязкости, температуры эмульсии [1]. Дегазированная и частично обезвоженная эмульсия поступает в печь, где происходит её нагрев за счёт сжигания газа, а затем – в секцию окончательного обезвоживания УПН, эффективность функционирования и качество товарной нефти на выходе которой определяются стабильностью подогрева. Температура эмульсии в традиционном варианте поддерживается локальным регулятором, воздействующим на расход газа, однако за счет интенсивного фона возмущений выдержать заданную температуру часто не удается [2].

Для получения заданного качества регулирования температуры эмульсии ведутся разработки усовершенствованных систем управления подогревателями нефти [2,3]. В предлагаемом варианте стабильность качества подогрева обеспечивает двухконтурная система, включающая, наряду с локальными регуляторами температуры эмульсии и межфазового уровня в ТФС, виртуальный анализатор теплосодержания эмульсии Еем и инверсный нейроконтроллер *NC*, обученный вносить коррективы в режим работы ТФС для компенсации возмущений на входе УПН (см. рис. 1). Виртуальный анализатор непрерывно рассчитывает количество тепловой энергии $E_{ем}$, необходимой для подогрева эмульсии, имеющей входные параметры – расход G, влагосодержание W и температуру $T_{вх}$, до температуры $T_{вых}$. Рассчитанное значение Еем поступает к нейроконтроллеру *NC*, обученному поддерживать $E_{ем}$ на выходе ТФС при изменении входных параметров эмульсии путем воздействия на уставку локального регулятора межфазового уровня ТФС

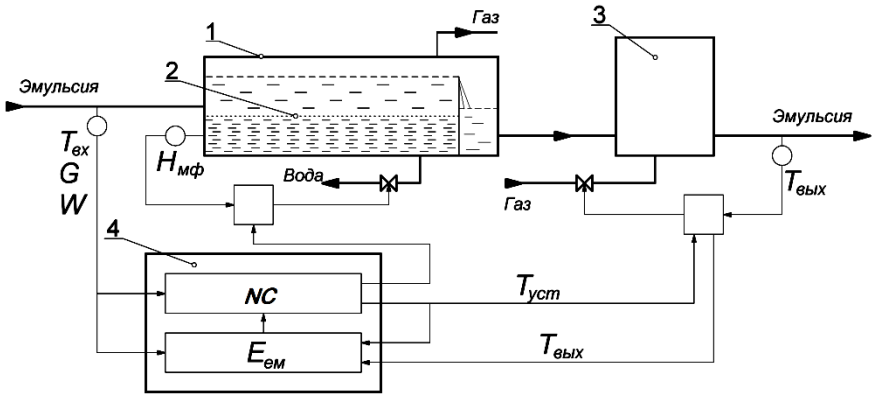


Рис. 1. Схема усовершенствованного управления объектами предварительного обезвоживания нефтяной эмульсии УПН: 1 – трёхфазный сепаратор, 2 – уровень раздела сред нефть – вода, 3 – трубчатая печь, 4 – инверсный нейроконтроллер NC, $T_{вх}$ – температура эмульсии на входе в сепаратор, $T_{вых}$ – температура эмульсии на выходе печи, $T_{уст}$ – температура уставки, $H_{мф}$ – межфазовый уровень, G – расход эмульсии, W – влагосодержание, $E_{ем}$ – количество энергии для нагрева эмульсии до температуры $T_{вых}$

При изменении межфазового уровня в ТФС нейроконтроллер фактически осуществляет воздействие на время пребывания эмульсии, от величины которого зависят значения расходов воды и эмульсии, влагосодержания эмульсии на выходе ТФС. При постоянном значении теплосодержания эмульсии Еем, заданном нейроконтроллером, и постоянном расходе газа в подогреватель обеспечиваются условия постоянства температуры на выходе печи даже без воздействия локального регулятора температуры эмульсии, однако последний необходим для реализации контура обратной связи и компенсации прочих неконтролируемых возмущений.

Библиографический список

1. С. И. Китов, С. Д. Фарунцев. Моделирование объектов водной сепарации установки подготовки нефти // Автоматизация, мехатроника, информационные технологии = Automation, Mechatronics, Information Technologies [Электронный ресурс] : материалы IX Междунар. науч.-техн. интернет-конф. молодых ученых. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2019. – С. 23–29.

2. А. И. Гуровский, С. Д. Фарунцев. Адаптивная система управления трубчатой блочной печью подогрева нефти ПТБ–10 // Автоматизация, мехатроника, информационные технологии = Automation, Mechatronics, Information Technologies [Электронный ресурс]: материалы IX Междунар. науч.-техн. интернет-конф. молодых ученых. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2019. – С. 13–18.

3. С. Д. Фарунцев, Е. С. Гебель. Система усовершенствованного управления нефтегазоводоразделительным аппаратом установки подготовки нефти // Автоматизация в промышленности. – 2019. – № 3. – С. 45–51.

УДК 53.087.92

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА ИМПЕДАНС ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ С ВСТРЕЧНО-ШТЫРЕВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Козлов А. Г., Фадина Е. А.

ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», Россия, г. Омск, пр. Мира 11

Контроль содержания воды в нефтепродуктах является в настоящее время актуальной задачей как на этапах разведки и добычи нефти, так и в процессе транспортировки и производства в нефтехимической промышленности, т.к. позволяет получить информацию о качестве сырья и состоянии залежи нефти в целом, повысить эффективность эксплуатации оборудования.

На данный момент существует множество методов, позволяющих определить содержание воды в нефтяной эмульсии, которые обладают рядом преимуществ и недостатков [1–3].

Одним из перспективных методов контроля содержания воды в нефтяных эмульсиях является импедансная спектроскопия [4–6]. Метод основан на измерении частотных зависимостей импеданса системы при воздействии на нее переменным напряжением небольшой величины. Поскольку удельная проводимость и диэлектрическая проницаемость нефти сильно зависят от ее состава, наличие воды в нефтяной эмульсии оказывает значительное влияние на электрохимический импеданс и его составляющие.

В данной работе было проведено моделирование электрохимического импеданса для нефтяной эмульсии, размещенной в ячейке с встречно-штыревыми электродами. Целью моделирования являлось определение влияния электрофизических параметров эмульсии на составляющие импеданса ячейки. Моделирование проводилось с использованием эквивалентной электрической схемы ячейки. Постоянная ячейки определялась из результатов моделирования распределения электрического потенциала в системе встречно-штыревых электродов. Аналитически исследованы характеристики импеданса ячейки для нефтяных водных эмульсий с содержанием воды от 10 до 60 об. %.

Рисунок 1 демонстрирует частотную зависимость мнимой части импеданса, полученную для различного содержания воды в нефти. Результаты моделирования показали, что уровень влагосодержания значительно влияет на импеданс электрохимической ячейки, что позволяет рассматривать импедансную спектроскопию как эффективный метод контроля обводненности нефти.

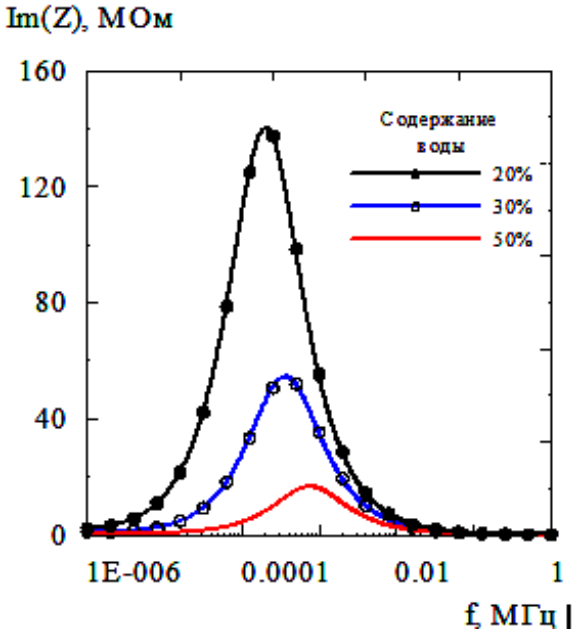


Рис. 1. Зависимость мнимой части импеданса от частоты для различного содержания воды в нефти

Библиографический список

1. А.А. Гончаров, В.М. Полторацкий, М.А. Слепян, Методы определения обводненности сырой нефти: отечественный и зарубежный опыт // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2008. – № 4. – С. 54–57.

2. Д.Ю. Самойлов, В.В. Самойлов, О.П. Жданов, А.В. Насыбуллин, Измерение обводненности на устье добывающих скважин // Экспозиция Нефть Газ. – 2016. – № 3(49). – С. 85–88.

3. Y. Zhao, High-Accuracy Low-Water-Content Measurement of Crude Oil Based on a Near-Infrared Spectral Absorption Method / Yong Zhao, Jian Yang, Jin-Qi Wang, Fang-Xiao Gui // Optical Engineering. – 2004. – Vol. 43. – № 10. – P. 2216–2217.

4. V.F. Lvovich, C.C. Liu, M.F. Smiechowski, Optimization and fabrication of planar interdigitated impedance sensors for highly resistive non-aqueous industrial fluids // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2006. – Vol. 119. – No 2. – P. 490–496.

5. N. Mastelari et al., Determination of water concentration in crude oil and water emulsions by the impedance spectroscopy method // Proceeding: IV Journeys in Multiphase Flows (JEM 2015). – March 23–27, 2015, Campinas, SP, Brazil. – 2015. – P. 1–9.

6. M. Qing et al., Impedance spectroscopy dependent water content detection in dynamic oil-water emulsions // AIP Advances. – 2018. – Т. 8. – №. 10. – С. 105306.

УДК 66.011

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ВВОДА СЫРЬЯ В ОТПАРНЫЕ КОЛОННЫ НА УСТАНОВКЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА

Копылова Д. В.[1], Демин А. М.[1], Дюсембаева А. А.[2]

[1] *ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», Россия, Омск, проспект Мира, 11*
[2] *ФГБОУ ВО «ОмГУ им. Ф. М. Достоевского», Россия, Омск, проспект Мира, 55А*

Массообменные процессы разделения углеводородов на фракции составляют основу всех нефтеперерабатывающих производств. Поиск оптимальных решений при проектировании и управлении установками ректификации является актуальной проблемой, так как основные энергозатраты в нефтепереработке приходятся на эти процессы. Важной задачей является определение оптимальных тарелок ввода питания в системе ректификационных колонн [1].

Цель настоящей работы – повышение энергоэффективности работы установки каталитического риформинга путём изменения положения тарелок питания в колоннах стабилизации.

На первом этапе построена математическая модель установки каталитического риформинга в среде HYSYS [2]. Проверка адекватности модели выполнена путём сопоставления расчётных значений материального баланса с экспериментальными данными мониторинга. Погрешность моделирования 0,8 %.

Далее с помощью метода пинч-анализа построена энерготехнологическая схема установки [3, 4]. Исходные данные для проектирования взяты из модели. Результаты моделирования действующей установки показали, что потребляемая энергия от внешних горячих энергоносителей составляет 94,25 ГДж/ч, энергия, отводимая от процесса – 37,70 ГДж/ч. Построение составных кривых для холодных и горячих потоков (рис. 1) позволило определить минимальную разность температур – 28°С. В дальнейшем была построена сеточная диаграмма для существующего процесса с разделением на пинче [3]. Анализ диаграммы показал, что в блоках стабилизации существующей схемы при данной ΔT_{min} нет нарушений пинч-технологий.

На следующем этапе проведён компьютерный эксперимент по варьированию тарелок питания в колоннах стабилизации К-1 и К-2. В ходе эксперимента задавались постоянством состава продуктовых потоков дистиллята и кубового остатка. Количество тарелок питания в колонне варьировали в допустимом программой рабочем интервале точек ввода.

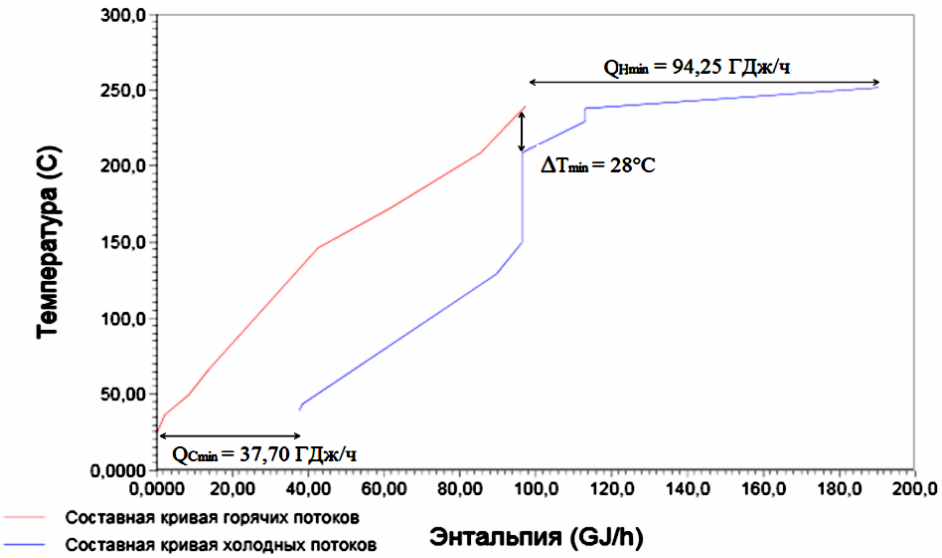


Рис. 1. Совместное изображение составных кривых для действующей установки

Рассматривали ввод одного, двух и трёх потоков. Положения точек ввода изменяли подряд, через одну и две тарелки относительно друг друга. Сравнительный анализ результатов оптимальных вариантов варьирования по количеству потоков показал, что максимальная экономия энергии наблюдается в колоннах с одной точкой ввода сырьевого потока. Суммарная нагрузка на печи составит 89,13 ГДж/ч, экономия энергии – 5,4%, а для холодильников – 36,39 ГДж/ч, экономия энергии – 3,5%.

Таким образом, результаты эксперимента показывают принципиальную возможность уменьшения энергопотребления установки каталитического риформинга без нарушения норм технологического режима за счет изменения положения тарелок питания в колоннах стабилизации.

Библиографический список

1. В.И. Елизаров, Д.В. Елизаров, С.А. Мерзляков, С.Г. Дьяконов, Теоретические основы химерической технологии. – 2012. – Т. 46. – № 5. – С. 483–490.

2. Aspen HYSYS. Руководство пользователя. Aspen Technology, Inc. – 2010.

3. Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, Основы интеграции тепловых процессов. Харьков. НТУ "ХПИ". – Библиотека журнала ИТЭ. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2000. – 458 с.

4. С.В. Жулаев, Пинч-анализ и оптимизация промышленных объектов – Нефтегазовое дело. – 2012. – № 2. – С. 392–398.

УДК 621.313.3

ОПТИМИЗАЦИЯ СКАЛЯРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ТРАНСПОТИРОВКИ НЕФТИ

Лысенко О. А.[1], Симаков А. В.[2]

[1] *Омский государственный технический университет, Россия, Омск, пр. Мира, д. 11*
[2] *Омский государственный университет путей сообщения, Россия, Омск, пр. Маркса, д. 35*

Транспортировка нефти в процессе ее переработки является важным звеном всей технологической цепочки нефтепереработки. Для транспорта нефти к технологическим установкам используются насосные станции, нагнетающие давление в трубопроводе. Основное оборудование насосной станции состоит из центробежных насосов с электроприводами, запорной арматуры, измерительной части и средств автоматизации [1, 2].

Центробежный насос, создающий давление в трубопроводе приводится во вращение в большинстве случаев асинхронным электроприводом. Для автоматизации процессов перекачки нефти из резервуара, а также для существенной экономии электроэнергии по сравнению с дроссельным регулированием в асинхронном электроприводе используются преобразователи частоты. Существуют два основных способа регулирования частоты питающего напряжения: векторное управление и скалярное управление [3, 4].

Скалярное управление или U/f – регулирование отличается от векторного простотой реализации, и тем, что в отличие от векторного при построении системы управления использует только скалярные значения напряжения и частоты. Зависимость f = U(f) называют законом регулирования. Оптимизация закона регулирования для насосной установки внутризаводской транспортировки нефти и является целью данной работы.

Закон регулирования U/f определяет коэффициент мощности двигателя и связанные с этим прямые и косвенные потери мощности. Значительное количество преобразователей частоты используют скалярное регулирование частоты вращения. Однако в большинстве случаев закон управления не оптимизирован под конкретную насосную установку, и используются обобщенные характеристики вида U/f = const, что не соответствует вентиляторному характеру момента сопротивления (1).

$$T_L = T_0 + k\omega^2 \quad (1)$$

Для вентиляторной нагрузки, к которой относятся все центробежные турбомеханизмы закон регулирования, с учетом (1), часто определяют как: U/f^2 = const (квадратичный закон управления).

Однако, выражение (1) справедливо лишь при работе насосной установки без противодавления, с учетом статического напора, закон регулирования будет отличным от квадратичной зависимости.

Для проведения численных экспериментов была составлена имитационная модель. Имитационная модель состоит из гидравлической, механической и электрической подсистемы, что описывается уравнениями состояния соответствующих систем.

В качестве оптимального критерия с точки зрения энергопотребления рассмотрим постоянство потокосцепления ротора Ψ_R. = const, при минимуме тока статора в течение переходного процесса.

В ходе данной работы был осуществлен анализ эффективности объекта исследования, по предложенному критерию минимизации тока ротора и невязки потокосцепления ротора. Были построены динамические характеристики насосной установки и произведен расчет энергопотребления, в ходе которого была определена возможность снижения энергопотребления за счет использования наиболее оптимального закона регулирования, с учетом особенностей технологического процесса.

Расчетное количество электроэнергии, потребленной электроприводом насосной установки, за цикл из 100 секунд, при полученной методике составило $W_{1\Sigma}$ = 2,352 кВт·ч, что на 4,5% и 9,6% меньше, чем при квадратичном и линейных законах управления соответственно.

В заключении следует отметить, что предложенная методика построения регулировочных характеристик может применяться, как для разрабатываемых и проектируемых насосных установок транспорта нефти и нефтепродуктов, так и для существующих, при минимальных материальных затратах в последнем случае.

Библиографический список

1. Qun Lei, Fusheng Zhang, Baoshan Guan, Guoliang Liu, Zhuoyan Zhu. Influence of shear on rheology of the crude oil treated by flow improver. Energy Reports, 2019, Vol. 5, P. 1156–1162. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.08.009.

2. Manojkumar Gudala, Shirsendu Banerjee, Tarun Kumar Naiya, Ajay Mandal, T. Rama Mohan Rao. Hydrodynamics and energy analysis of heavy crude oil transportation through horizontal pipelines using novel surfactant. Journal of Petroleum Science and Engineering, Volume 178, July 2019, Pages 140–151. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.03.027.

3. A. M. Trzynadlowski, “5 - Scalar control methods,” in Control of Induction Motors, A. M. Trzynadlowski, Ed. San Diego: Academic Press, 2001, pp. 93–105.

4. I. Yahyaoui and A. Serna Cantero, “Chapter 10 - Scalar and Vector Control of Induction Motor for Online Photovoltaic Pumping,” in Advances in Renewable Energies and Power Technologies, I. Yahyaoui, Ed. Elsevier, 2018, pp. 335–348.

УДК 62-93:678.66-96

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Митрякова О. Л.[1], Нагорнова И. В.[1], Варепо Л. Г.[2]

[1] *ФБГОУ ВО Московский политехнический университет (Россия, Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38)*
[2] *Омский государственный технический университет (Россия, г. Омск, пр-т Мира, д. 11)*

Мониторинг эксплуатационных свойств изделий, производимых из продуктов переработки нефтегазового производства, и диагностика качества технологических решений позволяет говорить о необходимости системных организационно-технологических подходов, ориентированных на применение инструментов процессного управления в рамках жизненного цикла полимерного производства и стадий потребительской эксплуатации продукции [1].

В текущий момент основными тенденциями промышленного развития является инновационность, технологичность, экологическая безопасность и социальная ответственность за качество производственного процесса и конечной потребительской продукции.

Зоны ответственности при производстве полимерной продукции связаны не только с технологическими процессами ее создания, но и инфраструктурными аспектами производства. Речь идет о замкнутом цикле: от запроса на изготовление полимерной продукции до методов ее утилизации и вторичной переработки. При этом каждая технологическая стадия формирует затратную компоненту стоимости готовой полимерной продукции.

Применение разработанного алгоритма процессного моделирования позволяет существенно оптимизировать ресурсные издержки и повысить технологическую эффективность производства.

В работе декомпозиция производственного процесса производства полимерной продукции рассматривается в замкнутом контуре (экосистеме) на примере производства полимерной упаковки: от получения полимерного материала до вторичной переработки отходов в новый продукт [3–4]. Для каждого производственного этапа разрабатывает процессная модель, которая может быть адаптирована под задачи и возможности конкретного бизнеса (предприятия). В рамках процессной модели определяются и описываются типовые технологические операции, регламенты их выполнения, требуемые технические средства производства, инструменты мониторинга и контроля качества. Подобный алгоритм описания позволяет проанализировать ресурсное обеспечение при планировании производства полимерной продукции, разработать технологические решения с минимизацией временных и организационных потерь, а также оперативно диагностировать причинно-следственные связи отклонений и технологического брака.

Следует отметить, что разработанный алгоритм позволяет снизить риски несоответствия качества при включении в производственный цикл инновационных компонентов. Таким примером служит производство полимерной упаковки с интегрированными элементами контроля жизненного цикла продукции (RFID-метки), средствами защиты от фальсификации, сенсорами и иными дополнительными технологическими опциями [5–6].

Таким образом, применение процессного подхода позволяет повысить предсказуемость результатов при проектировании производства, его модернизации, техническом переоснащении и диверсификации. Процессное моделирование позволяет сократить лишние вертикальные взаимодействия наравне с издержками, а также более эффективно автоматизировать технологические решения и синхронизировать методы и инструменты контроля качества в соответствии с производственными задачами, повысив результативность мониторинговой функции и убрав избыточность контрольных мероприятий.

Библиографический список

1. V.Yu. Mishakov, Designing Business Processes - as the Basis for Creating a Service Enterprise Architecture // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, Number: 2 (380) Year: 2019 Pages: 9–13.

2. P. Madhusudan, N. Chellukuri, N.Shivakumar Smart packaging of food for the 21st century – A review with futuristic trends, their feasibility and economics // Advanced Engineering Informatics, Volume 5, Issue 10, Part 1, 2018, Pages 21018-21022.

3. Xiao Li, G. Q. Shen, P. Wu, F. Xue, C. Zh. Li Developing a conceptual framework of smart work packaging for constraints management in prefabrication housing production // Advanced Engineering Informatics, Volume 42, 2019, 100938.

4. I.V. Nagornova, E.B. Bablyuk, O.V. Lazareva, O.V. Trapeznikova, E.B Charushina,. Algorithmic presentation of printed electronics verification in-process // Journal of Physics: Conference Series (2019)1260 032028.

5. Dirk Schaefer, W. M. Cheung Smart Packaging: Opportunities and Challenges // Procedia CIRP Volume 72, 2018, Pages 1022–1027.

УДК 655.3.022.55

МЕТОД ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИИ В ОЦЕНКЕ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРИЗУЮЩИХСЯ ПЛАСТИН И ФОРМ ФЛЕКСОГРАФСКОЙ ПЕЧАТИ

Могинов Р. Г., Ворожцов А. Л., Баблюк Е. Б.

Московский политехнический университет, Россия, Москва, ул. Большая семеновская, 38

В последнее время интенсивно развивается направление так называемой печатной электроники, это когда полиграфические методы используются для создания электронных приборов [1–4]. Основное требование к печатным формам, используемым в печатной электронике это обеспечение воспроизведения тонких штриховых элементов. Это в свою очередь зависит от физико-механических свойств материалов, используемых для изготовления ФПФ.

Для оценки результатов воздействия на фотополимерные формы давления при печати, необходимо знать их химический состав или хотя бы класс веществ, к которому относится основной компонент фотополимерных форм. Диагностирование химического состава ФПФ позволит прогнозировать поведение печатной формы во флексографском оборудовании при получения изделий микроэлектроники полиграфическим способом.

Известно, что фотополимеризуемый слой ФПФ представляет собой композицию химических веществ. Основные фотополимеризующиеся компоненты (ФПК) также известны. ФПК содержит в себе эластомерное связующее (полимер или олигомер), ненасыщенный мономер, фотоинициаторы и различные добавки. (пластификаторы, воски, красители и т.п.).

Точный химический состав композиции, из которой изготавливают ФПФ, является тайной производителей. Однако, встречаются сведения относительно того, к каким классам веществ относятся компоненты ФПФ. Также сообщается о том, что в качестве эластомерного связующего чаще всего используются синтетические каучуки, по свойствам близкие к натуральному.

В качестве объектов исследования были выбраны следующие пластины: DuPont DPR-45, Macdermid RAVE-45, Flint ACT-114, Kodak NXH – 111. В таблице представлены характеристики этих пластин.

Из фотополимерных пластин были изготовлены образцы форм для флексографской печати на предприятии ООО «ТампоМеханика – Москва».

Методом ИК-спектроскопии осуществлен анализ полимерной матрицы. Оценка химических характеристик полимеризующихся пластин и печатных форм производилась с использованием спектрофотометра ФСМ – 1201 с приставкой многократного нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО). Регистрация спектров проводилась посредством усреднения интерферограмм и последующего их Фурье-преобразования в диапазоне 400–4000 $см^{-1}$. Отнесение полос поглощения в ИК-спектрах проводилось в соответствии с литературными источниками.

Таблица. Характеристики фотополимерных печатных форм

№ п/п	Марка полимера	Толщина, мм	Время сушки, мин.	Рельеф, мм	Твердость по Шору	Модуль упругости Па
1.	DuPont DPR-45	1,14	60	0,55	76°	153
2.	Macdermid RAVE-45	1,14	60	0,55	70°	154
3.	Flint ACT-114	1,14	60	0,55	74°	152
4.	Kodak NXH – 111	1,14	60	0,55	73°	172

Как показали результаты исследований, во всех случаях при изготовлении фотополимеризующихся пластин DuPont DPR-45, Macdermid RAVE-45 и Flint ACT-114 используются резины из бутадиен-стирольных и бутадиен-изопреновых каучуков. В случае же пластин Kodak NXH – 111 в качестве материала выбран сополимер акрилового ряда, в меньшей степени обладающего эластическими свойствами.

Анализируя полученные результаты, можно констатировать, что релаксационные процессы при механической нагрузке в гуковсой области деформаций в случае пластин Kodak NXH – 111 пройдут значительно быстрее нежели для пластин DuPont DPR-45, Macdermid RAVE-45 и Flint ACT-114.

Библиографический список

1. Printed Organic and Molecular Elecnronics // Ed. By D. Gamota, P. Brazis, K. Kalyanasundaram, J. Zhang. New York: Kluwer Acad. Publ., 2004.

2. I. Reinhold, C.E. Hendriks, R..Eckardt, J.M. Kranenburg, J. Perelaer, R.R. Baumannbd, U.S. Schuber,t Argon plasma sintering of inkjet printed silver tracks on polymer substrates // Journal of Materials Chemistry, 2009. – 19, p. 3384.

3. A.C. Hübler Fully mass printed loudspeakers on paper // Organic Electronics Volume 13, Issue 11, 2012, pp. 2290–2295.

4. J. Chang Fully printed electronics on flexible substrates: High gain amplifiers and DAC // Organic Electronics 15 (2014) 701–710.

УДК 681.5.013

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Муромцев Д. Ю.[1], Грибков А. Н.[1], Залукаева Н. Ю.[1], Белоусов О. А.[1], Беляев В. П.[1], Трапезников Е. В.[2]

[1] *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, ул. Советская, 106*

[2] *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», Омск, Россия, пр-т Мира, 11*

В настоящее время, практически ни одна отрасль современной промышленности не обходится без информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС), позволяющих решать достаточно сложные производственные задачи. В большинстве случаев разработка алгоритмического и программного обеспечения ИИУС представляет собой трудоемкое научно-техническое исследование, связанное с большим объемом вычислений и необходимостью применения сложного математического аппарата [1].

Они позволяют осуществлять непрерывный мониторинг основных режимных параметров объекта, а также обеспечивают синтез управляющих воздействий для достижения наилучших показателей эффективности функционирования технологического процесса или объекта. Поэтому вопросы разработки таких систем являются весьма значимыми и актуальными. В статье сформулированы базовые принципы построения алгоритмического и программного обеспечения интеллектуальных информационно-измерительных и управляющих систем на множестве состояний функционирования. Рассмотрены особенности разработки информационно-измерительных и управляющих систем, эксплуатация которых осуществляется в сложных климатических условиях (Арктический регион).

Интеллектуальные ИИУС находят широкое применение во многих высокотехнологичных отраслях промышленности при решении задач мониторинга и управления сложными объектами и процессами. Разработка ИИУС, в большинстве случаев, представляет собой сложный научно-исследовательский проект, который характеризуется наличием неопределенностей, рисков, высокой стоимостью и трудоемкостью. ИИУС

в процессе реальной эксплуатации должна отвечать требованиям надежности и иметь высокие показатели отказоустойчивости при функционировании в различных режимах и производственных ситуациях.

Сложность алгоритмического обеспечения системы во многих случаях приводит к сложной программной архитектуре ИИУС. В связи с чем, возникает необходимость рассмотрения программного обеспечения ИИУС как сложной системы, к которой в полной мере относятся все основные проблемы, связанные с проектированием, исследованием, внедрением и эксплуатацией таких систем [2].

Эффективность функционирования любой системы определяется ее свойствами (надежность, точность, быстродействие и т.д.), условиями работы, влиянием внешних возмущений и другими факторами, которые могут быть как детерминированными, так и случайными. Для комплексного учета основных факторов, оказывающих влияние на работу ИИУС, вводится понятие множества состояний функционирования [3].

В данной работе предпринята попытка сформулировать базовые принципы построения алгоритмического и программного обеспечения интеллектуальных ИИУС на множестве состояний функционирования. В качестве практической задачи рассматривается подход к построению интеллектуальных ИИУС, включающий модели, методы и алгоритмы, используемые при разработке алгоритмического и программного обеспечения.

Рассмотренные в статье принципы построения ИИУС, несмотря на их универсальность, в определенной степени противоречат друг другу, т.к. очень сложно одновременно обеспечить требования быстродействия, простоты реализации, надежности и точности применяемых моделей, алгоритмов и программных модулей. Поэтому, применяемые в настоящее время подходы к построению ИИУС могут существенно различаться на отдельных этапах.

В статье сформулированы базовые принципы построения алгоритмического и программного обеспечения интеллектуальных информационно-измерительных и управляющих систем на множестве состояний функционирования. Рассмотрены особенности и принципы разработки информационно-управляющих систем сложными технологическими объектами. Приведен практический подход к построению интеллектуальных информационно-управляющих систем, включающий модели, методы и алгоритмы, используемые при разработке алгоритмического и программного обеспечения.

Библиографический список

1. G.C. Goodwin, S.F. Graebe, M.E. Salgado, Control system design. – New Jersey: Prentice Hall, 2000. – 908 p.

2. M.D. Mesarovic, D. Macko, Y. Takahara, Theory of hierarchical, multilevel, systems. – New York: Academic Press, 1970. – 294 p.

3. Ю.Л. Муромцев, Л.Н. Ляпин, О.В. Попова, Моделирование и оптимизация сложных систем при изменениях состояния функционирования. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1992. – 164 с.

УДК 655.344

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА OPENFOAM ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УВЛАЖНЯЮЩЕГО РАСТВОРА С ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ БУМАГ

Орлова Е. Ю.[1], Целлмер Х.[2], Ходес А.[2]

[1] *ФГБОУ ВО Московский Политехнический Университет, Российская федерация, Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38*
[2] *Университет прикладных наук Лейпцига (HTWK Leipzig), Германия, Лейпциг, Густав-Фрайтаг штрассе, д. 42*

Не смотря на развитие цифровых медиа, в России востребована продукция офсетной печати, где в технологическом процессе задействованы спиртовые увлажняющие растворы, добавки в которые являются продуктами переработки нефтегазового производства. При контроле качества производства бумаг и качества печати наиболее перспективным является ультразвуковой метод, который используется, в том числе и для оценки проникновения спиртовых увлажняющих растворов в поры бумаг, начиная с первых 8 мс от начала измерения [1–3]. С помощью пакета с открытым программным кодом OpenFoam – Paraview разрабатывается модель компьютерной симуляции, которая позволит спрогнозировать процесс взаимодействия спиртовых увлажняющих растворов, как в процессе печати, так и в процессе проведения измерений ультразвуковым методом, в том числе и в момент времени, который не фиксируется современными ультразвуковыми приборами. Для расчета двухмерной численной модели произведены измерения на ультразвуковом приборе PDA [4] с увлажняющими растворами следующего состава: вода+ 2% Wassertop DH plus + 5% IPA, вода+ 2% Wassertop DH plus + 10% IPA. По результатам измерений выбрано время симуляции t_{max} = 0,013 с. Модель

представляет собой участок вертикального взаимодействия жидкости с поверхностью бумаги размером 84×80 мкм. Высота столбика шероховатости на поверхности составляет 4 мкм, расстояние между столбиками принято 4 мкм. Столбик шероховатости имеет форму гексаэдра. Толщина слоя воздуха захватываемого шероховатой поверхностью бумаги [5] в расчетной модели принята 10 мкм. Смоделированы и рассчитаны варианты расположения фазы жидкости по отношению к шероховатой поверхности с зазором 10 мкм с высотой столба увлажняющего раствора 60 мкм и 80 мкм. С помощью утилиты blockMesh построена геометрия и расчетная сетка для участка взаимодействия увлажняющего раствора с бумагой и проведены расчеты методом объема жидкости (VOF). Для расчета модели применялся решатель interFoam. Визуализация расчетов представлена в пакете ParaView. Представленные результаты численного моделирования показали, что время начала взаимодействия увлажняющего раствора с 5% добавления изопропилового спирта с поверхностью образца составляет от $2 \cdot 10^{-4}$ до $3 \cdot 10^{-4}$ секунд и зависит от объема жидкости в моделируемом пространстве. Воздух, находящийся между столбиками шероховатости, не выдавливается и поверхность жидкости на границе двух фаз является вогнутой. На стенках впадин между столбиками шероховатости возникают отрицательные давления, в направлении которых должен быть направлен поток жидкости. В представленной симуляции, не предусмотрено смачивание стенок столбиков шероховатости, поэтому движения жидкости не наблюдалось. Проделанная работа подтверждает, что первый этап построения численной модели взаимодействия увлажняющего раствора на границе раздела «жидкость-воздух» с шероховатой поверхностью бумаги успешно протестирован. Визуализация расчетов при помощи открытого графического пакета ParaView показала, что при данных допущениях в модели захваченный воздух удаляется с поверхности, но остается между столбиками шероховатости, удерживаясь силами поверхностного натяжения. В качестве следующего шага планируется смоделировать открытие пор бумаги и добавить граничные условия в модели VOF, описывающие смачивание стенок пор, что является постановкой задачи для дальнейших исследований с применением программного пакета OpenFoam.

Работа выполнена при финансовой поддержке в форме гранта DAAD и Министерства образования и науки Российской Федерации по программе «Михаил Ломоносов» (Регистрационный № НИОКТРАААА-А19-119122590132-2). При выполнении работы использовалось оборудование Лейпцигского Университета Прикладных наук (HTWK).

Библиографический список

1. Ультразвуковые методы оценки гидрофобности печатных сортов бумаги / А. А. Губарев, Н. И. Шишкина // Труды БГТУ. – Минск : БГТУ, 2012. – № 9. – С. 52–55.

2. Stankovska, Monika&Gigac,Jurai. (2016). Ultrasound device for measurement of liquids penetration dynamics. Papir A Celuloza.71.

3. George Shields1, Alexandra Pekarovicova, Paul D. Fleming2, Jan Pekarovic2 **,** Papermaking Factors Affecting Lateral Web Position during Commercial Heat Set Web Offset Printing, International Circular of Graphic Education and Research, No. 11, 2018.

4. PDA.C 02 MST - Module standart. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.emtec-electronic.de/en/pda-c-02-mst-module-standard.html свободный. Дата обращения: 03.12.2019.

5. S. Gekle, I. R. Peters, J. M. Gordillo, D. van der Meer, and D. Lohse. Supersonic air flow due to solid-liquid impact.Phys. Rev. Lett., 104:0240501, 2010.

УДК 504.064 : 543.86

ПОИСК НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АММИАКА И ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Реховская Е. О., Нагибина И. Ю.

ФГОУ ВО «Омский государственный технический университет», Россия, г. Омск, пр-т Мира, 11

В настоящий момент мировые исследования в области аналитического приборостроения направлены на разработку приборов определения концентрации аммиака для контроля производственной воздушной среды. Огромное число наиболее крупных техногенных аварий на промышленных предприятиях мира связаны со взрывами и пожарами, вызванными аммиаком. Сейчас создание полупроводниковых сенсоров на аммиак, обладающих высокой чувствительностью, является перспективным направлением развития разработок ученых. Главным преимуществам таких сенсоров является длительный срок службы, большой диапазон измерений концентраций и рабочих температур, высокая селективность, быстрое время регенерации поверхности [1, 2]. Также полупроводниковые материалы можно применять в детекторах для обнаружения маркерных газов в выдыхаемом воздухе в медицинском назначении (экспресс-диагностика заболеваний на ранних стадиях) [3].

Объектами исследования в работе являлись синтезированные соединения $(CdS)_x(ZnTe)_{1-x}$. Для оценки средней силы кислотно-основных центров поверхности использовали измерение pH–изоэлектрического состояния в водной среде и после экспонирования в аммиаке [4, 5]. Для изучения кислотно-основных свойств поверхности, а также выяснения природы адсорбционных комплексов, применяли ИК-спектроскопический метод исследования.

На рисунке 1 приведены результаты полученных $pH_{изо}$, свидетельствующие о слабокислом характере поверхности и преобладании кислотных центров. Учитывая преобладание на поверхности полупроводников кислотных центров, можно предположить, что исследуемые образцы будут обладать повышенной активностью к основным газам. Исходя их этих соображений, был выбран аммиак, как один из важных компонентов отходящих газов в современной химической и нефтехимической промышленности.

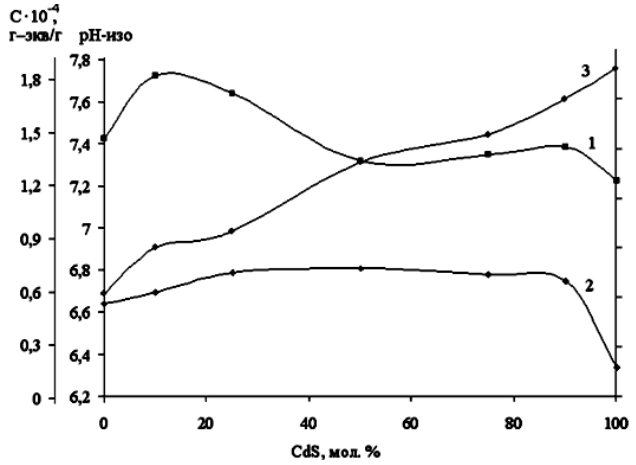


Рис. 1. Концентрационные зависимости показателей кислотности поверхности: 1 – $pH_{изо}$ при экспонировании в атмосфере аммиака; 2 – $pH_{изо}$ при хранении на воздухе; 3 – концентрации кислотных центров $C \cdot 10^{-4}$, г-экв

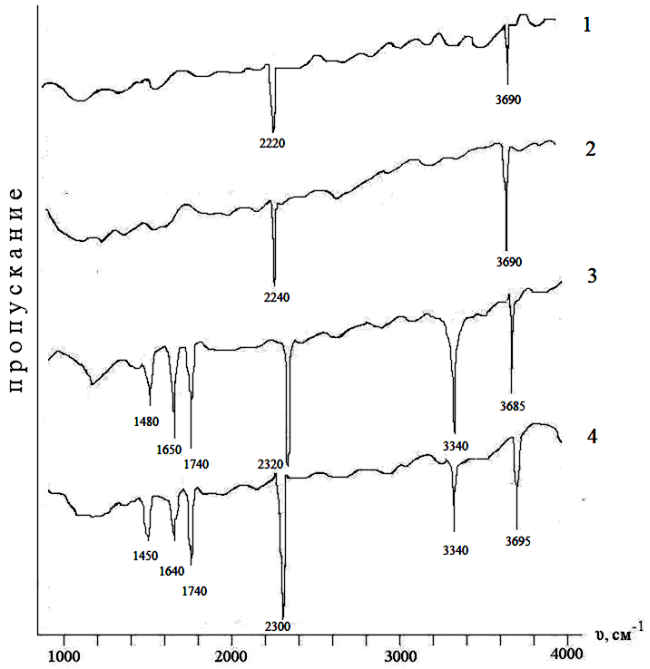


Рис. 2. ИК-спектры пропускания компонентов системы: 1 – $(CdS)_{0,1}(ZnTe)_{0,9}$; 2 – $(CdS)_{0,25}(ZnTe)_{0,75}$ (выдержанные на воздухе); 3 – $(CdS)_{0,1}(ZnTe)_{0,9}$; 4 – $(CdS)_{0,25}(ZnTe)_{0,75}$ (в аммиаке)

При экспонировании изучаемых материалов в аммиаке происходит смещение значений pH-изосостояния в более щелочной диапазон. Наиболее ярко данное явление прослеживается для твердых растворов $(CdS)_{0,1}(ZnTe)_{0,9}$ и $(CdS)_{0,25}(ZnTe)_{0,75}$, где отмечаются максимумы адсорбционной чувствительности. Данный эффект изменения $pH_{изо}$ свидетельствует об интенсивном взаимодействии указанного газа с поверхностью образцов.

Все ранее полученные результаты подтверждаются и согласуются с результатами ИК-спектроскопических исследований поверхности компонентов системы CdS – ZnTe (рис. 2). Методом ИК спектроскопии пропускания изучена адсорбция молекул NH_3 на поверхности $(CdS)_x(ZnTe)_{1-x}$ (при x = 0,1 и 0,25).

Таким образом, на основе комплексных физико-химических исследований поверхности компонентов системы CdS-ZnTe определена их чувствительность к аммиаку (газу щелочного характера). Для изучения взаимодействия в системе адсорбат-адсорбент был выбран аммиак, как высокотоксичный элемент отходящих газов нефтехимического и химического производства. По результатам полученных $pH_{изо}$, неводного кондуктометрического титрования, ИК-спектроскопических исследований образцов был определен оптимальный состав, наиболее чувствительный к выбранному газу – $(CdS)_{0,1}(ZnTe)_{0,9}$ и $(CdS)_{0,25}(ZnTe)_{0,75}$. Именно его можно использовать в качестве материала для датчика аммиака [6, 7].

Библиографический список

1. J. Wang, X. Wei, P. Wangyang, Gas–sensing devices based on Zn–doped NiO two–dimensional grainy films with fast response and recovery for ammonia molecule detection // Nanoscale Research Letters. – 2015. – Т. 10. – № 1. – P. 1–9.

2. S. Capone, A. Forleo, L. Francioso, R. Rella, P. Siciliano, J. Spadavecchia, D. S. Presicce, A. M. Taurino, Solid state gas sensors: state of the art and future activities // J. Optoelectronics Adv. Mater. – 2003. – Vol. 5. – №. 5. – P. 1335–1338.

3. А.О. Нефедов, А.А. Ганеев, С.Н. Новиков, А.В. Нефедова, А.А. Барчук, К.Э. Гагуа, С.А. Тарков, Н.Ю. Аристидов, А.В. Арсеньев, Возможности диагностики рака легких с помощью прямого анализа выдыхаемого воздуха с использованием газовых сенсоров полупроводникового электронного носа // Исследования и практика в медицине. – 2019. – Т. 6. – № 5. – С. 50.

4. E. O. Karpova, I. Yu. Nagibina, A. S. Makarova, The synthesis, x–ray diffraction, and optical properties of the CdS–ZnTe semiconductor system // Journal of Optical Technology – 2015. – Vol. 82. – № 6. – P. 388–392.

5. I. Yu. Nagibina, E. O. Rehovskaya, Possibility of application of new materials for detecting and monitoring ammonia (Conference Paper) // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2141, Issue 1.

6. Р. Б. Васильев, Л. И. Рябова, М. Н. Румянцева, А. М. Гаськов, Газовая чувствительность границ раздела в полупроводниковых материалах // Сенсор. – 2005. – № 1. – С. 21–47.

7. L. Li, P. Gao, M. Baumgarten, K. Müllen, N. Lu, H. Fuchs, L. Chi, High performance field-effect ammonia sensors based on a structured ultrathin organic semiconductor film // Advanced Materials. – 2013. – Т. 25. – № 25. – P. 3419–3425.

УДК 655.3.022.55

УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПЕЧАТАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ФЛЕКСОГРАФСКОЙ ФОРМЫ ПРИ ВНЕШНЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Роев Б. А., Могинов Р. Г.

Московский политехнический университет, Россия, Москва, ул. Б. Семеновская, 38

Во флексографской печати, как известно, применяются фотополимерные печатные формы. При этом фотополимер является продуктом вторичной переработки нефти. В результате переработки получают сырье, используемое для производства каучука, полиэтилена, полимера, полиэтанола и т.д.

При флексографском способе печати существует ряд проблем, которые могут снизить качество воспроизводимого изображения. Их необходимо учитывать в технологических процессах. Известно, что качество печатной продукции характеризуется такими основными показателями как: графическая и градационная точность воспроизведения изображения. Эти показатели определяются преимущественно свойствами и характеристиками печатной формы [1, 2]. Флексографская печатная форма выполняет функции переноса краски на запечатываемый материал, поэтому ее роль в формировании изображения на оттиске значительно возрастает [3].

Целью печатного производства, как известно, является изготовление продукции максимально возможного высокого качества. Значения тоновых и цветовых величин на стадии печати подвержены отклонениям от идеальных градационных кривых, характеризующих процесс воспроизведения. Одна из основных причин такого отклонения – растискивание, весьма значительна при флексографском способе печати [4, 5].

Применяемые в настоящее время флексографские печатные формы изготавливаются по аналоговой и цифровой технологиям. Структура фотополимерных форм, изготовленных по различным технологиям, существенно различается, поскольку формирование печатающих и пробельных элементов осуществляется в толще фотополимеризующейся композиции под влиянием одинаковых процессов [6]. В результате

печатающий элемент представляет собой усеченный конус, причем оптимальным углом при основании конуса считается угол, равный 70 ± 5^0.

В работе исследован процесс деформирования печатаюшего элемента флексографской печатной формы из эластомерного фотополимера при нагружении в зоне контакта. При решении поставленной залачи использовались основные положения деформационной теории пластичности. Были определены деформации печатающих элементов в упругой и упруго-пластической стадиях. Видно, что на деформацию печатающего элемента существенно влияют геометрические размеры нижнего основания. Увеличение диаметра нижнего основания приводит к уменьшению деформации в упругой и упруго-пластической стадиях. При этом происходит сглаживание границы перехода из одной стадии в другую. Следует заметить, что в упруго-пластической стадии деформирования значительно изменяется геометрическая форма печатающего элемента, которая не восстанавливается. Это влияет не только на качество печати, но и на прочность печатающего элемента [7].

Таким образом можно диагностировать влияние геометрии растровой точки на величину усиления тона, т.е. на увеличение относительной площади печатающих элементов. Результаты решения этой задачи могут быть использованы для корректировки технологических процессов, определения нагрузочных характеристик и износостойкости печатных форм.

Предложенная в статье методика и результаты численного моделирования процесса деформации печатающих элементов позволяют решать широкий спектр задач по диагностике изменения их размеров в процессе печати, влияющего на качество печатного оттиска.

Библиографический список

1. J. Johnson, Aspects of Flexographic Print Quality and Relationship to some Printing Parameters. Dissertation. Karlstad University Studies, 2008. www.kau.se.

2. Mahovic Poljacek, S., Cigula, T., Tomasegovic, T. and Brajnovic, O., 2013. Meeting the quality requirements in flexographic plate making process. International Circular of Graphic Education and Research, 6, pp. 62–69.

3. С.В. Медведев, С.А. Барташевич, Т.А. Ковальчук,. Методы и способы повышения качества флексографских фотополимерных форм // Труды БГТУ. Сер. IX. Издат. дело и полиграфия. – 2008. – Вып. XVI. – С. 29–32.

4. Eric Langner: Untersuchung des Verhaltens von Druckfarbe und Klischee im Flexodruck mittels optischer Erfassung im Druckspalt. *Engl. Investigation* of ink und plate behavior in the of a flexographicprinting process using optical inspection. February 2014. Supervisor: Constanze Ranfeld and Felipe Fernandes.

5. Т. Готсик, Изучение природы растискивания во флексографии. Теоретические и эмпирические модели. // Флексоплюс. – 2014. – № 7. – С. 26–28.

6. Райт П. Какой способ производства клише лучше? / П. Райт // ФлексоДрукРевю и Спецвиды печати. – 2013. – № 3. – С. 10–15.

7. E.V. Barkovskiy, D.M Medyak, M. I. Kulak, Research of wear of flexographic printing plates. Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tehnologii i dizajna. Ser. 1, Estestvennye I tehnicheskie nauki [Bulletin of St. Peterburg State University of Technology and Design. Ser.1, Natural and technical scince], 2015, no. 2, pp. 41–44 (In Russian).

УДК 622.692.4:658.

ДИАГНОСТИКА И ОЧИСТКА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕФТЕПРОВОДОВ

Суходолов А. С.

Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск, пр-т Мира, д. 11

Виды загрязнения внутри нефтепроводов, как и причины отложений различны. Одним из наиболее распространенных видов загрязнения являются парафиновые отложения. Они уменьшают проходное сечение трубы и способны вызвать полную закупорку нефтепровода. Возникновение парафиновых отложений связано с охлаждением перекачиваемой нефти, ее физико-химическими свойствами, изменениями давления в процессе перекачки и физическим процессом выпадения осадка парафина из нефтепродуктов.

Образование отложений неорганических солей на внутренней поверхности нефтегазопромыслового оборудования имеет место при добыче обводненной нефти в процессе разработки большинства месторождений России.

Солеотложение крайне негативно влияет на безопасность эксплуатации трубопроводов. Оно вызывает усиление локальной коррозии металла труб, что приводит к их ускоренному разрушению, сопровождающемуся разливами нефти.

Ситуация усугубляется тем, что выявление участков локальной коррозии трубопроводов на практике очень затруднительно. Солевые отложения, способствуют уменьшению диаметра трубы, следствием чего будет увеличение рабочего давления трубопровода.

Состояние внутренних полостей нефтепроводов оценивают с помощью таких методов, как ультразвуковой, визуальный, измерительный, капиллярный, магнитометрический, акустико-эмиссионный и вибродиагностический контроль, которые позволяют выявить скопление механических примесей в нефтепроводе, состоящих из окалины, песка, ржавчины, воды, асфальтенов и смолистых веществ.

Для очистки внутренние полости трубопроводов используют различные очистные устройства и технологии. Принцип действия данных устройств заключается в вынесении ими загрязнений из очищаемого оборудования в специальные емкости, содержимое которых впоследствии вывозят и утилизируют. Но при этом довольно часто нарушается экологическая обстановка окружающей среды, что вынуждает производителей искать новые методы очищения газо- и нефтепроводов [1].

В работе на моделируемом участке эксплуатации трубопровода в качестве метода очистки рассмотрен метод гидробародинамической очистки трубопроводов [2].

Принцип действия достаточно прост и заключается в следующем. Гидродинамический снаряд, представляющий собой поршень с металлическими, но гибкими лепестками (рис. 1) запускают в трубу после открытия задвижки 1 (рис. 2). Поршень движется в очищаемом трубопроводе в потоке перекачиваемой жидкости

Под высоким давлением вода проталкивает гидродинамический снаряд 2 вперед по трубе. Ввиду именно эластичности металлических лепестков снаряда при прохождении через них воды образуются по периметру центры завихрений мощных гидродинамических потоков. Т.е. используется гидробародинамический эффект, возникающий при прохождении с большой скоростью струи жидкости в кольцевом пространстве между стенкой трубы и очистительным устройством.

Рис. 1. Вид гидродинамического снаряда

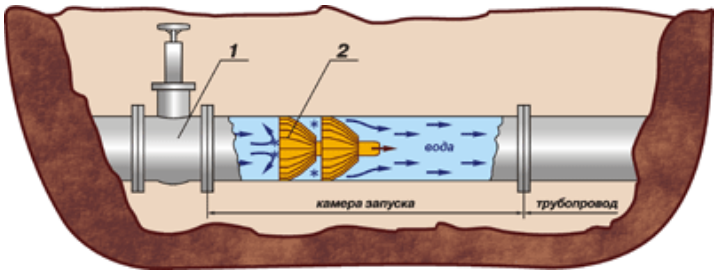


Рис. 2. Размещение гидродинамического снаряда в трубе

Это приводит к ослаблению адгезии загрязняющих отложений по отношению к поверхности нефтепровода, приводят их в дальнейшем к разрушению. Образующийся шлам смывается движущимся вперед потоком воды, выносится из трубопровода и собирается в специальных отстойниках для последующей его утилизации.

Отличительная особенность рассмотренного метода заключается в его экологичности.

Библиографический список

1. Диагностика и очистка газопроводов и нефтепроводов https://intech-gmbh.ru/oil_gas_pipelines_purifying/

2. Гидробародинамический способ очистки внутренней поверхности трубопроводов https://findpatent.ru/patent/205/2055652.html

УДК 622.248.

СНИЖЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ ПОСРЕДСТВОМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВНЕПЛАНОВЫХ ПРОСТОЕВ СКВАЖИН С ПОМОЩЬЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Тигнибидин А. В., Панин Ю. Н., Русанова А. Д.

Омский государственный технический университет, Россия, Омск, Мира, 11

Каждый день, продвигая инновационные технологии в сознание людей – мы бросаем вызов. То поколение, что придет нам на смену должно быть более эрудированным, более быстрым, улучшать технологии следующей ступени развития. На сегодняшний день развития предиктивных технологий получили широкое применение в различных сферах деятельности человека. Основной задачей машинного обучения (Machine Learning) является передача бесценного опыта целого поколения. Огромный поток данных, получаемый от датчиков в процессе бурения скважин, поступает в систему управления и оператору необходимо постоянно контролировать процесс бурения, чтобы избежать критических ситуаций и предотвращать перегрузки. Как на них реагировать знают только опытные специалисты.

Одной из наиболее важной задачей, стоящей в настоящее время у нефтедобывающих компаний, является сокращение количества простоев и оптимизация эксплуатационных затрат за счет прогнозирования изменения величины надежности работы скважинного оборудования. Был проведен анализ потерь упущенной прибыли от простоев при прекращении добычи нефти из-за выхода из строя оборудования (рис. 1).

Рис. 1. Потери от подземного и капитального ремонта скважин (ПРС и КРС), затраты на проведение исследований и работ цеха добычи нефти и газа (ЦДНГ)

С момента выхода из строя оборудования до устранения последствий и возобновления работ уходит от 1 до 2 недель. Необходимо определить и устранить причины увеличения эксплуатационных затрат при изменении технологических показателей эксплуатации скважин по получаемым с датчиков данным.

В качестве предлагаемого решения вероятностного прогноза выхода из строя оборудования в процессе бурения был использован алгоритм машинного обучения «Случайный лес» и предиктивное регулирование работы скважин с использованием цифрового двойника месторождения (геолого-гидродинамическая модель – ГДМ) с применением экспертной оценки (рис. 2).

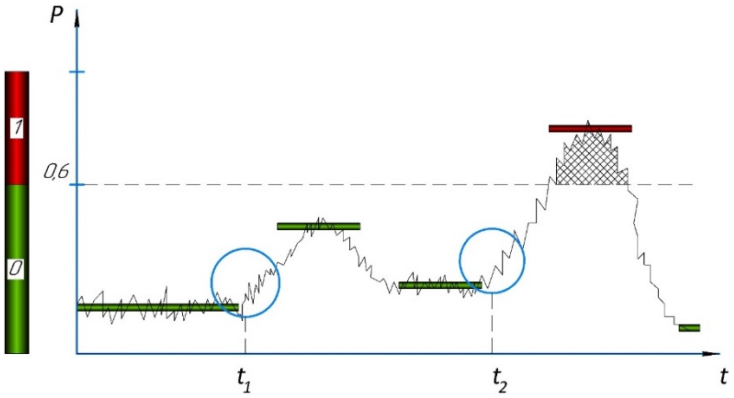


Рис. 2. Внедрение экспертной оценки появления аварийных ситуаций при проведении бурений

При определении экономии от внедрения машинного обучения для принятий решений о проведении ремонтных работ до выхода из строй оборудования на основе полученного прогноза, были использованы реальные данные компании ПАО «ТАТНЕФТЬ».

Таблица 1. Экономическое обоснование применения машинного обучения для снижения эксплуатационных затрат

Экономия за счет сокращения сроков ожидания ПРС на срок эксплуатации насоса, учитывая, что вероятность простоя сократится на 50%, млн руб./год	1121,25
Экономия за счет увеличения срока эксплуатации ЭЦН, млн руб./год	2063,1
Экономия на покупке ЭЦН, млн руб./год	1,15
Итого:	3185,5

Библиографический список

1. А.В. Власенко, А.А. Жданов, Обобщение алгоритма прогнозирования временных рядов производственных систем // Вестник адыгейского государственного университета. Естественно-математические и технические науки. – Майкоп. – 2019. – № 1. – С. 67–73.

2. И.А. Кудрявцева, Анализ эффективности расширенного фильтра калмана, сигма-точечного фильтра калмана и сигма-точечного фильтра частиц. – М.: Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2016. – № 224 (2). – С. 43–51.

УДК 681.518.3

ИНФОРМАЦИОННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ УТЕЧКИ ГАЗА В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

Ураксеев М. А.[1,2], Важдаев К. В.[2,3], Сагадеев А. Р.[2]

[1] *Уфимский государственный авиационный технический университет (Российская Федерация, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12)*
[2] *Уфимский государтсвенный нефтяной технический университет (Российская Федерация, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)*
[3] *Башкирский государственный университет (Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32)*

Исследование возможности применения сетевых технологий в жилищно-коммунальном хозяйстве с разработкой конкретных технических решений в настоящее время является весьма актуальной задачей. В информационно-измерительных технологиях интернет вещей используются различные типы датчиков и преобразователей, в том числе акустооптические датчики [1–4].

В статье рассматриваются и обосновываются следующие основные цели исследования:

• исследование возможностей мониторинга и удаленного управления подачи и контроля газа жилых зданий;

• исследование возможностей удаленной диагностики состояния газовой системы здания или объекта;

• сравнительный анализ технологий передачи данных от приборов учета и контроля газа у потребителей к контролирующему органу.

Данная статистика показывает, что при увеличении потребления бытового газа, количество таких случаев будет возрастать (рисунок 1).

На данный момент существующие системы контролируют одинарные параметры, такие как расход газа, утечку газа и т.д.

Таким образом, задача повышения функциональных возможностей системы сигнализатора загазованности для зданий и сооружений является актуальной и требует безотлагательного решения.

Целью настоящего проекта является создание беспроводной системы контроля утечки газа для обеспечения безопасности дома. Бытовой газ представляет собой легковоспламеняющуюся смесь углеводородов (состоящие в основном из пропана и бутана), используемые в качестве топлива в бытовых приборах и транспортных средствах, а также в промышленности.

Этот проект обнаруживает утечку бытового газа и предупреждает клиента об утечке и контролирует ее. Информационная автоматизированная система контроля утечки газа в зданиях и сооружениях обеспечивает безопасность и предотвращает удушье и взрыв из-за утечки газа.

Рис. 1. Количество пожаров с нарушением правил эксплуатации бытовых газовых устройств

Данный проект является – это новый подход безопасности. В одном корпусе объединены электронный счетчик учета бытового газа и датчики (утечки газа, датчик температуры (высокой температуры, возникающей при пожаре) и дыма). При возникновении одного из сигналов от датчиков – система блокирует подачу газа в здание и сооружение, посылает сигнал на телефон и личный кабинет физического лица, а также на пульт дежурного оператора, у которого на экране монитора появляется информация об утечке бытового газа/пожаре с геолокацией (улица, дом, квартира).

Утечка газа обнаруживается датчиком газа. Он предупреждает клиента с помощью LPWAN-радиомодема, одновременно активируя сигнализацию и вытяжной вентилятор. Система работает автономно. Питание осуществляется от встроенных аккумуляторов. Обмен данными осуществляется по беспроводному каналу от встроенного LPWAN-радиомодема. Эффективная дальность передачи показаний составляет 10 км в условиях плотной городской застройки и 50 км на открытой местности. А благодаря высокой проникающей способности сигнал способен легко проходит через бетонные стены и металлические шкафы. Энергоэффективная технология экономно расходует ресурс батареи. Один источник питания обеспечивает 10 лет автономной работы.

Библиографический список

1. К. Уорден, Новые интеллектуальные материалы и конструкции. Свойства и применение. – Москва: Техносфера, 2006. – 224 с.

2. Р.Г. Джексон, Новейшие датчики. – Москва: Техносфера, 2007. – 284 с.

3. К.В. Важдаев, А.Г. Губайдуллин, Волоконно-оптические датчики на акустооптическом эффекте // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2011. – № 2. – С. 36–40.

4. М.А. Ураксеев, К.В. Важдаев, Акустооптические датчики физических величин. – Уфа: Уфимская государственная академия экономики и сервиса, 2008. – 111 с.

УДК 681.5:66.012

К ПРОБЛЕМЕ КООРДИНАЦИИ ЛОКАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПО МЕТОДУ ЯВНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ

Ху Вен-Цен[1], Беляев П. С.[2], Варепо Л. Г.[3], Кожабекова П. А.[1], Усенова А. Ж.[1]

[1] *Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, 160012, Казахстан,* г. Шымкент, пр. Тауке Хана,5

[2] *Тамбовский государственный технический университет Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106*

[3] *Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г. Омск, пр-т Мира, д. 11*

Метод явной декомпозиции *(feasible decomposition method)* [1] является классическим для децентрализованного управления и обладает важными достоинствами, однако затруднен для практической реализации. Предложен вариант рабочей формализации метода, устраняющий указанные затруднения. Сформулированы практические рекомендации и требования, предъявляемые к алгоритмам локального и координационного управления.

Идея метода заключается в том, что задача управления вида:

$$\sum_{i=1}^{N} f_i(x_i, u_i) \to \max_{u},$$

$$y_i = g_i(x_i, u_i), \quad i = 1,2,..., N \tag{1}$$

$$h_i(x_i, u_i) \geq 0, \quad i = 1,2,..., N$$

$$x_i - \sum_{i=1}^{N} c_{ij} \cdot y_j = 0 \quad i = 1,2,..., N$$

сводится к N локальным задачам управления:

$$f_i(\overset{0}{x}_i, u_i, \overset{0}{y}_i) \to \max_{u_i};$$

$$\overset{0}{y}_i = g_i(\overset{0}{x}_i, u_i)$$

$$h_i(\overset{0}{x}_i, u_i) \geq 0 \tag{2}$$

$$i = 1, 2, \ldots, N$$

и задаче координации:

$$\sum_{i=1}^{N} f_i\left(\overset{0}{u}_i(x_i, y_i)\right) \to \max_{x,\, y \in S}$$

$$S = \left\{ x, y : \begin{array}{c} x_i = \sum_{j=1}^{N} c_{ij} y_j, \; i = 1,2,..., N; \\ \overset{o}{u}_i(x, y) \in U_i, \quad i = 1, \ldots, N - \textit{существуют} \end{array} \right\} \tag{3}$$

Для решений локальных задач $\overset{0}{u}_i$ в общем случае не представляется возможным задание функциональной зависимости от переменных x,y, в связи с чем проблематично задание множества S в задаче координации (3).

Можно показать, что задача управления (3) эквивалентна задаче:

$$F(r) = \sum_{i=1}^{N} f_i(r_i) \to \max_{r \in R} \tag{4}$$

$$R = \left\{ r : x_i = \sum_{j=1}^{N} c_{ij} y_j; \; \forall x, y \exists \overset{0}{u}_i(x, y), i = 1,2,..., N \right\}$$

$$y_i^{\max} \geq y_i \geq y_i^{\min}, i=1,2,\ldots,N$$

$$y_i^{\min}(x) = \min_{u_i \in U_i} g_i(x_i, u_i) \; ; \; y_i^{\max}(x) = \max_{u_i \in U_i} g_i(x_i, u_i)$$

Таким образом, задача координации (4) становится формализуемой в классе оптимизационных задач нелинейного программирования с ограничениями типа неравенств, для которых известны высокоэффективные алгоритмы решения.

Сформулировать следующие требования, предъявляемые к алгоритму координации:

- гарантированная сходимость к оптимальному решению;
- минимальное число шагов для отыскания оптимума;
- низкая чувствительность к изменению начальной точки поиска;
- надежность в работе;
- устойчивость вырабатываемых решений.

Требования к алгоритмам локального управления:

- простота реализации и высокая скорость сходимости;
- универсальность, выражающаяся в способности решать широкий класс задач с различным типом целевых функций и ограничений.

_ способность автоматически отыскивать начальную точку поиска, адаптированную к изменяющимся условиям в решаемых задачах.

Библиографический список

1. Ху Вен-Цен. Особенности оптимального управления сложными технологическими системами // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2008. – № 3(52). – С. 78–83.

УДК 681.5:66.012

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПО МЕТОДУ ЯВНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ

Ху Вен-Цен[1], Беляев П. С.[2], Варепо Л. Г.[3], Изтаев Ж. Д.[1], Маханова З. А.[1]

[1] *Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, 160012, Казахстан, г. Шымкент, пр. Тауке Хана, 5*

[2] *Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 106*

[3] *Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск, пр-т Мира, д. 11*

Реализация метода явной декомпозиции [1], являющегося классическим, сопряжена с определенными затруднениями, обусловленными недостаточной проработкой в части важных рабочих деталей. Предложен вариант рабочей формализации метода, устраняющий данные затруднения. Для проверки его правомерности проводилось экспериментальное моделирование децентрализованного управления модельным технологическим процессом.

Тестовая задача управления формулируется в виде:

$$\overline{F}(u) = \sum_{i=1}^{4} 10000(2z_i - 1) \to \max_{u}$$

$$y_i = \frac{11x_i - u_i z_i}{11},\ i = \overline{1,4}$$

$$z_i = 2y_i,\ i = \overline{1,4}$$

$$z_5 = 1{,}1x_5 - 0{,}1y_5 \qquad (1)$$

$$x_1 = \frac{3 + x_r}{11}$$

$$x_i = y_{i-1},\quad i = \overline{2,5}$$

$$x_r = y_5$$

$$u = (u_1,u_2,u_3,u_4);\quad 0 \le u_i \le 1,\quad i = \overline{1,4}$$

Задача (1) представляет собой модификацию известной модельной задачи, широко используемой [2] при экспериментальном исследовании эффективности методов и алгоритмов оптимального управления технологическими процессами.

В экспериментальных исследованиях для решения возникающей задачи координации использовался алгоритм поиска оптимума на основе Комплексного метода Бокса. Для решения локальных задач – алгоритм поиска оптимума по Методу скользящего допуска, объединенному с Комплексным методом Бокса [3].

Полученные результаты исследования показывают, что погрешность экспериментального решения лежит в пределах 3% по оптимальным значениям управляющих переменных и 1% по оптимальному значению целевой функции, с пренебрежимо малыми отклонениями в ограничениях – равенствах задачи. Такая погрешность может считаться приемлемой для реальных систем управления технологическими процессами.

Анализ экспериментальных данных позволяет прийти к следующим основным выводам:

Предложенный вариант рабочей формализации метода явной декомпозиции является правомерным.

Разработанные обоснования позволяют привести трудно формализуемую задачу координации к виду обычной задачи нелинейного программирования с ограничениями типа неравенств, для решения которых применимы эффективные численные процедуры экспериментального поиска оптимума.

Использованные в экспериментальных исследованиях алгоритмы и компьютерные программы для решения локальных задач управления и задачи координации, могут быть признаны как прошедшие апробацию и рекомендованы для внедрения в реальных децентрализованных системах управления, функционирующих на основе метода явной декомпозиции.

Библиографический список

1. Ху Вен-Цен. Особенности оптимального управления сложными технологическими системами // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М.Тынышпаева. – 2008. – № 3 (52). – С. 78–83.

2. C. Brosilow, L.A. Lasdon, Two levee optimization technique for recycle processes // I.A.Ch.E. – I.Chem.E., Symposium Series. – 1965. – № 4. – P. 75–83.

3. Д. Химмельблау, Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975. – 534 с.

УДК 675.92.035.2

ОЦЕНКА УДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ФИЛЬТРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ ДЕНСИТОМЕТРИИ

Литунов С. Н.[1,a)], Немирова Л. Ф.[2], Сысуев И. А.[1], Ташпулатов С. Ш.[3], Черунова И. В.[4], Гребенников И. О.[1], Колпаков З. М.[1]

[1] *Омский государственный технический университет, Россия, Омск, пр. Мира, 11*
[2] *ООО «МИНСП» Россия, Омск, ул. Булатова, 99*
[3] *Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекитсан, Ташкент, ул. Шохжахон, 5*
[4] *Донской государственный технический университет, Россия, Ростовская область, Шахты, ул. Шевченко, 147*

В работе исследована возможность комплексной оценки удерживающей способности фильтрующих текстильных материалов по совокупности гравиметрических и оптических характеристик. Приведены фотографии поверхности образцов с различной степенью загрязнения, статистические показатели удерживающей способности и оптической плотности для нетканого материала, графики зависимости оптической плотности от степени загрязнения.

Предметом исследований являлась оптическая плотность загрязняющего вещества, удержанного текстильным материалом в процессе фильтрации газовой среды, содержащей частицы твердого вещества. Были исследованы образцы нетканого полотна, произведенного способом «stitchbonding process type Malifleece» (ООО «Леном», Омская обл.) [1, 2]. В качестве загрязняющего вещества использовался технически углерод серии Р-110 (произведен ООО «Омсктехуглерод»). Испытания проводили на лабораторной установке. В ходе испытаний изменяли количество технического углерода, что позволило получить образцы с различным количеством удержанного загрязняющего вещества. Для образцов определяли удельную массу удержанного загрязняющего вещества (г/м^2), как разность массы образца до и после испытания, отнесенную к площади загрязненного участка. Оптическую плотность измеряли спектрофотометром Gretag Macbeth SpectroEye (Германия).

По результатам совокупности исследований, выполненных авторами [1–6] установлено, что методом денситометрии для фильтрующих текстильных материалов могут быть получены зависимости оптической плотности от количества удержанного загрязняющего вещества. Это позволяет исследовать механизм удержания частиц в структуре материала, а также установить момента образования на поверхности фильтрующего материала сплошного слоя (кейка). Такие данные необходимы для прогнозирования жизненного цикла, установления момента очистки или замены фильтрующей среды. В исследованном полотне образование кейка произошло при удельной массе загрязняющего вещества 10 г/м^2, чему соответствует оптическая плотность 1,72 ед.

Показана возможность проведения объективного контроля состояния фильтра путём измерения и оценки оптической плотности поверхности его фильтрующей среды методом денситометрии, что существенно упростит оценку текущего состояния фильтра и прогноз его дальнейшего использования. Разработка прибора, позволяющего измерять оптическую плотность дистанционно, даст возможность оценивать состояние фильтра и необходимость его замены в труднодоступных местах.

Библиографический список

1. L. F. Nemirova, V. L. Shtabnova, S. N. Litunov, N. Y. Filkin, Experimental studies of flax-containing nonwoven fabric properties as a filter material, in Oil and gas engineering (OGE 2017), Omsk State Technical University, Russian Federation, 25–24 April 2017. Procedia Engineering. – 2017. – V. 152. – P. 270–275.

2. Л. Ф. Немирова, С. Н. Литунов, А. И. Блесман, В. Л. Штабнова, Экспериментальные исследования структуры льняного модифицированного волокна. Ученые Омска – региону. Материалы II Региональной научно-технической конференции. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2017. – С. 128–130.

3. И. В. Черунова, И. В. Куренова, Л. А. Осипенко, Е. А. Щеникова, С. А. Колесник, Защитные свойства спецодежды в условиях нефтедобычи // SWorld. – 2011. – № 3. – С. 14–15.

4. V. Cherunova, S. A. Kolesnik, S. V. Kurenova, Y. V. Eremina, A. V., Merkulova, P. V. Cherunov, Study of the structural and acoustic protection of human // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – V. 10. № 19. – P. 506–512.

5. И. В. Черунова, Е. Б. Стефанова, С. В. Князева, О. П. Медведева, Н. И. Юстина, Исследование поверхностных свойств волокнистых материалов с учетом климатических условий средовых пространств строительных объектов / Инженерный вестник Дона, № 3 (2018). URL: http://www. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5164] (дата обращения: 10.01.2020).

6. Д. В. Тимофеев, И. В. Черунова, С. А. Гридин, А. В. Меркулова, С.В. Токарева, Методика оценки оптических свойств материалов // Международный журнал экспериментального образования. – 2011. – № 8. – С. 168–169.

УДК 681.518.5

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Демин А. М.[1], Горчакова А. А.[2], Науменко А. П.[1], Одинец А. И.[1]

[1] *ФГОУ ВО «Омский государственный технический университет», Россия, г. Омск, пр-т Мира, 11*
[2] *Омский государственный университет имени Ф. М. Достоевского, Россия, г. Омск пр. Мира, 55а*

Важнейшей задачей при разработке системы контроля состояния технических устройств является выбор системы определяющих критериев его состояний [1, 2, 3]. Сложность решаемой задачи системы мониторинга состояния теплообменного оборудования реакторного блока процесса гидроочистки дизельного топлива по режимным параметрам обусловлена множеством факторов, влияющих на технологический процесс [4, 5].

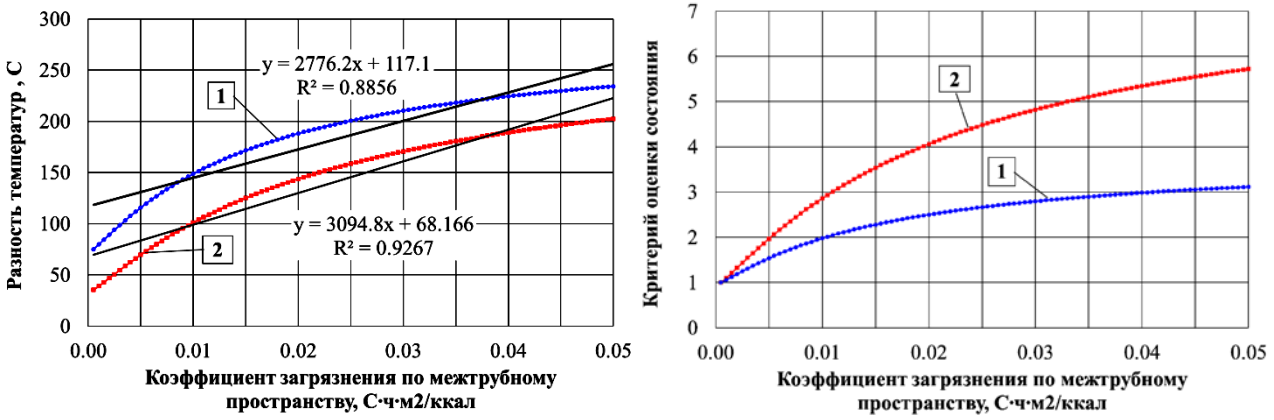
Целью работы является анализ влияний коэффициентов загрязнений на параметры теплопередачи в теплообменных аппаратах. При этом решается задача определения наибольшей чувствительности технологических параметров к изменению коэффициента теплопередачи.

Предложенная технология контроля состояния теплообменников основывается на оценке режимных параметров процесса теплообмена между потоками реакторного блока установки гидроочистки дизельных топлив [4, 5].

В основе исследований лежит расчёт кожухотрубных теплообменных аппаратов, служащих для нагрева газосырьевой смеси (ГСС) за счёт тепла газопродуктовой смеси (ГПС), выходящей из реактора, заключающийся в определении температуры нагрева ГСС и охлаждении ГПС при постоянной поверхности теплообмена.

В расчётах использовались такие параметры технологического процесса, как тепловая нагрузка теплообменника, коэффициенты теплоотдачи по корпусу и по трубам, перепад давления по корпусу и по трубам, полезная нагрузка, КПД и полная нагрузка печи, калорийность, потребление и цена топлива, количество рабочих часов в году, стоимость потреблённого топлива за год, тепловая нагрузка холодильника, потребление и цена электроэнергии, температура ГСС и ГПС на входе и на выходе, доля пара ГСС и ГПС на входе и на выходе теплообменника, среднелогарифмическая разность температур, разность температур на горячей и на холодной сторонах, коэффициенты теплопередачи, критерии оценки состояния на горячей и на холодной сторонах.

Численное моделирование процесса теплообмена при различных параметрах коэффициента загрязнения по трубному и межтрубному пространству, а также, соответствующих коэффициентов теплопередачи позволило выявить, что наибольшей информативностью обладает такой параметр, как отношение средней разности температур (рис. 1 *а*) на горячей стороне теплообменника в текущий момент времени к средней разности температур на горячей стороне теплообменника при чистой поверхности теплообмена (рис. 1*б*).



а) *б)*

Рис. 1. Зависимости разности температур на холодной (1) и горячей (2) сторонах теплообменников и соответствующих критериев состояния от коэффициента загрязнения по межтрубному пространству

Таким образом, предложенная технология и система мониторинга теплообменного оборудования основывается на сравнении текущей разности температур на горячей стороне реального и эталонного аппаратов и, соответственно, определении критерия оценки состояния при реальных параметрах технологического процесса. В случае превышения граничного значения величины критерия оценки состояния делается вывод о недопустимой степени загрязнённости теплообменника.

Библиографический список

1. Костюков В.Н., Науменко А.П. Проблемы и решения безопасной эксплуатации поршневых компрессоров // Компрессорная техника и пневматика. – 2008. – № 3. – С. 21–28.

2. Naumenko A.P. Modern methods and means of on-line monitoring of parameters and real-time health monitoring of piston machines // 8th International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies 2011. 3. 809-821.

3. Костюков В.Н., Науменко А.П. Нормативно-методическое обеспечение мониторинга технического состояния поршневых компрессоров // Контроль. Диагностика. – 2005. – № 11. – С. 20.

4. Корнеев С. В., Демин А. М., Демин М. А. и [и др.]. Диагностика сырьевых теплообменников установок гидроочисток дизельных топлив с помощью моделирующих программ // Динамика систем, механизмов и машин. – 2014. – № 2. – С. 96–103.

5. Маленьких В. С., Демин А. М., Демин М. А. [и др.]. Параметрическая диагностика теплообменного оборудования // Мир нефтепродуктов. – 2015. – № 5. – С. 35–43.

УДК 681.12-032.32

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Клопов В. В.[1], Николаева Е. В.[1]

[1] *ФГОУ ВО «Омский государственный технический университет», Россия, г. Омск, пр-т Мира, 11*

Для измерения энергии транспортируемой или потребляемой нефти необходимо измерять различные параметры.

Измерение нефти – это фаза в цепочке создания стоимости поставок углеводородов, где усилия по разведке и добыче превращаются в прибыль для операторов, инвесторов и других соответствующих заинтересованных сторон. Измерение углеводородов осуществляется с использованием специализированного и высокоточного оборудования для обеспечения точности.

Для небольших объемов (1-100 баррелей нефти в день) измерение масла проводится непосредственно из резервуаров в ходе работы.

Для больших объемов (100-100000 баррелей нефти в день) операторы обычно используют систему автоматической откачки нефти потребителю, называемую блоком АОНП.

На рынке представлен широкий спектр оборудования для измерения расхода нефти и газа. Выбор правильного оборудования будет зависеть от типа жидкости, подлежащей дозированию.

Узлы автоматической сдачи в аренду (АОНП) измеряют объем нетто и качество углеводородов во время перекачки продукта при добыче нефти и газа в среднем потоке. Агрегаты АОНП представляют собой автоматизированные системы измерения, отбора проб и перекачки жидких углеводородов с объемами от 100 до 1000 баррелей / час между резервуаром и линией подачи[2].

Блок ЗУ (узел замера) представляет собой автоматизированную систему для измерения сырой нефти, который содержит несколько измерительных приборов, собранных на стальной раме.

Устройства АОНПмогут точно измерять и отбирать пробы углеводородных жидкостей с вязкостью от 2 до 5000 сСт[2].

Кориолисовые расходомеры считаются одними из самых точных измерительных приборов в отрасли [1]. Однако эти приборы могут иметь погрешность, когда тестируемая жидкость содержит пузырьки.

Турбинные расходомеры для измерения нефти и газа, которые определяют объем жидкости, протекающей через них, многократно задерживая и выпуская некоторое количество жидкости.

Метрология оказывает широкое влияние на ряд секторов, включая экономику, энергетику, окружающую среду, здравоохранение, производство, промышленность и доверие потребителей. В Европе счетчики учета (также известные как счетчики расходов) подпадают под действие таких нормативов, как MID (Директива по измерительным приборам, Директива 2014/32 / UE)[3].

Обобщим итоговый состав средств измерений:

1. преобразователи расхода;
2. преобразователи температуры;
3. преобразователи давления;
4. манометры;
5. термометры.

Первичная измерительная информация поступает в вычислительный блок.

Параметры измерений[4]:

1. расход нефти;
2. давление нефти на входе в СИКН;
3. давление нефти на выходе СИКН;
4. вязкость нефти;
5. плотность нефти;
6. температура перекачиваемой нефти;
7. содержание воды в нефти;
8. содержание хлористых солей в нефти;
9. содержание механических примесей в нефти.

Библиографический список

1. ЙоханнесЭммерлинг. Метрология для сектора природного газа – трехстороннее сотрудничество с Латинской Америкой / Отчет подготовлен для PTB, Брауншвейг и ОАГ, Вашингтон, округ Колумбия, сентябрь 2006 г. Ссылка на источник: https://www.johannes-emmerling.de/PTB-OAS-Study.pdf

2. Сайт DXP/Статья Измерение и измерение нефти и газа и как это работает. Ссылка на источник: https://ifsolutions.com/metering-and-measurement-of-oil-and-gas-how-it-works/

3. Сайт Lifeison. Статья: Интерес законодательной метрологии к биллинговым приложениям. Ссылка на источник: https://blog.se.com/power-management-metering-monitoring-power-quality/2016/09/09/interest-legal-metrology-billing-applications/

4. Национальный институт стандартов и технологий. Ссылка на источник: https://www.nist.gov/system/files/documents/mml/20121114_final_MML_CapabilitiesBro.pdf

УДК 541.183

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО РАСТВОРА (CDTE)0,25(ZNSE)0,75 И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ГАЗОВОМ АНАЛИЗЕ

Подгорная О. Т.[1], Подгорный С. О.[1], Скутин Е. Д.[1], Муромцев И. В.[2]

[1] *Омский государственный технический университет (РФ, г. Омск, пр. Мира, 51)*

[2] *Центр новых химических технологий ИК СО РАН (РФ, г. Омск, ул. Нефтезаводская, 54)*

Использование оксида углерода (II) в качестве сырьевого источника органических синтезов, его токсичность обусловливают необходимость оперативного анализа состава воздуха на промышленных предприятиях.

Эффективным решением обозначенной проблемы является диагностика содержания угарного газа с использованием сенсорных систем на основе наноразмерных полупроводников типа A^2B^6 - A^2B^6 [1,2].

Настоящая работа продолжает цикл исследований компонентов системы ZnSe–CdTe и посвящена синтезу и изучению физико-химических свойств поверхности твердого раствора состава $(CdTe)_{0,25}(ZnSe)_{0,75}$ – нового материала первичных преобразователей полупроводниковых сенсоров-датчиков на микропримеси CO.

Синтез $(CdTe)_{0,25}(ZnSe)_{0,75}$ в форме порошков и нанопленок реализован с использованием методов изотермической диффузии и дискретного испарения в вакууме. Аттестацию объектов исследования производили по данным рентгенофазового анализа (дифрактометр D8 Advance (Bruker)). Расшифровку дифрактограмм осуществляли с привлечением базы данных по порошковой дифракции ICDDPDF-2 2006, EVA (Bruker).

О целесообразности использования $(CdTe)_{0,05}(ZnSe)_{0,95}$ в диагностике CO судили по результатам исследований физико-химических свойств поверхности синтезированных материалов: кислотно-основных (гидролитическая адсорбция) и адсорбционных (методы волюмометрии и пьезокварцевого микровзвешивания, T = 257–453 K, P = 3–30 Па, адсорбаты – CO, O_2 и их смеси). Возможность протекания каталитических реакций исследовали по методике[1].

Синтезирован новый материал первичного преобразователя газовых сенсоров – твердый раствор $(CdTe)_{0,25}(ZnSe)_{0,75}$ в форме порошков и наноразмерных пленок. Выполнены исследования поверхностных физико-химических свойств данного материала по отношению к оксиду углерода (II), кислороду и их смесям.

Разработан полупроводниковый сенсор на микропримеси угарного газа, успешно прошедший лабораторные испытания.

Библиографический список

1. С.О. Подгорный, О.Т. Подгорная, Получение и адсорбционно-каталитические свойства полупроводниковой системы ZnSe–CdTe: монография. – Омск: ОмГТУ, 2013. – 200 с.
2. Podgornyi S.O. et al. Synthesis and surface physicochemical properties of $(CdTe)_{0.03}(ZnSe)_{0.97}$ solid solution // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 944 – P. 012090.

УДК: 53.087.92

КВАРЦЕВЫЙ СЕНСОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

Гошля Р. Ю.[1], Третьяков А. В.[1]

[1] *ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (Россия, г. Омск, пр. Мира, д. 11)*

В настоящее время для решения задач криогенной термометрии используется термометры, принцип действия которых основан на различных физических принципах. К ним относят: газовые термометры; термометры, основанные на изменении давления пара; термометры сопротивления и термопары; шумовые термометры; емкостные термометры; термометры на ядерном парамагнетизме; и др. Измерение криогенных температур имеет свои специфические особенности и трудности, которые возрастают по мере приближения к абсолютному нулю. Наибольшее распространение для измерения низких температур получили термопреобразователи сопротивления и термоэлектрические. Термопреобразователи сопротивления применяют для измерения температур от 0,01...0,02 К и выше. Особенностью использования термопреобразователей сопротивления из металла является то, что их сопротивление при низких температурах становится настолько малым, что затрудняет их измерение. При этом уменьшается коэффициент преобразования термопреобразователя, что влияет на точность измерения. Возрастает влияние дефектов кристаллической решетки материала термопреобразователя на его сопротивление при низких температурах. Уменьшение теплоемкости материалов при низких температурах может привести к существенному отличию собственной температуры чувствительного элемента термопреобразователя от температуры измеряемой среды за счет самонагрева и подвода теплоты по проводам и защитной арматуре.

Термометр на основе пьезоэлектрического кварца использует зависимость изменения собственной резонансной частоты пьезоэлемента от температуры. Основное преимущество кварцевых термометров состоит в том, что в качестве чувствительного элемента применяется пьезорезонатор. Пьезоэлектрический резонатор представляет собой электромеханическую систему, в которой используется явление прямого и обратного пьезоэффекта, которая обычно выполнена в виде двухполюсника, объединяющего системы электрического возбуждения механических колебаний и съема электрического сигнала, пропорционально их амплитуде. В виду целого ряда свойств одним из самых распространенных пьезоэлектриков, применяемых в пьезоэлектрических резонаторах, является пьезокварц. Кварцевые резонаторы имеют высокую добротность 10^5 и более, кратковременную и долговременную стабильность 10^{-4} до 10^{-7}, практически отсутствует гистерезис при механических, температурных и электрических воздействиях. На рис. 1 показаны габаритные размеры и общий вид кварцевого сенсора для измерения криогенных температур.

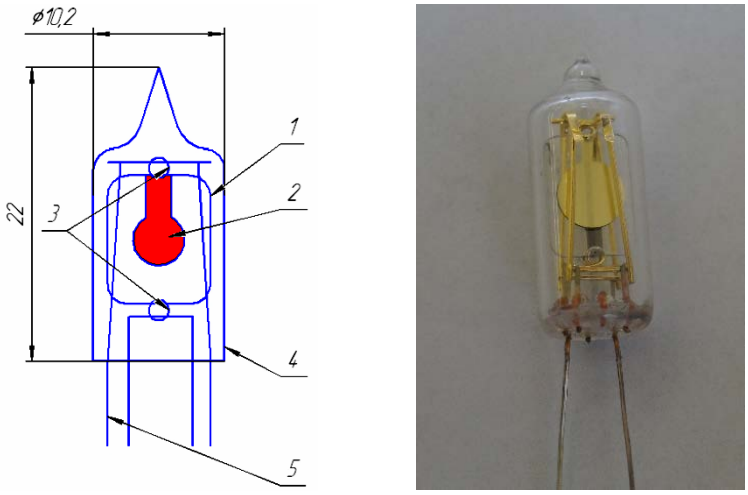


Рис. 1. Габаритные размеры и общий вид кварцевого сенсора для измерения криогенных температур: 1 – кварцевый пьезоэлемент; 2 – тонкопленочные электроды; 3 – контактные пружины; 4 – стеклянный баллон; 5 – выводы для подключения

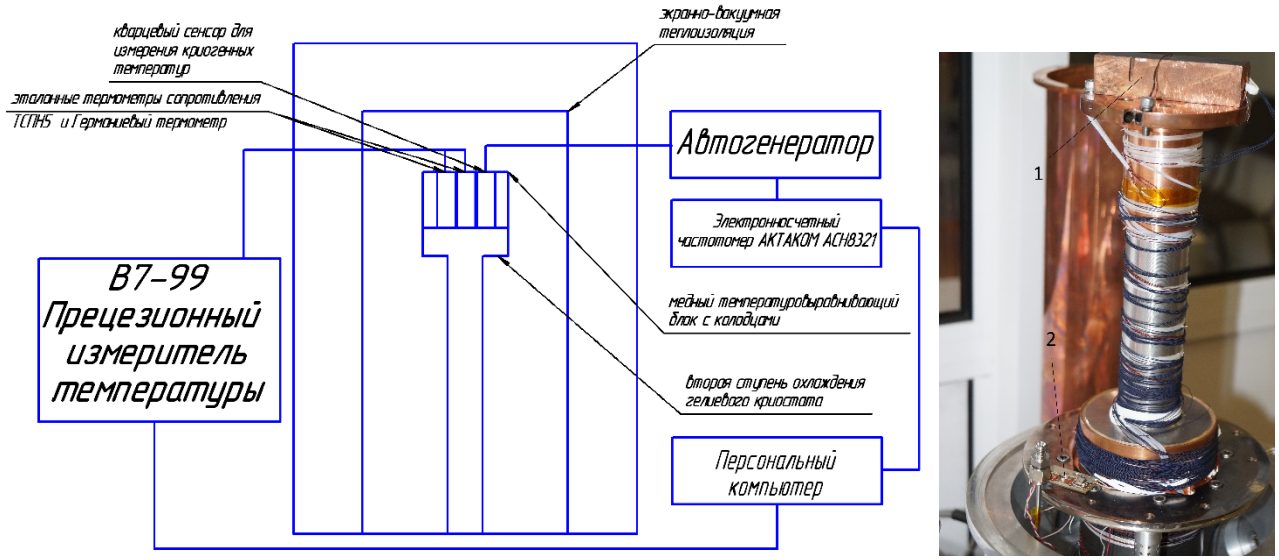
Зависимость резонансной частоты кварцевого чувствительного элемента, конструкция которого приведена на рисунке 2, от изменения его температуры является следствием температурной нестабильности физических параметров кварцевого чувствительного элемента, таких как модуль упругости $C`_{66}$, плотность ρ и размера, определяющего резонансную частоту h (для кварцевого КЭ, совершающего колебания сдвига по толщине – это толщина кристаллического элемента в рабочей области) описывается выражением:

$$f(t) = \frac{1}{2h(t)}\sqrt{\frac{C'_{66}(t)}{\rho(t)}}, \qquad (1)$$

Для улучшения теплообмена между стеклянным баллоном и кварцевым чувствительным элементом, корпус герметизировался с последующим газонаполнением гелием.

Чувствительные элементы датчиков были настроены при помощи ионно-плазменого травления на частоту 5,0 МГц±0,5кГц, при комнатной температуре (23 ºС).

Для исследования зависимости кварцевые датчики были установлены в измерительную ячейку гелиевого криостата замкнутого цикла. На рисунке 2а показана структурная схема стенда для исследования кварцевых криогенных термометров, общий вид гелиевого криостата показан на рисунке 2б.



а *б*

Рис. 2. «а» – структурная схема; «б» – общий вид лабораторной установки

В рабочей камере криостата был установлен температурно-выравнивающий блок, выполненный из меди, в который был установлен кварцевый датчик температуры и эталонный термометр сопротивления.

Температура в криостате изменялась в диапазоне от плюс 100 °С до минус 196 ºС с шагом 5 ºС. Значение температуры в выравнивающем блоке контролировалось при помощи платинового термометра сопротивления первого разряда марки ТСПН-1 и прецизионного измерителя типа В7-99.

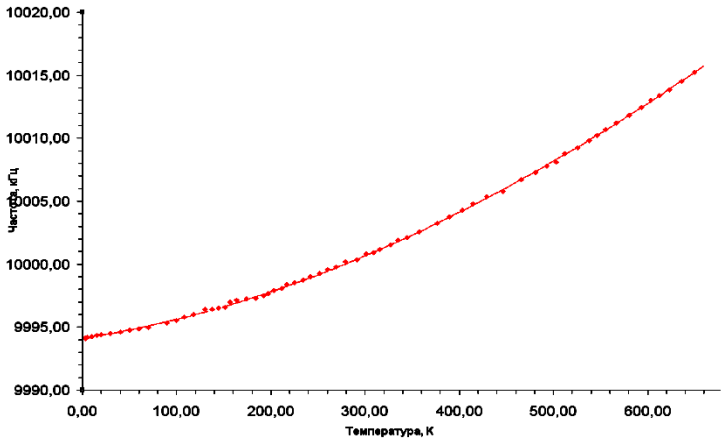


Рис. 3. Зависимость изменения резонансной частоты опытного образца кварцевого температурно-чувствительного элемента

Возбуждение кварцевого резонатора производилось на частоте основной гармоники 5 МГц. Изменение частоты контролировалось при помощи комплекса измерения частоты на базе электронно-счетного частотомера АСН-8321 АКТАКОМ и персонального компьютера.

Проанализировав зависимость изменения резонансной частоты, можно сделать вывод о возможности использования кварцевых термочувствительных срезов для построения систем измерения криогенных температур. Такие системы измерения могут применяться в различных криогенных установках, построенных на базе газовых криогенных машин, таких как: ГКМ Гиффорда Мак-Магона, ГКМ Стирлинга, пульсационная труба, термоакустический охладитель.

Сенсоры температуры на основе пьезоэлектрического кварца по своим характеристикам и параметрам сопоставимы с сенсорами на основе платины и полупроводников, и обладают следующими достоинствами:

1. Простота обработки выходного сигнала;
2. Высокая временная стабильность параметров во времени, вызванная свойствами применяемого материала чувствительного элемента;
3. Независимость показаний от внешних электромагнитных и механических воздействий;
4. Высокая разрешающая способность.
5. Возможность передачи информационного сигнала на большие расстояния.

Библиографический список

1. A.C. Anderson, “Carbon resistance thermometry,” Temperature, Its. Measurement and Control in Science and Industry, vol.4,Instrument Society of America, Pittsburgh, 1972.
2. M. Kuchnir, “Pulsed current resistance thermometry,” Advances in Cryogenic Engineering, vol. 29, 1984.
3. R. Bechmann. "Frequency-Temperature-Angle Characteristics of AT- and BT-Type Quartz Oscillators in an Extended Temperature Range," Proc. IRE, vol. 48, p. 1494; August 1960.
4. *Hideaki I., Masataka N. and Naoya K. A* Paper_Quality Monitor Using a Quartz_Crystal Tuning_Fork Tactil Sensor. 1998IEEE Ultrasonic Symp. P. 312–316.
5. W.G. Cady, Piezoelectricity (McGraw-Hill, New York, 1946).
6. A. Ballato, in Physical Acoustics: Principles and Methods, vol. 13, ed. by W.P. Mason, R.N. Thurston. (Academic Press, New York, 1977), Chap. 5, pp. 115– 181, ISBN: 0-12-477913-1.
7. Hideaki I., Masataka N. and Naoya K. A Paper_Quality Monitor Using a Quartz_Crystal Tuning_Fork Tactil Sensor. 1998 IEEE Ultrasonic Symp. P. 12–316.
8. *Matsiev L.F*. Tuning Fork QCM. Application to Powder and Gel Technology. 2002 IEEE Ultrasonic Symp. P. 468–471.
9. *Hideaki I., Masataka N. and Naoya K. A* Paper_Quality Monitor Using a Quartz_Crystal Tuning_Fork Tactil Sensor. 1998IEEE Ultrasonic Symp. P. 312–316.
10. *Matsiev L.F., Bennett J.W., McFarland E.W.* Application of Low Frequency MechanicalResonators to Liquid Property Measurements. 1998 IEEE Ultrasonic Symp. P. 308–311.

Секция 6

ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК581.192.6:632.151

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА НАКОПЛЕНИЕ СЕРЫ В ХВОЕ ЕЛИ СИБИРСКОЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ОМСКА

Архипов В. Д[1], Иванова Н. В.[2], Воронцова М. А.[2]

[1] *Филиал АО «АБ ИнБев Эфес», Российская Федерация, 644073, Омск, ул. Багнюка, 2*
[2] *ФГБОУ ВО «ОмГУ им. Ф. М. Достоевского», Российская Федерация, 644077, Омск, проспект Мира, 55-А*

Диоксид серы является одним из наиболее опасных экополлютантов техногенного происхождения. По данным Министерства природных ресурсов и экологии Омской области в 2017 году объем выбросов в атмосферу диоксида серы составил 54,5 тыс. тонн от стационарных источников и от автотранспорта 1,1 тыс. тонн (в том числе по Омску 0,4 тыс.тонн) [1].

Для оценки состояния окружающей среды в настоящее время широко используется метод биоиндикации, так как накопление экополлютантов в тканях растений является одним из наиболее информативных показателей [2]. В качестве одного из важнейших диагностических признаков для оценки загрязнения лесов и зеленых насаждений ряд исследователей используют содержание серы в хвое деревьев [3, 4].

Целью данной работы является оценка влияния выбросов SO_2 в атмосферу на накопление серы в хвое деревьев на территории города Омска. В качестве объекта исследования была выбрана ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb), так как по литературным данным хвойные деревья, и, в частности, ель являются наиболее чувствительными к загрязнению атмосферы [4, 5]. В Омске подобные исследования до настоящего времени не проводились.

Образцы хвои второго года жизни из средней части кроны деревьев ели сибирской были отобраны весной 2019 г. на участках, находящихся вблизи городских магистралей Омска с наиболее интенсивным движением автотранспорта, а также на территории СНТ «Дружба», которое находится в стороне от транспортных магистралей, но в непосредственной близости от ТЭЦ. Фоновое содержание серы в хвое определяли в образцах, отобранных на расстоянии 23 км от Омска в лесу близ деревни Подгородка Омского района. Подготовку образцов хвои проводили, как указано в работе [5]. Содержание общей серы определяли турбидиметрическим методом после перевода в сульфат-ионы минерализацией образца смесью хлорной и азотной кислот [6]. Полученные данные представлены в Таблице 1. Наибольшее содержание серы по сравнению с фоновым обнаружено в образцах, отобранных в Сквере выпускников СибАДИ на проспекте Мира. В образце хвои ели с территории СНТ «Дружба» (поселок Степной) содержание серы оказалось сопоставимо с фоновым значением.

Таблица 1. Результаты определения содержания серы в образцах хвои ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.)

Место отбора пробы	%S масс, на сухое вещество	S, мг/г сухого вещества
г. Омск, Сквер выпускников СибАДИ, пр. Мира, 5	0,068±0,004	0,675±0,004
г. Омск, сквер у Концертного зала Омской филармонии, ул. Ленина 27-а	0,044±0,002	0,440±0,019
г. Омск, Бульвар Победы	0,037±0,008	0,372±0,076
г. Омск, территория СНТ «Дружба» (поселок Степной)	0,016±0,005	0,165±0,047
Лес близ деревни Подгородка Омского района Омской области	0,025±0,005	0,248±0,044

Полученные результаты согласуются с литературными данными по содержанию серы в хвое ели сибирской для промышленных центров Сибирского федерального округа [5].

Библиографический список

1. Доклад об экологической ситуации в Омской области за 2017 год // Министерство природных ресурсов и экологии Омской области. – Омск: ООО «Омскбланкиздат», 2018. – 300 с.

2. Г.В. Мотузова, Е.А. Карпова. Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия. Учебник. – М.: Издательство Московского университета, 2013. – 304 с.

3. Л.В. Афанасьева, В.К. Кашин, Т.А. Михайлова, Влияние промышленного загрязнения на накопление серы в хвое сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.) в юго-западном Забайкалье // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. – Т. 13. – № 3. – С. 461–467.

4. О.А. Неверова, Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды // Биосфера. – 2009 – № 1. – С. 82.

5. О. М. Легощина О.М. «Адаптивные реакции и фитоиндикационная способность древесных растений в условиях техногенного загрязнения»: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: 03.02.08. – Кемерово, 2018.

6. Методические указания по турбидиметрическому определению серы в растениях. – М.: Центральный научно-исследовательский институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО), 1986. – 9 с.

УДК 62-622

ВАЛИДАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ В ПРИЛОЖЕНИИ К ЗАДАЧАМ ВОДОРОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Зорина И. Г., Белова О. В.

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5

Большинство катастроф с участием водорода начинаются с его утечки, распространения в воздухе и спонтанной детонации. В качестве безопасной замены водорода в экспериментальных исследованиях используется гелий. В рамках настоящего исследования проведено моделирование процессов распространения гелия в замкнутом объеме с различными способами подвода и организации вентиляции. Промоделированы пять экспериментов в диапазоне режимов от ламинарного до развитого турбулентного, с различными числами Фруда, определяющими режим истечения гелия в воздушное пространство. Проведен анализ применимости различных моделей турбулентности, применяемых для замыкания системы уравнений движения. Сопоставление результатов расчетных исследований с экспериментальными данными показало хорошее соответствие. В частности, для турбулентного и переходного режима истечения погрешность результатов численного исследования лежит в диапазоне от 5 до 15% для всех рассмотренных моделей турбулентности, что указывает на применимость рассмотренных методов к задачам водородной безопасности.

Библиографический список

1. Molkov V. Fundamentals of hydrogen safety engineering. Ventus Publishing ApS, 2012.

2. Saffers J.-B., Molkov V.V. Hydrogen safety engineering framework and elementary design safety tools // International Journal of Hydrogen Energy. – 2014. – Vol. 39, no. 11. – P. 6268–6285.

3. Cariteau B., Tkatschenko I. Experimental study of the effects of vent geometry on the dispersion of a buoyant gas in a small enclosure // ICHS 2011. — San Francisco, USA, 2011.

4. ANSYS, Inc. – ANSYS CFX-Solver Theory Guide, Release 13, 2010.

5. CD-adapco Inc. – USER GUIDE STAR-CCM+ Version 8.02, 2013, 12360 p.

6. ANSYS, Inc. – ANSYS CFX Modeling Guide, Release 13, 2010.

7. Methodology STAR-CD version 4.12 - CD-adapco. CD-adapco Group, 2009, 382 p.

8. Nikolaeva A., Skibin A., Krutikov A., Golibrodo L., Volkov V., Nechaev A., Nadinskiy Y. Validation Of CFD Models For Hydrogen Safety Application // The Proceedings of the International Conference on Nuclear Engineering (ICONE). 2015. DOI:10.1299/jsmeicone.2015.23._icone23-2_47.

УДК 631.427.4

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ БУРОВЫХ ШЛАМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОБОВЫХ КУЛЬТУР (НА ПРИМЕРЕ КЛЕВЕРА)

Зимнухов М. А.[1], Плотникова А. Е.[1]

[1] *ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Россия, г. Тюмень*

Биологический этап рекультивации (биологическая рекультивация) является заключительным этапом многих направлений рекультивации техногенных ландшафтов. Основная цель её заключается в восстановлении физико-химических процессов в нарушенных грунтах для возобновления работ уничтоженных экосистем [3]. Данная мера необходима для перевода земель в категории сельскохозяйственных земель или земель лесных угодий, что позволяет использовать их в хозяйстве.

Биологическая рекультивация применяется при восстановлении территорий карьеров нерудных материалов, при обустройстве отвалов и насыпей, при рекультивации гидроотвалов, при рекультивации территорий свалок и полигонов, при рекультивации земель, нарушенных при подземных горных работах, при рекультивации нефтезагрязнённых земель, в том числе и шламовых амбаров.

Биологическая рекультивация в свою очередь делится на рекультивацию посредством растений и рекультивацию посредством микроорганизмов.

Восстановление земель с помощью растений производится высадкой травосмесей на почву, почти лишённую необходимых питательных веществ. В нефтезагрязнённых грунтах из-за сильной засолённости и вовсе возможна гибель растений, поэтому необходимо вводить микроорганизмы в рекультивируемый объект.

Такими микроорганизмами выступают штаммы клубеньковых бактерий. Специфика их применения заключается в том, что живут они только на корнях бобовых растений. Данный вид бактерий повышает ценность почв и способствует получению лучшего урожая благодаря их способности связывать неорганический атмосферный азот [1]. В результате образуются органические азотсодержащие вещества, которые заменяют минеральные удобрения, что стимулирует рост и созревание растений. Также штаммы клубеньковых бактерий способствуют снижению развития фитопатогенных микроорганизмов и повышению устойчивости растений к неблагоприятным условиям [2].

Целью работы является изучение влияния концентрации солей буровых шламов на жизнедеятельность штаммов клубеньковых бактерий.

В ходе работы был осуществлён подбор солей в соответствии с химическим составом бурового шлама. Нами было выбрано сульфатно-хлоридное засоление $NaHCO_3$: NaCl: Na_2SO_4 с концентрацией 0,4%, 0,8%, 1,4%. Опыт проводился на бобовой культуре – клевере со следующими штаммами клубеньковых бактерий: 340б, 348а, 1360. Фотография клубеньковых бактерий представлена на рисунке 1.

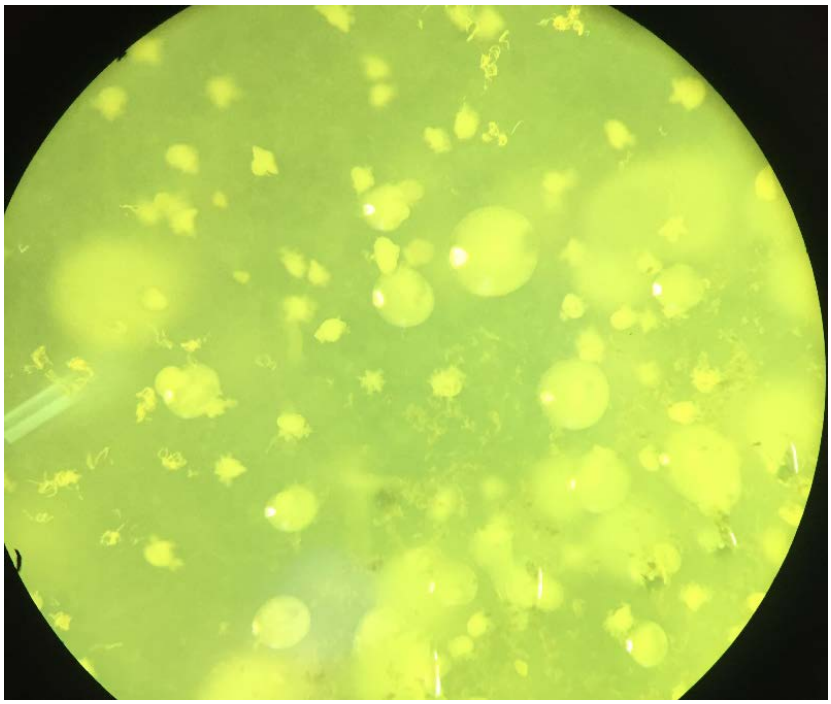


Рис. 1. Штамм 1360 под микроскопом

В результате проведения опыта была установлена наилучшая выживаемость штаммов при различной концентрации солей:

1) При 0,4% наилучшая выживаемость составила у штамма 340б с выживаемостью 7033,9 тыс. КОЕ на 1 мл;

2) При 0,8% – у штамма 1360 с выживаемостью 33505,6 тыс. КОЕ на 1 мл;

3) При 1,4% – у штамма 1360 с выживаемостью 18076 тыс. КОЕ на 1 мл. Анализ данных результатов показывает, что при меньших концентрациях лучше использовать штамм 340б, а при больших – 1360.

Библиографический список

1. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д. Г. Звягинцев – М.: Издательство московского университета – 1991. – 304 с.: ил.

2. Скипин Л. Н. Параметры жизнедеятельности клубеньковых бактерий при изменении эдафических факторов. / Л. Н. Скипин, В. С. Петухова, Н. В. Перфильев, Н. В. Храмцов // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 6. – С. 103–108.

3. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов / И. М. Гаджиев, В. М. Курачев, Ф. К. Рагим-заде [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. – 305 с.

УДК 665.6

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕШЛАМОВ

Колот К. В., Чеснокова М. Г.

Омский государственный технический университет, (Россия, Омск, проспект Мира, 11)

Рост благосостояния населения привел к значительному увеличению потребления углеводородных продуктов и продукции, производимой из них и с их помощью, представленной в весьма широком спектре. Обычно процессы добычи нефти и ее переработки сопровождаются образованием нефтесодержащих отходов, для переработки которых используют различные технологии.

Образование нефтеотходов происходит на самых различных этапах нефтепользования, например, таких как разведка нефтяных месторождений, добыча и переработка нефти, а также использованием нефтепродуктов на нефтебазах, станциях, металлургии, машиностроении, нефтегазовых [1]. Эти отходы носят название «нефтешламы» и являются наиболее опасными и токсичными загрязнителями, которые влияют на поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, почвенно-растительный покров.

Углеводород является основным компонентом нефтешлама, который образуется при изменении свойств сырой нефти в результате изменений внешних условий. Элементным составом нефтешлама является азот, фосфор, калий, железо, медь, кальций, магний, кадмий, фосфат, хром, цинк, натрий и свинец.

Неочищенный маслянистый шлам является постоянной проблемой, приводящей к коррозийным эффектам и уменьшению емкости хранения масла.

Существует целый ряд методов переработки и утилизации нефтешлама, в том числе термический, механический, биологический и химический [2]. В целом, они не являются экономически устойчивыми. В дополнение к затратам на удаление, перемещение и заполнение земель, связанных с очисткой нефтешлама, возникает необходимость его очистки от сопутствующих токсичных соединений. Данные загрязнители включают нефтяные углеводороды, такие как алифатические углеводороды и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ); полихлорированные дифенилы (ПХД) и тяжелые металлы, включая барий, свинец, цинк, ртуть, хром, мышьяк, и никель [3].

Неправильная утилизация нефтешлама в окружающую среду создает серьезную угрозу почвенного микробиоценоза, так как значительные изменения химических и физических свойств окружающих почв, приводит к её морфологическим изменениям.

Неэффективная обработка и ненадлежащая утилизация нефти представляют собой серьезную проблему для здоровья, поскольку приводят к накоплению в окружающей среде углеводородов нефти, которые являются генотоксичными для людей и животных.

В большинстве методов обработки используют три стадии техники обращения с отходами:

1. сокращение производства нефтешлама за счет использования технологий;

2. извлечение нефти из нефтесодержащего ила;

3. удаление невосстановимого нефтешлама.

Одной из основных альтернатив управления нефтешламами является рециркуляция. Рециркуляция – это переработка и переформулирование масляного ила с высокой концентрацией масла (> 50%) и относительно низкой концентрацией твердых веществ (<30%) нефтяной промышленностью для рекуперации энергии. Рециркуляция положительно сокращает объем опасного нефтяного шлама из резервуаров, и, следовательно, способствует предотвращению загрязнения окружающей среды и сокращает экономическое потребление невозобновляемых энергоресурсов [44].

Захоронение нефтешламов в окружающей среде может привести к возникновению риска загрязнения почв нефтепродуктами, солями, преимущественно хлоридами, миграция их в водные объекты, и как следствие, поступление их в живые организмы. При сжигании выделяется в атмосферу огромное количество токсичных газов, что может воздействовать на дыхательные пути организма человека.

Следует отметить, что по мере роста производства нефтепродуктов, увеличения образования нефтешлама, возникает необходимость разработки экономически полезной альтернативы традиционному удалению нефтешлама не оказывая влияния на безопасность здоровья человека. Благодаря разработке инновационных подходов к утилизации и нового применения нефтешлама проблема его утилизации может быть преодолена.

Библиографический список

1. Р.З. Магарил, Теоретические основы химических процессов переработки нефти: учеб. пособ. – М.: КДУ, 2008. – 280 с.

2. С.А. Сеитова, И.Г. Шайхиев, Ф.А. Фаляхова, Х.Г. Тухбиев, Определение токсичности продуктов инертизации нефтешламов отходами полимеров // Вестник Казанского технилогического университета. – 2018. – Т. 21. – № 1. – С. 181–185.

3. И.Ш. Хуснутдинов, А.Г. Сафиулина, Р.Р. Заббаров, С.И. Хуснутдинов, Методы утилизации нефтяных шламов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2015. – Т. 58. – № 10. – С. 3–20.

4. В.И. Идрисов, А.М. Сыроежко, С.В. Дронов, Экологические технологии: модифицированные битумы из нефтешламов // Инженерная экология. – 2014. – № 3. – С. 48–53

УДК 628.355.5

АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, СПОСОБСТВУЮЩИХ ВСПУХАНИЮ АКТИВНОГО ИЛА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Абдрахманова А. С.[1], Самарская Ю. В.[1], Чеснокова М. Г.[1,2]

[1] *ОмГТУ, Россия, г. Омск, проспект Мира, д. 11*
[2] *ОмГМУ, Россия, г. Омск, ул. Ленина, д. 12*

На сегодняшний день, благодаря высокой эффективности, на нефтеперерабатывающих предприятиях используется биотехнологический метод очистки сточных вод, предусматривающий переработку токсических веществ с помощью активного ила, представленного в виде биоценоза микроорганизмов, грибов и водорослей, использующих загрязнители стоков в качестве элементов питания [1, 2].

Высокая эффективность биоочистки обеспечивается при соблюдении оптимальных условий эксплуатации оборудования и очистки сточных вод. При возникновении неблагоприятных экологических факторов происходит реакция вспухания активного ила. При этом формируется биоценоз микроорганизмов нитчатой структуры, провоцируя снижение аккумулирующих свойств иловой смеси, что ведет к ухудшению степени очистки сточных вод [3].

В зависимости от воздействующих на активный ил факторов различают пять основных типов вспухания компонентов иловой смеси [4, 5].

Для первого типа вспухания активного ила характерны развитие бактерий рода *Sphaerotilus,* снижение ферментативной способности флокулообразующих бактерий, влияние на накопление зоогеля. В качестве воздействующего фактора выступает наличие в сточных водах высококонцентрированной смеси органических загрязняющих веществ.

При высокой концентрации токсических веществ, что приводит ко второму типу вспухания биоценоза, происходит активный рост серобактерий родов *Thiothrix, Beggiatoa*, синезеленых водорослей рода *Cyanophyta,* нарушение ферментативной активностти и флокуляции хлопьев активного ила, дефицит растворенного кислорода.

При недостатке питательных веществ, изменении оптимальных концентраций биогенных элементов образуется вспухание активного ила третьего типа, характеризующееся развитием нитчатых цианобактерий, снижением окислительной способности, сокращением прироста биомассы, увеличением нагрузки на активный ил.

Для четвертого типа вспухания, при наличии восстановительных соединений серы и серосодержащих органических веществ, свойственно размножение серобактерий родов *Beggiatoa, Thiothrix*.

При пятом типе вспухания развиваются сапрофитные грибы, воздействующим фактором является низкая концентрация pH среды.

Таким образом, в зависимости от различных воздействий внешней среды, в биоценозе иловой смеси происходит селекция и активное развитие отдельных видов организмов, вызывающих вспухание. Для предотвращения данного процесса, значительно ухудшающего степень очистки сточных вод, необходимы своевременная профилактика и контроль за ходом биотехнологической переработки стоков. Также необходимы более детальные исследования методов предотвращения вспухания активного ила.

Библиографический список

1. M.G. Chesnokova, A.V. Myshlyavtsev, A.S. Kriga, A.P. Shaporenko, V.V. Markelov, Determination of the priority indexes for the oil refinery wastewater treatment process // AIP Conference Proceedings. – 2017. – Vol. 1876. – P. 020018. – Doi: 10.1063/1.4998838.

2. М.И. Алексеев, А.В. Акментина, Исследование работы реактора циклического действия при биологической очистке городских сточных вод // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 1 (48). – С. 161–164.

3. M.G. Chesnokova, V.V. Shalay, A.S. Kriga, A.P. Shaporenko, The flocculants applied in the oil refining plant wastewater treatment // AIP Conference Proceedings. – 2017. – Vol. 1876. – P. 020017. – Doi: 10.1063/1.4998837.

4. М.Г. Чеснокова, А.В. Мышлявцев, А.С. Крига, В.В. Маркелов, А.К. Уразолисит, А.П. Шапоренко, Определение приоритетных показателей очистки сточных вод нефтеперерабатывающего предприятия // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производств: материалы 7 Междунар. науч.-техн. конф., 24–28 апреля 2017 г. – ОмГТУ. – 2017. – С. 137–138.

5. С.Г. Белов, Т.И. Акулич, Г.О. Наумчик, Опыт эксплуатации сооружений очистки сточных вод: проблемы и их решение // Вестник БГТУ. – 2018. – № 2 (110). – С. 97–100.

УДК 628.3

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФУЗОРИИ PARAMECIUM CAUDATUM НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Чеснокова М. Г., Самарская Ю. В., Абдрахманова А. С.

ОмГТУ, РФ, г. Омск, Мира, 11

Омская область является крупным центром по переработке нефти и нефтепродуктов. Лидером отрасли по эффективности нефтепереработки является Омский нефтеперерабатывающий завод.

Сточные воды предприятий нефтепереработки высокотоксичны и при существующих объемах водоотведения представляют собой серьезную экологическую проблему. Очистка этих стоков до параметров, предусмотренных действующими в настоящее время нормативными требованиями, производится целым комплексом методов. На заключительных этапах используется метод биологической очистки сточных вод.

Основными сооружениями биологической очистки на нефтеперерабатывающих предприятиях служат аэротенки. Аэротенки представляют собой аппарат с постоянно протекающей сточной водой. Биологическая очистка аэротенках происходит в результате жизнедеятельности аэробных микроорганизмов активного ила при постоянном перемешивании стоков с активным илом и непрерывной аэрацией [1].

Оптимальной температурой для аэробных микроорганизмов на очистных сооружениях считается 20–30 ˚С. Биологическая очистка наиболее эффективна при значении pH в пределах 5–9, оптимальной считается среду с pH = 6,5–7,5.

У промышленных стоков, поступающих на биологическую очистку, контролируются следующие показатели:

1. массовая концентрация нефтепродуктов – не более 60,0 мг/дм^3;
2. массовая концентрация фенола – не более 12,0 мг/дм^3;
3. pH – 6,5–9,5 ед. pH;
4. химическое потребление кислорода (ХПК) – не более 450 мгО^2/дм^3;
5. массовая концентрация сульфатов – не более 600 мг/дм^3;
6. массовая концентрация сульфитов – не более 6,0 мг/дм^3;
7. массовая концентрация аммонийного азота – не более 200 мг/дм^3 [2, 3].

Активный ил представляет собой хлопья коричнево-бурого цвета, состоящие в основном из бактериальных клеток, на поверхности которых и между ними находятся разнообразные простейшие. В составе активного ила обнаружены свободноплавающие ресничные инфузории *Paramecium caudatum*. Данная инфузория относится к подцарству *Protoza*, к типу *Celiophora*, подтипу *Ciliata* и имеет размеры 0,1–0,3 мм.

Инфузории играют главную роль в снижении мутности очищаемой воды и в поедании свободноплавающих бактерий, утративших связь с хлопьями активного ила.

Способность ресничных инфузорий образовывать цисты, защитные оболочки, свидетельствует об ухудшении условий водной среды. *Paramecium caudatum* тонко чувствует изменения условий среды, поэтому её можно использовать в качестве тест-объекта при биотестировании сточных вод.

Основной принцип биотестирования сводится к оценке достоверных различий между контролем (чистая вода) и опытом (среда, содержащая токсикант) по какому-либо параметру, указывающему на полное или частичное угнетение функций тест-объекта под влиянием токсичных веществ.

При выборе тест-объекта предпочтение отдают видам, которые широко распространены в природе и легко развиваются в лабораторных условиях, именно поэтому *Paramecium caudatum*, входящая в состав активного ила аэротенков и обитающая в пресных водоемах, является отличным вариантом для биотестирования токсичности сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий. При обнаружении острой токсичности исследуемых вод у *Paramecium caudatum* возникает хемотоксическая реакция.

Результаты биотестирования на *Paramecium caudatum* могут быть использованы для решений по сокращению сбросов загрязняющих веществ, проведение экологической экспертизы новых технологий, проектов по интенсификации очистки сточных вод. Проведение токсикологического контроля позволит сократить нефтеперерабатывающим предприятиям затраты на природоохранные мероприятия за счет раннего выявления токсичности сбрасываемых сточных вод, а также даст возможность осуществить селективный поиск наиболее опасных токсичных веществ, попадающих в сточные воды.

Библиографический список

1. Chesnokova, M. G. Prediction test of active silt druming on the biological cleaning unit of waste water at oil refining enterprise [Electronic resource] / M. G. Chesnokova, V. V. Shalay // AIP Conference Proceedings. 2019. Vol. 2141: Oil and Gas Engineering. P. 020029-1– P. 020029-4. Режим доступа:https://doi.org/10.1063/1.5122048.

2. Determination of the priority indexes for the oil refinery wastewater treatment process / M. G. Chesnokova, A. V. Myshlyavtsev, A. S. Kriga, V. V. Markelov, A. P. Sharapenko // AIP Conference Proceedings Cep. “Oil and Gas Engineering, AGE 2017”. 2017. С. 020018.

3. Кутковский К. А. Виды сточных вод и основные методы анализа загрязнителей // Молодой ученый. – 2013. – № 9. – С. 119–122.

УДК 629.113

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Журавский Б. В.[1], Квасов И. Н.[2]

[1] *Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, (Россия, Омск, Проспект Мира, 5)*
[2] *Омский государственный технический университет, (Россия, Омск, Проспект Мира, 11)*

На подвижном составе нефтегазового комплекса преимущественное применение нашли дизельные ДВС. Требования к токсичности отработавших газов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) постоянно ужесточаются [1]. Для удовлетворения существующим экологическим требованиям современные дизельные ДВС имеют целый ряд конструктивных особенностей, в том числе и применение аккумуляторной системы впрыска топлива Common Rail [2].

Неисправности системы Common Rail могут привести к появлению погрешностей при дозировании топлива, ухудшению смесеобразования и соответственно к ухудшению экологических показателей дизельного ДВС [2, 3]. Одним из важнейших мероприятий по поддержанию системы впрыска топлива в технически исправном состоянии является диагностирование. Как показал опыт наибольшие затруднения возникают при диагностировании форсунок системы Common Rail [3].

Основные дефекты форсунки системы впрыска топлива Common Rail значительно влияют на величину отклонения цикловой подачи от номинального значения, а также на величину расхода тестовой жидкости на управление. Значение цикловой подачи и величина расхода топлива на управление могут быть использованы в качестве диагностических параметров [3].

Углубленное и точное диагностирование форсунок можно произвести лишь с использованием специализированных стендов [3]. Недостатком большинства применяемых стендов является использование в качестве диагностических параметров усреднённых подачи и расхода топлива на управление, что не позволяет определять количество впрыснутого топлива в процессе каждой единичной подачи. Существуют

стенды, позволяющее использовать в качестве диагностического параметра характеристики топливоподачи. Пневмогидравлическая схема измерительной системы подобных стендов показана на рисунке 1.

Перспективным направлением совершенствования диагностирования форсунок Common Rail является повышение точности определения количество впрыскиваемого топлива в пределах каждой подачи. Для этого необходимо проанализировать факторы, влияющие на точность измерений.

Погрешность определения единичных подач топлива форсункой при помощи датчика с плавающим поршнем зависит от многих факторов и может быть представлена в виде функционала [3]:

$$\varepsilon = f(\varepsilon_{\text{пп}}, t_{\text{тж}}, \rho_{\text{тж}}, \nu_{\text{тж}}, \omega_{\text{тж}}, \Delta l), \quad (1)$$

где ε – погрешность определения единичных подач топлива; $\varepsilon_{\text{пп}}$ – погрешность определения положения плавающего поршня; $t_{\text{тж}}$ – температура тестовой жидкости; $\rho_{\text{тж}}$ – плотность тестовой жидкости; $\nu_{\text{тж}}$ – вязкость тестовой жидкости; $\omega_{\text{тж}}$ – степень растворимости газов в тестовой жидкости; Δl – величина деформации камеры впрыска.

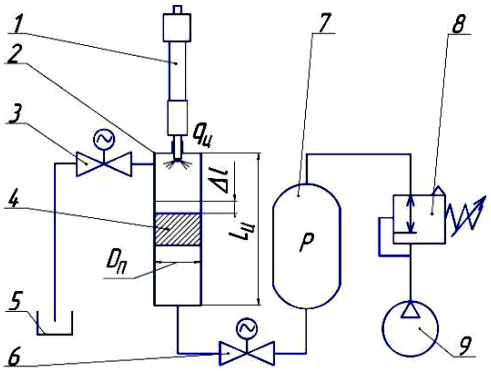


Рис. 1. Пневмогидравлическая схема измерительной системы диагностического стенда:
1 – форсунка; 2 – измерительный цилиндр; 3 – электроклапан;
4 – плавающий поршень; 5 – емкость для слива тестовой жидкости;
6 – электропневмоклапан; 7 – рессивер; 8 – регулятор давления; 9 – компрессор

Как видно из представленного выражения на погрешность определения единичных подач топлива оказывает влияние большое число факторов. Актуальной является задача оценки влияния каждого из факторов на точность результата диагностирования форсунки системы впрыска Common Rail.

Библиографический список

1. Лавров В.И., Кирдищев Д.В. Техническое диагностирование топливных форсунок на стендах в ремонтных мастерских // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. – 2016. – № 5 (57). – С. 65–67.

2. Сенин П.В., Галин Д.А., Диагностика форсунок топливной системы COMMON RAIL // Нива Поволжья. – 2016. – № 4 (41). – С. 113–120.

3. Журавский Б.В., Тышкевич Л.Н., Совершенствование точности изменения диагностических параметров топливной аппаратуры системы «COMMON RAIL» // Успехи современной науки. – 2017. – № 4. – С. 84–87.

УДК 504.53.062.4:595.1:579.2

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ, С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕРМИКУЛЬТУР

Плеханова А. В., Михайлиди М. В., Чачина С. Б.

Омский государственный технический университет г. Омск, Россия

Аннотация – Изучили плодотворное влияние биоочистки почвы, подверженной загрязнению нефтяным топливом с использованием вермикультур рода Dendrobena Veneta и с применением консорциума углеводородоперерабатывающих микроорганизмов в составе четырех биопрепаратов: «Бацилосорбат», «Самотлор», «Люмбрикус», «Эйсения». Определено путем последовательных экспериментов, что после

4 месяцев выдержки заданных объемов контаминированного грунта, в составе которого были вермикультуры и биологические препараты, общая концентрация нефти в пробах снизилась от 74,46 до 98,56%.

Ключевые слова: дождевой червь, бактериальные препараты, биостимулирование, концентрированные углеводороды, биоаккумуляция.

I. Введение

Ухудшение состояния окружающей среды- это главная угроза, с которой приходится сталкиваться каждому из нас ежедневно. Существует риск снижения уровня вносимых в почву удобрений и повышения уровня твердых отходов из-за роста населения и урбанизации [1], [2], [3]. Однако, ситуацию можно изменить путем применения ряда питательных элементов с использованием большого количества биологически активных веществ в качестве почвенных удобрений [4]. Определенно можно утверждать, что применение экологических и качественных методик ведения сельского хозяйства, улучшения состояния промышленных территорий и общего состояния окружающей среды не только способствует общей гармонизации экологической ситуации, но и прекратит тенденцию ухудшения качества грунта.

II. Постановка задачи

Проблемой проводимого эксперимента стала результативность процесса биологической очистки искусственным способом загрязненного нефтью грунта в концентрации 50 гр/кг и 100 гр/кг специально подобранными биопродуктами «Бацилосорбат», «Самотлор», «Люмбрикус», «Эйсения» во взаимодействии с дождевым червем рода Dendrobena Veneta.

IV. Результаты экспериментов

В таблице 1 приведены данные, характеризующие прирост червей рода Dendrobena Veneta в течение 4 месяцев исследования, в том числе коконов различного размера.

Таблица 1. Прирост вермикультур в зависимости от использованного препарата

	Бацилосорбат	Самотлор	Люмбрикус	Эйсения
январь	51	29	23	31
февраль	31	29	21	31
март	59	68	77	78
апрель	102	59	66	81

V. Выводы и заключение

Биологический способ очищения грунта от присутствующих в нем значительных концентраций углеводородов зависит от количества внесенного контамината. После добавления 50 г/кг нефти, рекультивация длилась 4 месяца, очищение произошло совместно с биопрепаратом «Бацилосорбат» и навозным червем до 90,58%. При добавлении 100 г/кг нефти, рекультивация длилась 4 месяца, очищение произошло совместно с биопрепаратом «Бацилосорбат» и навозным червем до 70,2 %. В зависимости от биодобавок длительность и концентрация расщепления топлива варьировались. Максимальная степень расщепления топлива была достигнута при содействии Dendrobena Veneta и биопрепарата «Бацилосорбат».

Библиографический список

1. Kyle McEnroe. Major Factors That Control the Vermicomposting Process // Cornell University. – May 2017. – С. 1–12.

2. I. J. Domínguez, A. Clive Vermicomposting of sewage sludge: Effect of bulking materials on the growth and reproduction of the earthworm Esenia Andrei // Pedobiologia – 2015. – № 44. – С. 24–32.

3. V. K. Garg, G. Renuka. Vermicomposting technology for solid waste management. // Guru Jambheshwar University of Science and Technology. India – 2010. – С. 1–15.

4. J. Haimi, and V. Huhta Capacity of various organic residues to support adequate earthworm biomass for vermicomposting // Department of Biology. Finland. Springer-Verlag – 1986. – С. 23–27.

УДК 628.353

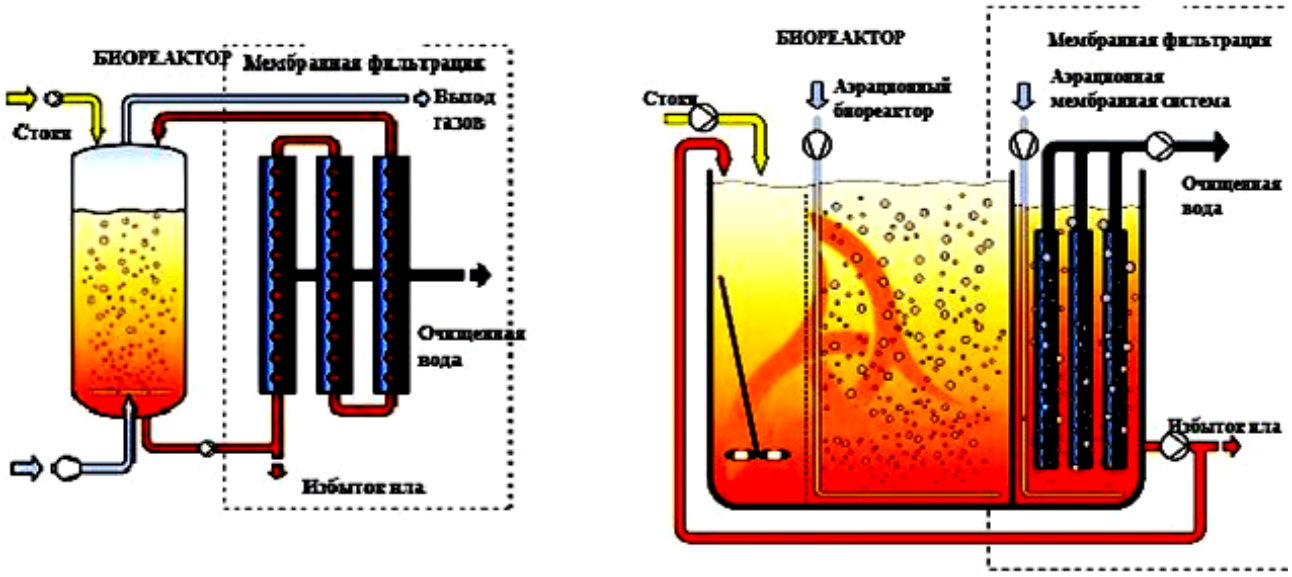
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕМБРАННЫХ БИОРЕАКТОРОВ (МБР) В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД КАК ОДИН ИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ

Гоголева Н. А., Белькова С. В.

Омский государственный технический университет (Россия, г. Омск, пр. Мира, 11)

Мембранные биореакторы включают в себя биологическую обработку активным илом с механической мембранной фильтрацией. Данная технология является альтернативой наиболее распространенному методу осаждения активного ила во вторичных отстойниках, которые используются в существующих системах биологической очистки в аэротенках. Основное ее преимущество заключается в повышенной концентрации активного ила, которое позволяет уменьшить габариты очистного комплекса относительно используемых систем очистки.

Существует два типа мембранных модулей: погружные и выносные (рис. 1).



а *б*

Рис. 1. Схемы мембранных систем
(а – с внешним расположением мембран, б – с внутренним расположением мембран)

Достоинствами применения МБР являются простота и компактность конструкции, низкая стоимость технологического процесса, небольшие объемы образования избыточного активного ила [1, 2]. К недостаткам данной технологии можно отнести существенные эксплуатационные затраты, необходимость регулярного обновления оборудования, риск разрыва мембран и забивания ее пор. Однако имеющиеся недостатки незначительны по сравнению с другими аналогичными традиционными системами биологической очистки.

Сравнительный анализ эффективности использования мембранных биореакторов и традиционных биологических систем очистки – комбинации отстойников и аэротенков показывает, что существенным различием является размеры очистных сооружений. Так, площадь, используемая для МБР, на 40–60 % меньше, чем для традиционных систем. Данное преимущество позволяет значительно сэкономить на этапе покупки земли. Стоимость строительства вышеуказанных вариантов очистки примерно одинакова, однако в МБР высокие затраты составляют дорогостоящие мембраны. Но сокращение затрат можно реализовать по другим статьям расходов из-за уменьшения обслуживающего персонала, сокращения амортизационных отчислений на здания и сооружения [3]. Степень очистки воды в ходе применения МБР очень высока, т.к. из-за меньшего размера пор мембран по сравнению с размерами бактерий сточные воды не содержат взвешенных частиц, вирусов, патогенных микроорганизмов.

Технология МБР активно внедряется в европейских странах, в России она только набирает популярность. Так, на Московском нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ) построен комплекс очистных сооружений «Биосфера», в который входит этап очистки в мембранных реакторах. Аналогичный комплекс только в более

широком масштабе строится и на Омском НПЗ. Эффективность очистки в «Биосфере» составляет 99,9 %, а 75 % воды после биоочистки повторно поступают в производство [4].

Таким образом, учитывая вышеописанные преимущества технологии МБР, можно сделать вывод о том, что данная технология является перспективным направлением в области очистки сточных вод.

Библиографический список

1. М. Н. Видякин, С. А. Гарипова, Особенности внедрения мембранных биореакторов для обработки сточных вод // Экология производства. – 2014. – С. 63–66.

2. Е. Е. Голова, Технологические возможности биологической очистки сточных вод с использованием МБР // Наука, техника и образование. – 2016. – № 5 (23). – С. 72–73.

3. Я. В. Круглова, Экономические аспекты использования мембранных биореакторов на очистных сооружениях предприятий // Материалы VI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». – 2014. – URL: https://scienceforum.ru/2014/article/2014007658 (дата обращения: 10.12.2019)

4. В. Кавригина, Биосфера чистой воды // Сибирская нефть. – № 10 (147). – С. 30–37.

УДК 614.8.01

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Заика К. А.[1], Вагапова М. Н.[1], Гаглоева А. Е.[1]

[1] *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет» (Россия, г. Омск, ул. Мира, д.11)*

Согласно ст. 212 ТК РФ, обязанностью работодателя является создание системы управления охраной труда. В статье 209 ТК РФ понятие «система управления охраной труда» трактуется как комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов, устанавливающих политику и цели в области охраны труда у конкретного работодателя [1]. На каждом предприятии независимо от его размеров, структуры и организации труда составляют и утверждают схему проведения оперативного контроля по охране труда.

На территории промышленного предприятия ООО «Омсквинпром» действует «Положение по расследованию, регистрации и учету травматизма без потери рабочего времени, и едва не случившимся несчастным случаям».

Известно, что частота травматизма поддается закономерности, представленной в теории Ф. Берда, в которой демонстрируется статистика распределения несчастных случаев, напоминающая пирамиду [2]. Основываясь теорией Ф. Берда, сформировали пирамиду безопасности для предприятия (Рис. 1).

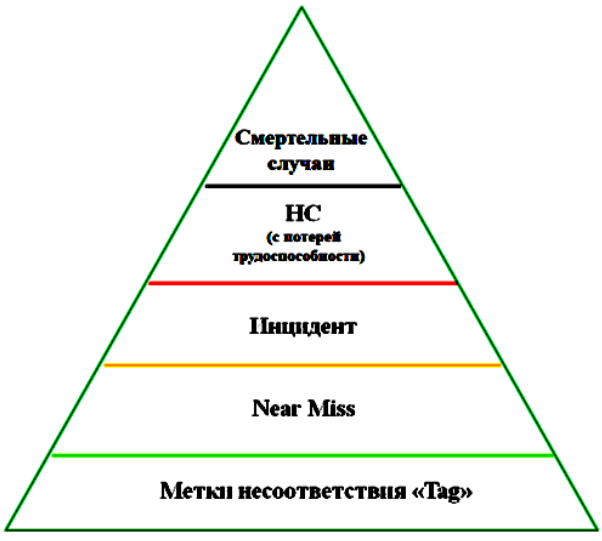


Рис. 1. Пирамида безопасности

Использование меток несоответствия «Tag», Near Miss и инцидентов регламентируется внутренним положением предприятия и не распространяется на другие организации, в отличие от несчастных случаев, описанных в 221 статье ТК РФ. Применение пирамиды безопасности минимизирует количество несчастных случаев на производстве.

Оценка применения метода меток несоответствия «Tag» представлена в работе [3], а расследование и учет инцидентов подлежит анализу в дальнейших работах.

Едва не произошедший несчастный случай (далее Near Miss) – незапланированно событие, которое произошло, но не привело к несчастному случаю – травме, или не нанесло вред окружающей среде, но при незначительных изменениях обстоятельств могла произойти травма либо авария с последствиями и нанесением вреда здоровью или окружающей среде.

Каждый сотрудник или свидетель происшествия в течение рабочей смены обязан заполнить уведомление о выявленном Near Miss и сообщить непосредственному руководителю. Расследование начинается в течение 24 часов и завершается в течение 5 рабочих дней с момента происшествия. Near Miss анализируется с использованием методики «5-почему» и плана действий для устранения происшествия руководителем совместно со специалистом по охране труда [4].

Причины и обстоятельства несчастного случая без потери рабочего времени или с ограниченным режимом работы доводятся до сведения работников ООО «Омсквинпром» в виде размещения Alert на информационных стендах по безопасности.

Общий анализ едва не случившихся несчастных случаев на предприятии осуществляется ведущим специалистом по охране труда и промышленной безопасности и представляется на ежедневных утренних совещаниях.

Библиографический список

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018). – URL: www//consultant/ru (дата обращения: 14.12.2019).

2. Малахова, Т.Ф. Профилактический подход к производственному травматизму посредством анализа риска и человеческого фактора / Т.Ф. Малахова, С.Г. Захаренко // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: сб. науч. трудов / КузГТУ. – Кемерово, 2014. – С. 50–54.

3. Заика, К.А. Оценка применения метода меток несоответствия "Tag" для минимизации несчастных случаев на производстве / К.А. Заика, М.Н. Вагапова // Безопасность городской среды: сб. статей. – Омск, 2019.

4. П-ОВП-26.1-2019. Положение по расследованию, регистрации и учету травматизма без потери рабочего времени, и едва не случившимся несчастным случаям. – Омск, 2019.

УДК 628.52:502.175

МОНИТОРИНГ СВЕРХНОРМАТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В НАСЕЛЕННОМ ПУНКТЕ

Штриплинг Л. О., Баженов В. В., Баженова Н. С.

ФГБОУ ВО Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11

Мониторинг состояния атмосферного воздуха в городах осуществляется на постах мониторинга Росгидромета. При этом во всех крупных промышленных городах регулярно фиксируются превышения допустимых концентраций загрязняющих веществ (ПДК), однако поиск источника сверхнормативного загрязнения (ИСЗ), в большинстве случаев, не даёт положительного результата в силу ограниченности как временных, так и материально-технических ресурсов органов надзора.

Целью работы является разработка метода локализации и идентификации ИСЗ в максимально сжатые сроки. Задачами работы являются: проведение предварительной оценки расположения вероятного ИСЗ, разработка метода идентификации ИСЗ.

Предварительная оценка расположения ИСЗ основана на анализе метеорологических данных в момент поступления информации о превышении ПДК. По данным о направлении и скорости ветра определяются

сектора вероятного расположения ИСЗ. На рис. 1 представлен пример установления секторов поиска и обозначены выявленные возможные ИСЗ при скорости ветра 4 м/с. Точкой С обозначено место, откуда поступила информация о нарушении качества воздуха.

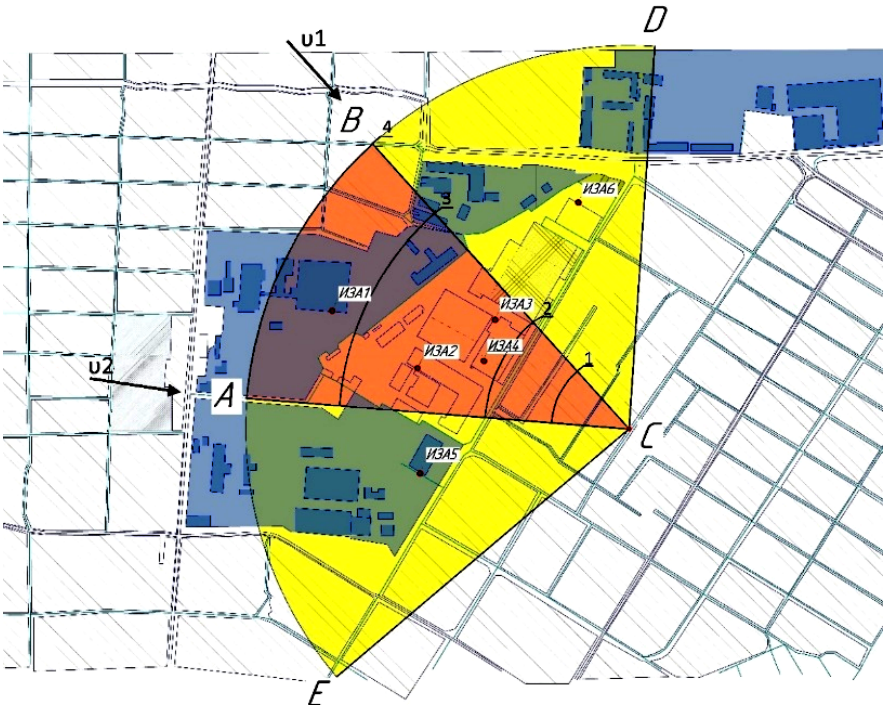


Рис. 1. Секторы вероятного расположения ИСЗ:
v1 и v2 – зафиксированные направления ветра в момент поступления информации и при проведении отбора пробы воздуха соответственно

После этого проводится анализ Реестра [1]. Это позволяет выявить известные источники выбросов, расположенные внутри определенных ранее секторов. Метод идентификации ИСЗ основан на решении обратной задачи турбулентной диффузии: имея значение концентрации загрязняющего вещества в точке С рассчитывается мощность выброса, необходимая для создания зафиксированной концентрации вещества, при заданных параметрах источника, его координатах, направлении и скорости ветра.

В зависимости от параметров, характеризующих свойства источника выбросов, в соответствии с [2] мощность выброса источника рассчитывается по одной из формул:

для холодных выбросов $$M = \frac{H^{\frac{4}{3}} \cdot C}{A \cdot F \cdot n \cdot \eta \cdot K}, \quad (1)$$

для перегретых выбросов $$M = \frac{H^{\frac{7}{3}} \cdot C}{A \cdot F \cdot m' \cdot \eta}, \quad (2)$$

где C – значение концентрации, H – высота источника, F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ; m' и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовоздушной смеси из устья источника; η – коэффициент, учитывающий влияние рельефа; A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы; K – вспомогательный коэффициент расчета при холодных выбросах [2].

Учитывая, что каждый зарегистрированный источник имеет свой норматив допустимого выброса (ПДВ) и имея данные о рассчитанной необходимой мощности выброса, для каждого источника определяется кратность превышения предельно допустимого выброса по формуле:

$$N_i = \frac{M}{M_{\text{ПДВ}i}}, \quad (4)$$

где Ni – кратность превышения ПДВ, M – рассчитанная масса выброса в соответствии с [2], Mпдвi – установленный норматив выброса источника (ПДВ).

Таким образом, можно сделать предположение: чем меньше значение кратности превышения, тем больше вероятность причастности источника к зафиксированному нарушению. Подробнее алгоритм идентификации источников сверхнормативного выброса представлен в работах [3, 4].

Представленный метод позволяет достаточно оперативно локализовать источник сверхнормативного выброса. Метод основан на утвержденной методике расчетов выбросов, что позволяет использовать его в работе природоохранных органах контрольно-надзорной власти.

Библиографический список

1. Реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду [Электронный ресурс]. – URL: https://onv.fsrpn.ru/ (дата обращения: 10.01.2020).

2. Приказ Минприроды России от 06.06.2017 N 273 "Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе" // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_222765 (дата обращения: 05.01.2020).

3. Штриплинг Л.О., Баженов В.В., Варакина Н.С. Предварительная идентификация источника сверхнормативного выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух // Нефть и окружающая среда: материалы Всерос. науч-практ. конф. с междунар. участием. – ОмГПУ, 2018. – С. 69–72.

4. Штриплинг Л. О., Баженов В. В., Калинин Ю. В., Баженова Н. С., Меркулов В. В. Метод предварительной локализации источника сверхнормативного загрязнения атмосферного воздуха как способ повышения эффективности экологического мониторинга и надзора в России // Омский научный вестник. – 2019. – № 3 (165). – С. 72–77. – DOI:10.25206/1813-8225-2019-165-72-77.

УДК 504.054

ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Клёстер А. Е.[1], Кучук Е. А.[1]

[1] *Омский государственный технический университет, Россия, Омск, Пр. Мира 11*

Попутный нефтяной газ (далее ПНГ) – это смесь газообразных углеводородов, растворенных в нефти, а также присутствующих в шапках нефтеносных месторождений. Изучению этой темы посвящено множество работ, в том числе научных статей, диссертаций, патентов, докладов и лекций.

Нефтяной газ – это многокомпонентная смесь, содержащая в себе различные углеводороды от C_1 до C_{10}, вредные компоненты (сероводород, меркаптановая сера), негорючие компоненты (азот, диоксид углерода, кислород, пары воды), механические примеси [1]. Возможности использования попутного нефтяного газа шире, чем природного. В ПНГ содержится меньше метана, чем в природном газе, но в его составе значительно больше гомологов метана. Чтобы использовать попутный газ более рационально, его разделяют на смеси более узкого состава. После разделения получают газовый бензин, пропан, бутан, сухой газ.

Компонентный состав попутного нефтяного газа может сильно различаться в зависимости от месторождения [2]. Более того, даже на одном и том же нефтяном месторождении в разные периоды времени компонентный состав ПНГ будет разный.

К веществам, усложняющим добычу, транспортировку и переработку ПНГ относятся: сероводород, меркаптановая сера, негорючие компоненты (азот, диоксид углерода, кислород, пары воды), механические примеси [1]. Наличие в нефтяном газе серосодержащих компонентов, сероводорода, диоксида углерода может привести к снижению пропускной способности газопровода, так как они являются кислыми коррозионно-агрессивными компонентами, которые во влажной среде способствуют внутренней коррозии труб и оборудования, а также приводят к ухудшению топливных качеств газа. Влага, содержащаяся в газе, вызывает различные осложнения в работе газовой аппаратуры. Пары воды в условиях подготовки и транспортировании способны конденсироваться и, что особенно опасно, образовывать твердые кристаллогидраты, которые приводят к аварийным ситуациям.

Основной способ утилизации ПНГ долгое время являлось его сжигание на факелах. Факельные установки нефтегазодобывающих и перерабатывающих предприятий предусмотрены для бездымного сжигания газа. Этот способ приводит к потере большого количества углеводородного сырья, тепловое загрязнение атмосферного воздуха, выброс в атмосферу загрязняющих веществ, пыли и сажи.

Одним из способов утилизации ПНГ можно рассматривать получение сажи, которую применяют для изготовления резинотехнических изделий.

Следующий способ утилизации ПНГ – сайклинг-процесс. Этот метод подразумевает нагнетание газа обратно в пласт для повышения давления [3]. При этом затраты на закупку оборудования для закачки газа в пласт на 20…25% будут превышать затраты на создание системы сбора, подготовки и транспорта газа.

Выработка электроэнергии с использованием ПНГ позволяет нефтяным компаниям сэкономить средства, так как нет необходимости закупать электроэнергию. Проблемой является то, что газ используется не "сырой" с месторождения, а прошедший определенную подготовку, которая влечет за собой определенные расходы.

Наиболее эффективным способом специалисты называют фракционирование [3]. Процессы газофракционирования предназначены для получения индивидуальных низкомолекулярных углеводородов C_1-C_6 (как предельных, так и непредельных, нормального или изостроения) или их фракций высокой чистоты, являющихся компонентами высокооктановых автобензинов, ценным нефтехимическим сырьем. До фракционирования газы подлежат осушке и очистке.

Нефтедобывающим компаниям выгодно отправлять ПНГ на газоперерабатывающий завод (ГПЗ) для дальнейшей переработки, так как при наличии развитой инфраструктуры транспортировки газа не требуются дополнительные вложения. Для удаленных промыслов необходимо сооружать дополнительные газоперекачивающие станции, но эти затраты вполне оправданы.

Библиографический список

1. Ахметов С.А. Технология глубокой нефтепереработки нефти и газа: учебное пособие для ВУЗов. – Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.

2. Клёстер А.Е. Рациональное использование попутного нефтяного газа // Богатство России: сборник докладов II Всероссийского форума научной молодежи "Богатство России", 2019. – С. 211–213.

3. Клёстер А.Е., Васина М.В. Способы переработки попутного нефтяного газа // Безопасность городской среды: Материалы VI Международной научно-практической конференции, 2019. – С. 26–31.

Секция 7

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК681.62.067.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ В ТОНКОМ СЛОЕ

Кудрявцев С. А.[1], Герценштейн И. Ш.[1]

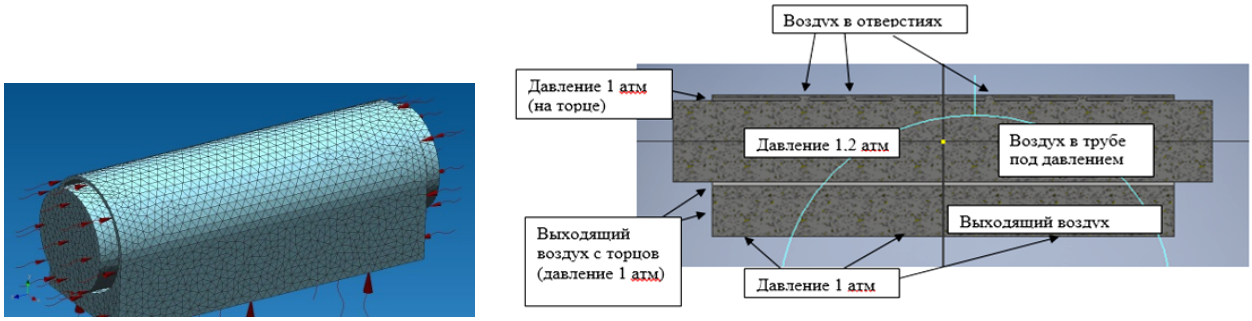
[1] *Мосполитех, Россия, Москва, улица Б. Семеновская, д. 38*

В рулонных печатных машинах для снижения трения между тонкой (чаще всего бумажной) лентой, скользящей по неподвижной поворотной штанге, применяется воздушный поддув.

Эксперименты показывают, что слой воздуха между лентой и штангой неравномерен и зависит расположения отверстий, давления воздуха, натяжения ленты [1–4].

Аналитический поиск оптимальных значений этих параметров, обеспечивающих равномерность воздушного слоя, затруднен; более эффективным путем представляется численное моделирование.

Для такого моделирования была применена программа APMWinMachine, для которой задача поиска оптимального расположения отверстий была поставлена в следующем виде:определить распределение давления в зазоре между лентой и штангой при постоянном зазоре и попытаться найти расположение отверстий, минимизирующее перепад давления по площади взаимодействия ленты и штанги (рис. 1). Для ускорения процесса моделирования рассматривался небольшой фрагмент штанги с одним отверстием (рис. 2).



а *б*

Рис. 1. Рабочее тело с сеткой (а) и с краевыми условиями (б)

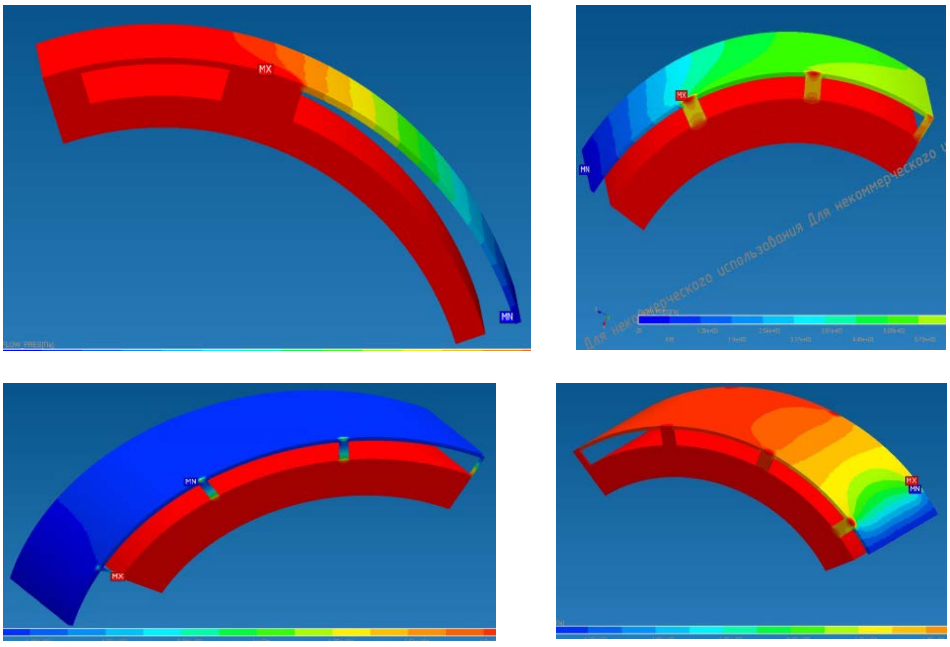


Рис. 2. Распределение давления при разном количестве отверстий

Моделирование показало, что каждое дополнительное отверстие приводит к более равномерному распределению давления на поверхности штанги. Диаметр отверстия имеет незначительное влияние на распределение давления.

Библиографический список

1. Кудрявцев С.А. Исследование воздушной подушки между лентой запечатываемого материала и поворотными штангами рулонных печатных машин //Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2017. – № 2. – С. 35–42.

2. Кудрявцев С.А. Исследование влияния диаметра отверстий на параметры воздуходувной штанги // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2017. – № 3. – С. 7–13.

3. Кудрявцев С.А. Исследование параметров воздуходувных штанг рулонных печатных машин, влияющих на профиль воздушной подушки //Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2017. – № 4. – С. 3–8.

4. Кудрявцев С.А. Исследование влияния ширины бумажной ленты на исследуемые параметры воздуходувных штанг // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2018. – № 1. – С. 65–71.

УДК655.227.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАСОЧНОГО СЛОЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ФОРМ ТРАФАРЕТНОЙ ПЕЧАТИ СТРУЙНЫМ СПОСОБОМ УФ ОТВЕРЖДАЕМЫМИ КРАСКАМИ LH-100 НА ПРИНТЕРЕMIMAKIUJF-3042HG

Голунов А. В., Ланочкин А. С.

«*Омский государственный технический университет*» *(Россия, Омск, ул. Мира 11)*

Цифровые технологии с успехом применяются при изготовлении печатных форм для классических способов печати. В настоящее время цифровые технологии могут быть применены в трафаретной печати, в частности при изготовлении печатных форм. В основу процесса “Компьютер – трафаретная печатная форма” легла технология струйной печати. Струйная печать используется для формирования обратного изображения на сетке, покрытой копировальным слоем. Запечатываемый материал или изделие располагаются со стороны, противоположной той, с которой подается краска. Подача краски на запечатываемую поверхность осуществляется сквозь печатающие элементы формы, что создает возможность нанесения широкого диапазона толщин красочного слоя [1].

Целью данной работы является оптимизация технологии изготовления форм трафаретной печати за счет исключения операций по изготовлению и монтажу фотоформы.

В работе предлагается формирования масочного слоя при изготовлении форм трафаретной печати струйным способом УФ отверждаемыми красками LH-100 на принтере MIMAKIUJF-3042HG. Для выполнения работы разработан тест-объект с ячейками разной плотности тона от 0% до 100%, напечатанный в 1, 2, 3 и 4 слоя друг на друга на прозрачной подложке (рис. 1).

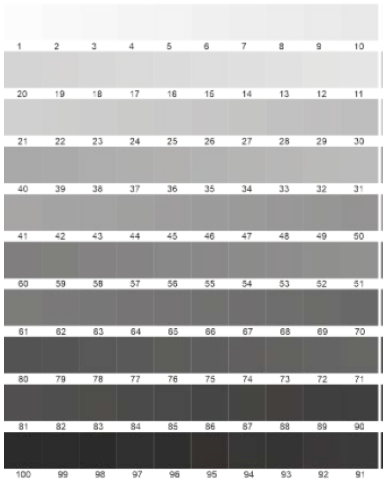


Рис. 1. Тест-объект с непрозрачными ячейками от 0% до 100%, напечатанный в 1, 2, 3 и 4 слоя друг на друга

Далее была измерена оптическая плотность денситометром марки TechkonRT120 для измерений каждого поля тест-объекта в проходящем свете. Результаты исследования представлены на графике (рис. 2).

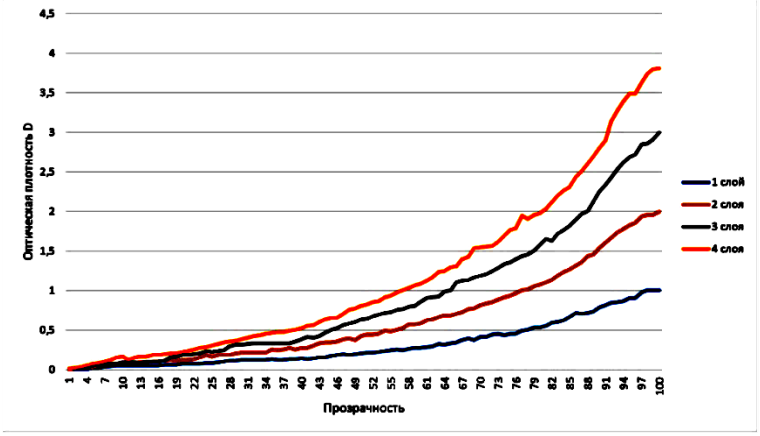


Рис. 2. График зависимости измерения оптической плотности (D, B) от плотности тона (S, %)

В результате анализа экспериментальных данных можно заметить, что необходимые значения оптической плотности для формирования масочного слоя можно достичь при печати в 3 и 4 слоя с разрешением печати 1440*1200 в 32 прохода. При данных значениях разность оптических плотностей между печатным и пробельным элементами масочного слоясоставит 3 бела при печати в 3 слоя и 3,81 бела при печати в 4 слоя. Тогда как при печати в 1 и 2 слоя разность оптических плотностей составит 1 и 2 бела соответственно.

Таким образом, струйная печать УФ отверждаемыми красками может быть использована при формировании масочного слоя при изготовлении трафаретных форм.

Библиографический список

1. Ганиева, Н.М.,Перспективные материалы и технологии допечатных процессов, 2015. – 132 с.

2. ГОСТ Р 8.830-2013. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Оптическая плотность фотоматериалов. Методика измерений

3. ГОСТ Р 54766-2011. Технология полиграфии. Контроль процесса изготовления цифровых файлов, растровых цветоделений, пробных и тиражных оттисков. Часть 2. Процессы офсетной печати

4. Щеглов С.А., Основы производственного мастерства / С.А. Щеглов, А.В. Голунов / учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1 : Искусство и ремесло трафаретной печати, 2019. – 122 с.

5. Литунов, С.Н. Основы печатных процессов.

УДК 628.477.6

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Паршакова С. С.[1], Яблонская А. А.[1], Колбина Е. Л.[1]

[1] *ОмГТУ, Россия, Омск, Мира проспект, 11*

Проблема переработки отходов выдвигается на одно из первых мест, является важнейшей задачей для всего человечества. Упаковка является существенной частью отходов, подлежащих утилизации. Упаковочными материалами являются бумага, картон, полимерные пленки, алюминиевая фольга. Для повышения барьерности упаковки, что играет ключевую роль в сохранении качества упаковываемых пищевых продуктов, ее изготавливают либо из многослойных полимерных пленок, либо из комбинированных материалов, включающих бумагу, картон, полимеры и алюминиевую фольгу. Такая упаковка способствует увеличению длительности хранения пищевых продуктов, предохраняя их от окисления кислородом воздуха и воздействия бактерий. Средний срок хранения продуктов колеблется от 10 дней до нескольких месяцев. Такая структура упаковки создает проблемы при ее утилизации. Основными способами утилизации полимеров, как известно, являются: вторичная переработка, разложение с получением исходных низкомолекулярных продуктов

и термическое разложение путем пиролиза. В России основным методом утилизации является захоронение отходов на промышленных полигонах твердых бытовых отходов.

Вторичная переработка полимеров осложняется тем что различные полимеры термодинамически несовместимы друг с другом. Поэтому, необходимо перерабатывать вместе одинаковые полимеры, для чего требуется сортировка полимерных отходов, на которых не всегда стоит маркировка. Кроме того, изделия даже из чистых вторичных полимеров имеют худшие прочностные и деформационные свойства чем изделия из первичного сырья. В целом, переработка полимеров требует сортировки, очистки и многоступенчатой переработки. В результате чего получается гранулят из которого формирует изделия с худшими показателями качества. При этом возникают большие затраты труда, электроэнергии, что приводит к более высокой стоимости вторичного сырья и изделий из него. Экономически этот процесс, не эффективен в условиях России, где нет экономического механизма и системы нормативных актов.

Переработка отходов полимеров в мономеры, олигомеры и искусственное топливо технологически разработана, но только часть полимеров может быть переработана таким образом. Например, полиэтилентерефталат (PET) может быть деполимеризован до исходных мономеров. Перспективным казалось и получение искусственного топлива при утилизации, однако его стоимость гораздо выше топлива из нефти.

Сжигание полимеров не требует сортировки полимеров, лишь их измельчения в крупные куски с добавлением углеродного топлива и доступа кислорода. При температуре 1200–1400 ˚С, достигаемых в подобных установках большинство веществ необратимо распадаются. Не разложившаяся часть поглощается фильтрами, при этом выбросы доксинов ниже чем при сжигании каменного угля. В этом случае очень многое зависит от качества фильтров. На смену фильтрам третьего поколения приходят фильтры четвертого, пятого поколения, которые значительно снижают возможность нанесения вреда здоровью населения. Так, в Японии на территории Токио функционирует 21 мусоросжигательный завод. На одном из крупнейших заводов «Сумида» ежедневно перерабатывается 600 тонн отсортированного мусора, рядом расположены школы, жилой микрорайон, гольф-клуб. Завод работает на самостоятельно производимой энергии, продает излишки энергетическим компаниям.

Большие надежды связываются с биоразлагаемыми полимерами, которые являются альтернативой современным полимерным упаковочным материалам. Стоит отметить, что популярное у маркетологов крупных фирм слово «биопластики» не всегда является синонимом биоразлагаемыхполимеров – биопластики выполнены из органического сырья, однако по структуре и сложности переработке не отличаются от синтетических полимеров.

Биоразлагаемыеполимеры должны отвечать двум критериям: разлагаться при определенных условиях за не более 180 дней; полученный компост не должен быть токсичен для растений. Существуют несколько групп биополимеров: получаемые методом химического синтеза; полимеры на растительной основе; сополимеры на растительной основе; смеси полимеров с растительными отходами; полимеры с катализаторами деструкции (оксоразлагаемые полимеры).

К первой группе относятся поливинилы и поливиниловый спирт. Mater-Bi состоит из амилопектина, амилозы, поливинилового спирта или поликапролактона. В воде растворяется за несколько минут, после чего его можно просто вылить на почву.

Ко второй – полилактиды (PLA), материалы на основе крахмала, целлюлозы, ее производных и др. В табл. 1 показаны условия разложения биоразлагаемых полимеров.

Таблица 1. Условия разложения биоразлагаемых полимеров

Название биополимера	Скорость разложения	Условия разложения
Mater-Bi	несколько минут	большое количество воды
Полигидроксиалканоат	7–10 недель	субстрат с разлагающими полимер бактериями, вода, почва
Полилактид	до 90 дней	кисломолочные бактерии, вода
Biopol	до 6 месяцев	природная среда, вода, почва
Biocell	до 18 месяцев	Прямые солнечные лучи, влага, почва.
АБС-полимер	до 2 лет	перепады температур, высокая влажность, доступ кислорода

Для того что бы осуществить биоразложение необходимыбольшие площади под компост, кроме того требуется соблюдениеопределенных климатических условий, температуры, давления, влажности, что не всегда возможно в условиях некоторых стран, в том числе России. Пленочные материалы, формируемые из PLA, могут заменить PET при изготовлении бутылок. Однако, при изготовлении пленочных материалов одного слоя бывает недостаточно для обеспечения барьерных свойств упаковки. Как правило, такая упаковка пищевых продуктов предполагает только хранение в холодильнике. Использование катализаторовd2W, epi, которые добавляют в 90% всех выпускаемых в России пакетов, для оксоразложения приводит к тому что цепи полимера

разрываются на очень мелкие части, которые циркулируют в воздухе, попадают в воду, но не разлагаются бактериями. В мире прошло уже несколько судебных процессов к фирмам, производящим данную добавку, которая не обеспечивает полного разложения полимера. Так же нужно отметить что стоимость биоразлагаемыхполимеров в 5–10 раз превосходит стоимость полимеров,полученных из природных углеводородов. Большой сложностью является то что под компостирование требуются большие площади плодородных земель, исключаемых из севооборота сельскохозяйственных культур.

В европейских странах, США и Японии вопросам сбора и переработки пластиковой тары уделяется больше внимания чем в России. По статистике вторичной переработке подвергается лишь 4% всех отходов. Подавляющее большинство сырья отправляется на полигоны. В 2018 году их суммарная площадь составила 5 млн гектар, а ежегодный прирост равен 0,4 млн, что сопоставимо с площадью Москвы и Санкт-Петербурга.

На основе проведенного анализа проблемы следует отметить что не существует одного оптимального решения для переработки отходов полимерной упаковки. В странах ЕС проблема отходов в виду малой площади возникла раньше и над решением этой проблемы работают уже не один год. Во многих европейских странах организован раздельный сбор отходов и их раздельная переработка.

ЕС взял курс к 2030 году заменить традиционную полимерную упаковку на биоразлагаемую либо на вторично перерабатываемую. Европейские производители считают, что в настоящее время начинается переход от линейной экономики к круговой, основанной на возобновлении ресурсов. Такой тип экономики считается частью следующей промышленной революции, в результате которой возрастет рациональность использования ресурсов, а экономика приобретет системность и прозрачность. Биопластики позволят сменить ископаемое сырье на возобновляемое путем использования отходов и сырья сельского хозяйства, сократить вредные выбросы в атмосферу.

Рис. 1. Диаграмма круговой экономики

В России мусорная реформа стартовала в этом году. Был взят курс на строительство ряда мусоросжигательных заводов по всей территории РФ. При этом должна быть выстроена транспортная логистика доставки отходов к этим заводам. В дальнейшем должна быть разработана система вторичной переработки, раздельного сбора отходов и их доставки на перерабатывающее предприятие.

Библиографический список

1. М. С. Тасекеев, Л. М. Еремеева, Производство биополимеров как один из путей решения проблем экологии и АПК // Аналитический обзор. – Национальный центр научно-технической информации, 2009. – 200 с.

2. Пантюхов, П. Биоразлагаемая упаковка: мифы и реалии / П. Пантюхов // Тара и упаковка. – 2013. – № 3. – С. 28–30.

3. Замыслов, Э. Оксобиоразложение как оптимальный способ решения экологических проблем / Э. Замыслов // Тара и упаковка. – 2013. – № 3. – С. 31–33.

4. Биоразрушаемая упаковка для пищевых продуктов / В. Д. Надыкта // Научные труды КубГТУ. – 2017. – № 9. – С. 80–91.

УДК 686.1(075)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВОЙ И ГИБРИДНОЙ ПЕЧАТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭТИКЕТОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

Коновалов Е. А., Колбина Е. Л.

Омский государственный технический университет, Россия, Омск, пр-т Мира 11

Анализ современного рынка полиграфических услуг показывает, что наиболее стабильно в мировом масштабе развивается печать этикеточной продукции. При этом стоить отметить некоторые особенности этого мирового тренда, а именно развитие происходит не за счет повышение тиражности продукции, наоборот тиражи существенно сокращаются, но число заказов постоянно растет, что связано с изменением модели покупательского поведения. Новая продукция запускается небольшими партиями, кроме того возрастает число версий однотипной продукции, отличающейся по составу и другим показателям. Флексографская печать, находящаяся вне конкуренции при больших тиражахтеряет свои преимущества при так называемых коротких тиражах.Затраты на формы большой процент отходов материала (до 200м на каждый заказ) при запуске тиража и самое главное длительные простои печатной машины при смене заказа, приводят как к повышению себестоимости продукции, так и невозможности изготовить тираж в установленные заказчиком сроки. Сегодня этот период для коротких тиражей может составлять 8 часов [1]. Эти недостатки в значительной мере преодолеваются применением цифровой печати, которая за последнее время преодолела многие свои недостатки: цифровые печатные машины сегодня обеспечивают более точную цветопередачу, поддержание фирменных цветов в течении печати всего тиража, печать на различных материалах, в том числена прозрачных пленках с использованием белых чернил, обеспечивающих оптическую плотность до 80%. Сравнивая струйную и тонерную (электрографическую)технологии цифровой печати следует отметить, что струйная печать уже сейчас хорошо попадает в цвета Pantone так,например, чернила машины TauRSC покрывают 85% PantoneΔE <2 при печати CMYK и скорости печати 70 м/мин., а при 8 цветноймодели (CMYK + OVG + W) покрывается до95% Pantone [3]. Скорость струйных цифровых печатных машин по сравнению с тонерными выше к минусам тонерных печатных машин относится и более высокая стоимость жидкого тонера. По прогнозам европейской ассоциации FINAT на 2020 год 73% этикеточных типографий планируют приобрести струйные цифровые печатные машины и лишь 27% тонерные.

С точки зрения качества печати, цветовоспроизведения, разнообразия материалов для этикеточной продукции цифровая печать не уступает традиционной флексографской печати, однако для отделочных процессов требуются отдельные одна или две (в зависимости от технологии) отделочные линии, работающие по аналоговой технологии, что снижает эффективность цифровых печатных машин. Эта проблема и привела к созданию гибридных машин, объединяющихв своей конструкции преимущества обеих технологий, и выполняющих печать и отделочные процессы в линию за один прогон. Гибридные машины позволяют эффективно печатать короткие и повторные тиражи, осуществлять печать переменных данных, использовать металлизированные краски, лаки с тактильным эффектом, холодное или горячее тиснение, высечку с намоткой облоя [2]. Нанесение кроющих белил для печати на прозрачных пленках может осуществляться как флексографским способом печати, так и цифровым в зависимости от величины тиража, кроме того машина может оснащаться опцией для печати по клеевому слою, что очень важно для печати самоклеящихся этикеток. Главной особенностью гибридных машин является модульность их построения, что позволяет собрать машину для выполнения спектра заказов для определенной типографии и в случае необходимости дооснастить машину новыми секциями. Например, машина может объединять необходимое количество флексографских секций, 8-красочный струйный модуль, различные виды лакирования, тиснение фольгой, высечку и другие операции по отделке этикетки. Гибридные машины отвечают основному требованию современного этикеточного производства - готовая этикетка за один прогон. Для сравнения эффективности применения технологии флексографской, цифровой и гибридной печати рассмотрим затраты на печать и отделку трех видов однотипных этикеток тиражом 60 тысяч экземпляров, размер этикеток таков, что общая длина тиража будет около 3 тыс. метров. Скорость печати примем 70 м/мин., все представленные машины позволяют печатать с такой скоростью. Для сравнения представлены: флексографская узкорулонная машина MPSFE 330, выполняющей в линию все операции по изготовлению и отделке этикеток, цифровая УФ- струйная печатная машина DominoN610ic отделочной аналоговой линией и гибридная машина MPSEFSymjet имеющая несколько флексосекций, УФ- струйную цифровую технологию машины Domino и ряд отделочных секций. В табл. 1. приведены укрупненные расчеты затрат на изготовление этикеток по трем рассмотренным выше технологиям.

Анализируя полученные данные можно сказать, что для данного тиража этикеток флексографская печать имеет наибольшие издержки, стоимость этикетки составила 2,086 руб., что связано с увеличением производственного цикла, большими отходами материалов при запуске тиража, затратами на изготовление печатных форм. Себестоимость продукции будет существенно снижаться с увеличением тиражей. Цифровая печать имеет более низкую стоимость этикетки, меньший производственный цикл, но высокие затраты на краску и необходимость подбирать отдельное отделочное оборудование не позволяют существенно снизить себестоимость продукции. Применение гибридной технологии позволяет во многом скомпенсировать

недостатки цифровой и флексографской печати, сокращая технологический цикл и при этом получать этикетки с широкими возможностями отделки за один цикл работы машины, при невысокой себестоимости. Для экономического обоснованного выбора технологии печати этикеток необходимо учитывать реальные производственные данные конкретных типографий и произвести расчет себестоимости продукции для разных тиражей для двух сравниваемых технологий, построив график зависимости себестоимости этикеток от длины тиражей, определив какие заказы будут более выгодны и какая технология будет предпочтительней.

Таблица 1. Сравнение затрат изготовления этикеток на флексографских, цифровых и гибридных печатных машинах

	MPS	Domino N610i	Гибрид MPS EFSymjet
Количество заказов	3	3	3
Тираж, шт	60 000	60 000	60 000
Длина тиража, пог. м	3 092,5	3 092,5	3 092,5
Запуск и подготовка машины к печати, мин	60	30	45
Время на печать, мин	44	44	44
Финишные операции, мин	15	30	15
Время на смену заказа, мин	60	10	30
Общее время производства час	2,98ч	1,4ч	2,23ч
Загрузка машины под 6 заказа (8-часовой раб. день)	37,25%	17,5%	27,88%
Всего отходов материала, пог. м	600	120	320
Расход красок (вкл. прочистку/смывку), кг	3	4	3,5
Затраты, руб.			
Стоимость материалов	63000	58520	33390
Стоимость красок	3150	20125	21525
Стоимость форм	47600	–	30800
Трудозатраты	5915	4865	4377,1
Амортизация	3360	9415	10171
Сервисные издержки	2240	3780	3780
Общая сумма затрат, руб	125265	96705	104043,1
Стоимость 1000 этикеток, руб	2088	16114	1729
Стоимость 1 этикетки, руб	2,086	1,61	1,72

Библиографический список

1. Киреев А. Флексо или цифра: анализ себестоимости для коротких и средних тиражей // Флексо Плюс. – 2019. – № 2. – С. 62–65.

2. Гибридная печать в производстве этикеток: производительность и экономика // Флексо Плюс. – 2019. – № 4. – С. 40–44.

3. Omethybridexperience: три машины в одном гибриде // Флексо Плюс. – 2019. – № 1. – С. 22–25.

УДК 655.534

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОТДЕЛКИ ОБЛОЖЕК И ПЕРЕПЛЕТНЫХ КРЫШЕК

Корнилов И. К.[1], Курбасова М. В.[1], Яганова М. В.[1]

[1] *Мосполитех, Россия, Москва, улица Б. Семеновская, д. 38*

В статье рассматриваются различные способы отделки обложек и переплетных крышек; проведён сравнительный анализ по критерию – уровень сложности использования различных способов отделки.

Ключевые слова: переплётная крышка, обложка, конструкция, способы отделки, анализ.

Наибольший вклад в исследование отделочных процессов из российских ученых внесли Воробьев Д.В. [2], Бобров В.И. и Сенаторов Л.Ю. [1], из зарубежных – Киппхан Г. [4], Либау Д. и Хайнце И. [11]. Однако, в литературе, посвященной отделочным процессам полиграфической продукции, тема отделки обложек и переплетных крышек, как правило, затрагивает лишь общеинформационную часть, в связи с чем, до настоящего времени не имеется достаточно глубоких и объективных научных исследований, затрагивающих оценку сравнительных возможностей способов отделки в реальных условиях производства.

Актуальность и научная новизна данной работы заключается в том, что в результате анализа и обобщения имеющихся данных о способах отделки обложек и переплетных крышек, о процессе их изготовления и сферах применения, было осуществлено ранжирование известных способов отделки обложек и переплетных крышек по степени сложности их изготовления, что позволяет выбрать оптимальный вариант, наиболее соответствующий не только потребностям заказчика, но и возможностям исполнителя.

Основные способы отделки обложек (а также переплетных покровных материалов для изготовления крышек) показаны в табл. 1 [1, 2, 4, 11]. Кроме того, в таблице приведено количество основных операций, необходимых для проведения того или иного способа отделки.

Таблица 1. Способы отделки обложек

№	Способы отделки	Кол-во операций
1	Лаки на масляной основе	3
2	Лаки на основе летучих растворителей	3
3	Дисперсионные лаки на водной основе	4
4	Ультрафиолетовые лаки	4
5	Металлизированные лаки	2
6	Специальные оптические свойства	3
7	Гибридное лакирование	4
8	Глянцево-матовые эффекты	4
9	Глянцево-текстурные эффекты	4
10	Экструзионное ламинирование	3
11	Припрессовка плёнки	4
12	Тиснение фольгой	5
13	Конгревное тиснение	4
14	Комбинированное тиснение	6
15	Трафаретная печать	1
16	Печать металлизированными красками	1
17	Бронзирование	4
18	Термография	4
19	Флокирование	3
20	Фигурная высечка	2

С помощью рис. 1 можно проследить изменение уровня сложности отделки обложек. По оси абсцисс отложены способы отделки согласно порядковым номерам из таблицы 1, по оси ординат – количество операций необходимых для выполнения конкретного способа отделки.

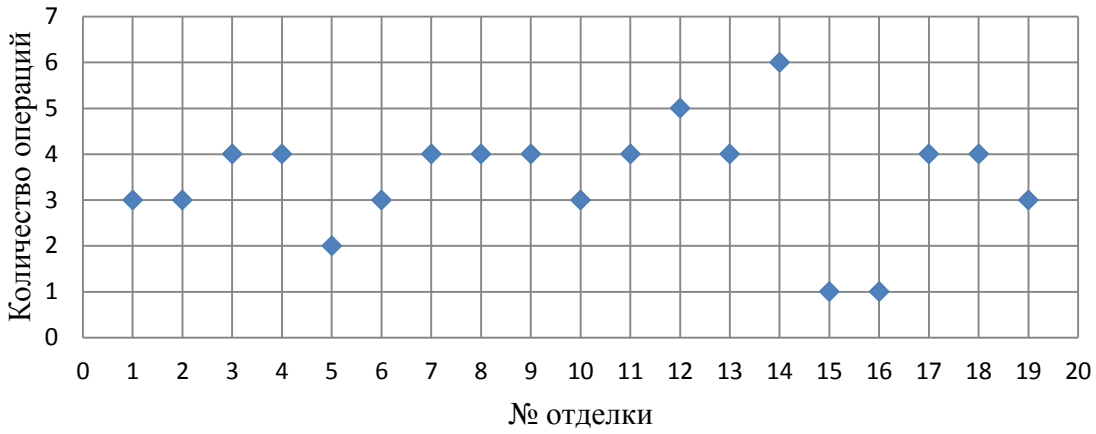


Рис. 1. Условная сложность способов отделки обложек

Самым сложным способом отделки обложек является – комбинированное тиснение (№ 14). На втором месте по сложности – тиснение фольгой (№ 12). Третье место разделяет большая группа способов: лакирование ВД-лаками (№ 3), лакирование УФ-лаками (№ 4), гибридное лакирование (№ 7), глянцево-матовое лакирование (№ 8), глянцево-текстурное лакирование (№ 9), припрессовка пленки (№ 11); конгревное тиснение (№ 13), бронзирование (№ 17), термография (№ 18). На четвертой позиции находятся: лакирование масляными лаками (№ 1), лакирование ЛР-лаками (№ 2), лакирование лаками со специальными оптическими свойствам (№ 6), экструзионное ламинирование (№ 10), флокирование (№ 19). На пятом месте: лакирование металлизированными лаками (№ 5) и фигурная вырубка (№ 20). Наиболее простыми оказались: трафаретная печать (№ 15) и печать металлизированными красками (№ 16).

Для полиграфического оформления переплетных крышек также могут быть использованы разнообразные способы отделки (табл. 2).

Таблица 2. Способы отделки переплётных крышек

№	Способы отделки	Кол-во операций
1	Блинтовое тиснение	3
2	Тиснение полиграфической фольгой	5
3	Конгревное тиснение	4
4	Комбинированное тиснение	6
5	Высокая печать специальными переплетными красками	1
6	Трафаретная печать, глубокая тампопечать	2
7	Термодекалькомания	5
8	Инкрустация	6
9	Наклейка иллюстраций	3
10	Аппликация	2
11	Высечка или фигурная вырубка	2

На рис. 2 наглядно видны значительные колебания уровня сложности выполнения конкретного способа отделки переплетных крышек.

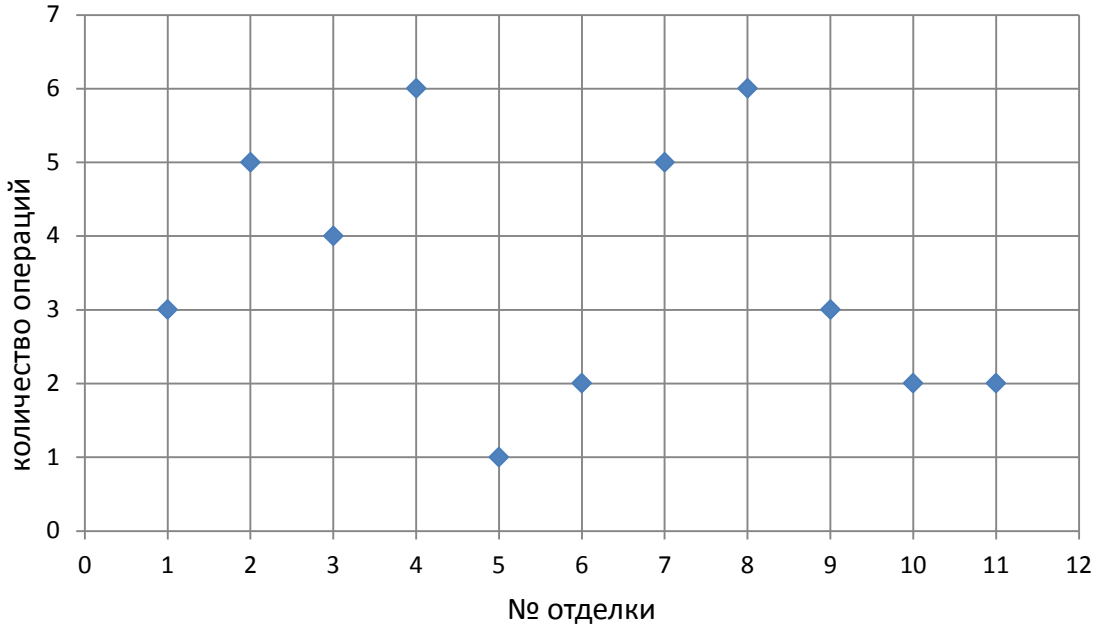


Рис. 2. Условная степень сложности способов отделки переплётных крышек

Самыми сложными способами отделки переплетных крышек являются: № 4 – комбинированное тиснение и № 8 – инкрустация (6 операций). Наиболее простым – № 5 – печать переплетными красками (1 операция).

Следует отметить, что вышеприведённое разделение по степени сложности отделки основывается только на одном из критериев, связанных с проектированием производственного процесса, а именно: количество операций необходимых для выполнения отделки. Для более объективной картины необходимы дальнейшие исследования и расчёты, связанные с учётом себестоимости способов отделки; с критериями, определяющими такие важные характеристики любого производства как: стоимость материалов, производительность машин и т.п.

Более подробно с возможными вариантами подбора обложек и переплётных крышек, учитывающих такие критерии, как конструктивные и технологические особенности обложек и переплётных крышек, можно познакомиться с помощью материалов, изложенных в статьях [5–9].

При выборе того или иного способа отделки, целесообразно использовать следующий порядок действий.

1. Необходимо выбрать конструкцию книги (тип обложки или переплётной крышки).
2. Определить какой визуальный эффект необходимо достичь в результате отделки.
3. Оценить возможности реального производства: трудоёмкость и стоимость соответствующего вида отделки.

Общий вывод

С помощью условной степени сложности проведен сравнительный анализ тридцати способов отделки обложек и переплетных крышек, что помогает более достоверно оценить трудоемкость и себестоимость будущего вида отделки на стадии проектирования изданий [10].

Библиографический список

1. Бобров В.И., Сенаторов Л.Ю. Технология и оборудование отделочных процессов: учебное пособие. – М.: МГУП, 2008. – 434 с.

2. Воробьев Д. В. Технология послепечатных процессов. – М.: МГУП, 2000. – 393 с.

3. Корнилов И. К., Савочкина Ю. С. Конструктивно-технологические особенности изготовления обложек // Вестник МГУП. – 2014. – № 1. – С. 106–120.

УДК 655.3.066.252

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИКАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЛЮМИНОФОРОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПЕЧАТНОЙ ПРОДУКЦИИ

Паршакова С. С.[1], Литунов С. Н.[1], Колбина Е. Л.[1]

[1] *ОмГТУ, Россия, Омск, Мира проспект, 11*

Несмотря на большую историю, защита печатной продукции от подделки является актуальной задачей. Это защита банкнот, продукции известных брендов, бланков строгой отчетности, банковской документации и др. Актуальность защиты печатной продукции увеличивается, не смотря на развитие цифровых технологий. Это объясняется тем, что защита электронной информации находится в стадии своего становления, и не всегда соответствует уровню взломщика. Практически ежедневно в СМИ появляются сообщения о взломе электронной системы защиты банков, государственных и частных учреждений и предприятий. Отчасти такое положение можно объяснить тем, что, как для защиты, так и для взлома электронной системы необходимо обладать знаниями лишь в области компьютерной техники и программирования. В то время как защита печатной продукции состоит из элементов, для подделки которых требуются знания из разных областей техники и технологии: лазерная техника, оптика, печатные технологии, механика, химия, радиология и другие.

Для защиты печатной продукции традиционно используются гильоширные, гравюрные, растровые элементы, общие и специальные способы и виды печати. Эти методы постоянно развиваются, появляются новые более сложные для воспроизведения, ведется поиск новых технологий, например, нанесение меток подлинности на основе фоточувствительного белка бактериородопсина. В перспективе могут получить развитие индикаторы на основе люминофоров.

Люминофорами называют вещества, способные за счет поглощенной энергии производить нетепловое световое свечение. Физическая природа люминесценции заключается в переходах электронов из возбуждённого состояния в основное. Спектр излучения зависит от природы люминофора, добавок, от интенсивности и длинны волны возбуждающего света. В результате анализа для данной работы были выбраны неорганические фотолюминофоры синего розового и зеленого свечения с размером частиц в среднем 15 мкм.

Целью работы являлась исследование возможности применения люминофоров в полиграфических лаках и красках. С этой целью использовался сольвентный лак Sericol VA394/5, выбор которого среди аналогов основан на оптических характеристиках (прозрачность, оптическая нейтральность) и защитными свойствами.

В качестве источников облучения применялись фотовспышка Nissin Di622 Mark II, светодиод телефона Iphone 6. Для регистрации излучения использовался измерителя оптического излучения ТКА-01/3 в режиме люксметра.

Суть эксперимента заключалась в следующем: в сольвентный лак вводился люминофор в количестве 10 %, 20%, 30 %. Полученные композиции наносились на впитывающую подложку (бумага толщиной 0,056 и 0,136 мкм) и невпитывающую подложку (PET толщиной 0,03 и 0,068 мкм), после чего помещались в сушильный шкаф на время высыхания «на отлип», составившее 15 минут. Оптимальной подложкой в ходе анализа толщины закрепленного слоя образцов оказался PET. Отмечено увеличение интенсивности излучения светового потока с ростом процентного содержания люминофора (рисунок 1).

Первым этапом для облучения использовался более слабый источник, варьировалось время облучения 1–10 минут (рис. 2) для исследования зависимости излучаемого светового потока от времени заряжения.

Определили, что при увеличении времени облучения от 3 мин величина излучаемого светового потока принципиально не меняются, оставаясь в близких пределах (рис. 1, 2). С целью унификации и интенсификации значений был осуществлен переход к кратковременному облучению более мощным источником. После облучения образцов производился замер интенсивности излучения люксметром в камере, ограждающей от постороннего излучения. В результате мощного облучения получен более интенсивный отклик.

В ходе попыток смешения люминофора с офсетной краской удалось выявить слабо заметное явление люминесценции только при использовании наиболее мощного режима облучения фотовспышкой, зафиксировать излучение люксметром не удалось. Частицы пигмента в офсетной краске перекрывают частицы люминофора. Попытки введения офсетного лака в смесь не улучшили результат. На рисунке 3 показан образец с офсетной краской, у нанесенного в верхнем левом углу лака с введенным люминофором четко заметен контур, яркое свечение. Из этого следует что для создания индикатора на основе люминофора из полиграфических материалов наиболее пригоден сольвентный лак, но не офсетная краска.

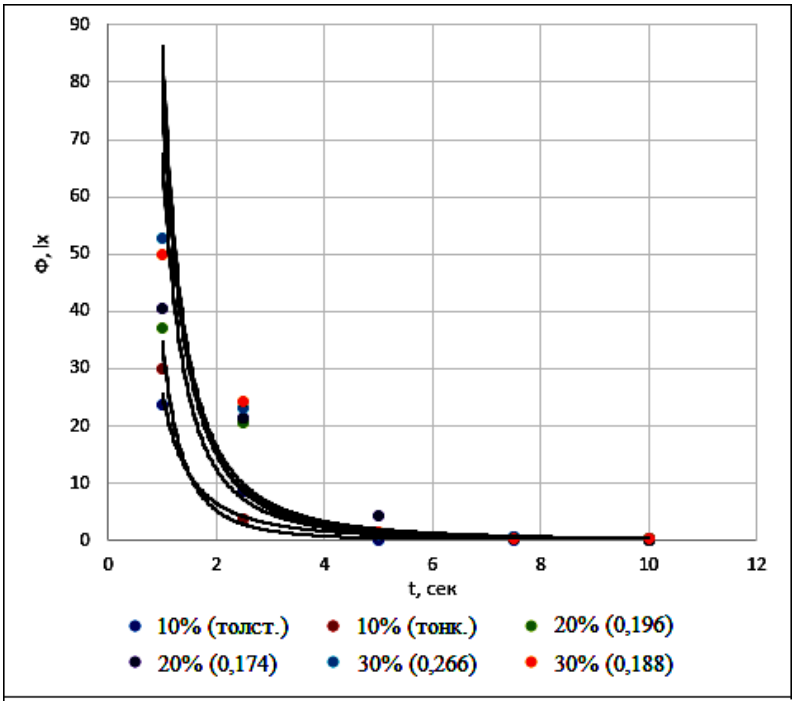


Рис. 1. Значения светового потока для образцов с содержанием люминофора 10%, 20% и 30%

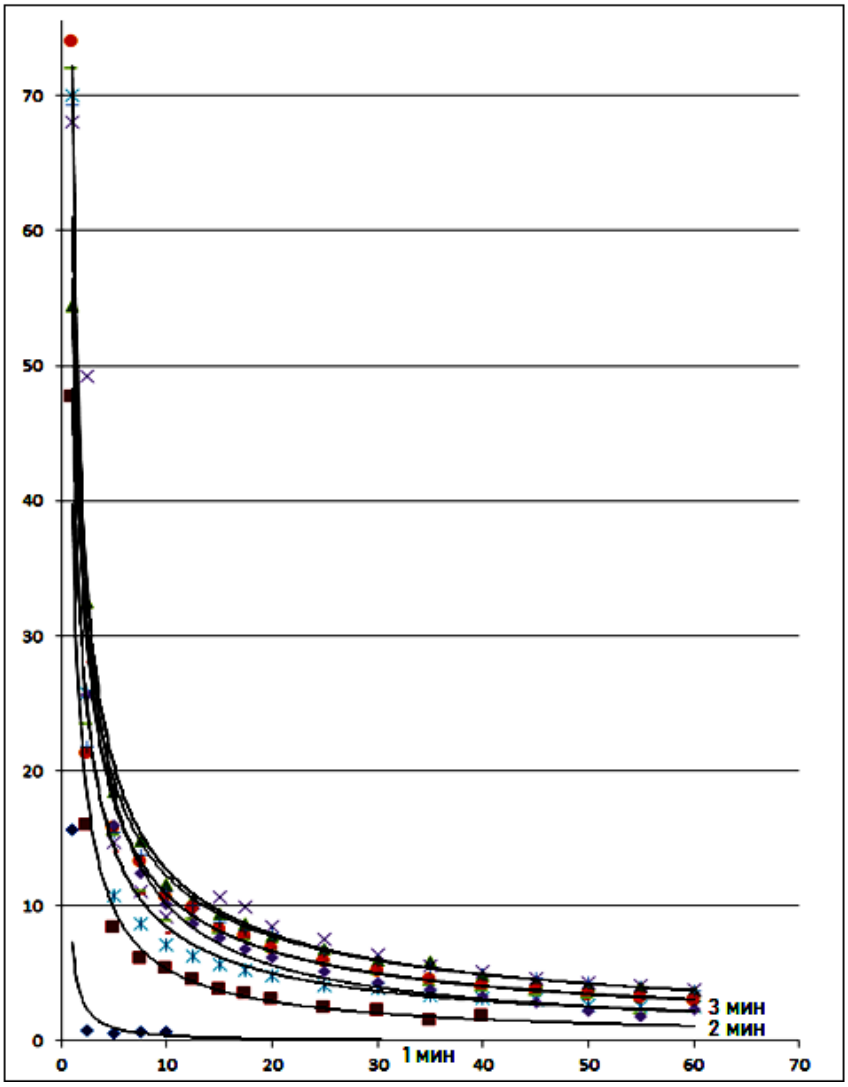


Рис. 2. Зависимость изменения светового потока от времени зарядки: 1 мин, 2 мин, 3 мин

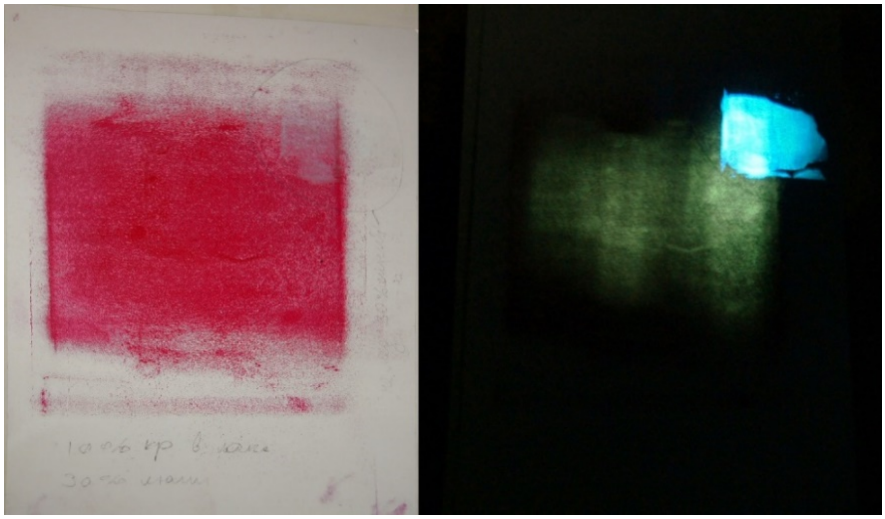


Рис. 3. Образец офсетной краски (слева) и лака (справа) смешанных с люминофором

Так как излучение люминофоров зависит от процентного содержания в жидкости, были подготовлены образцы с различными вариантами процентного содержанием люминофоров различных цветов. Последовательное нанесение нескольких слоев лака с различными люминофорами привело к усилению эффекта и получению композиций с уникальным спектром излучения.

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

– предложено для защиты печатной продукции от подделки использовать индикаторы на основе люминофоров;

– определено оптимальное время заряжения люминофора 3 мин;

– наиболее интенсивный световой поток получен при концентрации люминофора 30%;

– получены зависимости светового потока люминофора, смешанного с офсетной краской и сольвентным лаком, от времени. Полученные зависимости позволяют определить оптимальное количество люминофора в зависимости от требований заказчика;

– подобрана технология создания индикатора повышенной сложности для защиты полиграфической продукции.

Библиографический список

1. Жиров, Н.Ф. Люминофоры – М.: ГИОП, 1940. – 473 с.

2. Кленицкий, Д.В. Определение фотофизических параметров красителей в экспериментах по возбуждению и релаксации флуоресценции. В кн.: Физико-математические науки: материалы докладов 83-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). Минск 2019. – Минск: БГТУ, 2019. – С. 14.

3. Вавилов, С.И. О «теплом» и «холодном» свете (Тепловое излучение и люминесценция). – М.: Изд-во АН СССР, 1949. – 75 с.

4. Кулыгин, Д.А. Особенности люминесценции // Символ науки. – 2016. – № 12-1. – С. 10–11.

УДК655.3.066.51

СЛУЧАЙНО-ТОЧЕЧНАЯ АВТОСТЕРЕОГРАММА

Кузьмина П. А.[1], Бурковская К. В.[1], Тощакова Ю. Д.[1]

[1] *ОмГТУ, Россия, Омск, Мира проспект, 11*

Случайно-точечные автостереограммы (АСГ) Юлеша [1] широко распространены в теоретических и экспериментальных исследованиях зрения, в англоязычной литературе они получили название SIRDS–Single Image Random DotStereogram. Известны стерео и варио-изображения, для изготовления которых используется линиатурный растр, накладываемый поверх распечатанного закодированного рисунка. Помимо этого сейчас широко используется технология 3D-изображения и 3D-видео, в которой необходимы специальные стерео

очки. В автостереограммах для восприятия картинки не нужны специальные физические приборы [1]. Физиологические механизмы зрения человека дают возможность обходиться без физических устройств при просмотре закодированных картинок АСГ.

Для создания обычных стереограмм нужно использовать согласованную пару изображений объёмных сцен в двух ракурсах. Обычно для этого используют две камеры. При необходимости увидеть некоторую заданную точку рисунка ближе условной точки отсчета, нужно позицию заданной точки сдвинуть в левом изображении вправо, а в правом влево. Различие между левым и правым рисунком определяется разностью относительных координат двух точек, называемое относительной горизонтальной диспаратностью. Выбранные параметры величины и знака диспаратности во многом определяют степень и направление видимого сдвига всех точек по глубине. В АСГ, имеющих квазипериодическую структуру для создания объёмного образа тоже применяют горизонтальные диспаратности, но их вводят другими способами. При создании АСГ объемное изображение можно увидеть не при фиксации зрения на плоскости основного рисунка, а за этим рисунком, дальше или ближе основного изображения. Известны различные методы для того чтобы увидеть закодированное изображение АСГ. В основе всех методов один главный принцип – наблюдатель должен направить оси левого и правого глаза не на одну точку изображения, а на соответствующие точки в соседних периодах [2–3]. На рисунке 1 представлен пример автостереограммы. Сегодня разработать АСГ можно с помощью программных средств. В исследуемой работе, при помощи специального программного обеспечения создавали автостереограммы, используя рисунки различного разрешения. При создании АСГ кодировали геометрические фигуры и надписи.

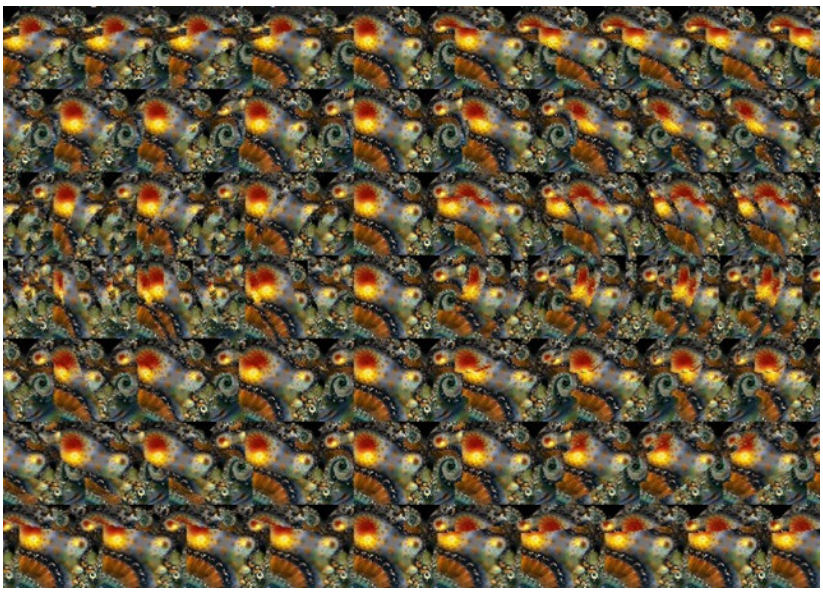


Рис. 1. Пример автостереограммы

Методика создания АСГ заключалась в следующем:

- Выбор и формирование текстуры из случайных точек.
- Выбор маски для стереограммы (черно-белой картинки формирующей скрытый объем в стереограмме).
- Генерирование готовой автостереограммы.

После создания автостереограмм, распечатывали полученные изображения на лазерном и струйном принтере в двух вариантах (цветном и черно-белом). Затем были проведены исследования зависимостей по определению влияния цветности при печати на видимость автостереограммы.

В результате работы сделаны следующие выводы:

При рассмотрении стереограммы простые фигуры лучше видно, чем надписи.

Чем ярче была нарисована точка на маске, тем ближе она была расположена на стереограмме.

Автостереограмма распечатанная в черно-белом варианте воспринималась также как распечатанная цветная автостереограмма.

Библиографический список

1. Г. И. Рожкова, Автостереограммы: особенности структуры, условия успешного восприятия и практическое использование (рус.) // «Мир техники кино»: журнал. – 2017. – № 2 (11). – С. 3–10.

2. С. Н. Рожков, Н. А. Овсянникова, Стереоскопиявкино-, фото-, видеотехнике / В. И. Семичастная. – М.: «Парадиз», 2003. – С. 95–101.

Секция 8

НАУЧНЫЕ РАБОТЫ СТАРШЕКЛАССНИКОВ В ОБЛАСТИ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА РАЗВИТИЕМ ПТЕНЦА КРЯКВЫ В ДОМАШНИХ УСЛОВИЯХ

Анфиногенова Л. А.[1], Шишковский В. Б.[2], Дроздова Н. А.[1]

[1] *БОУ г. Омска «Гимназия № 76», Россия, г. Омск, ул. Крыловская, 50*
[2] *БУ ДО «Омская областная станция юных натуралистов», Россия, г. Омск, ул. Дмитриева, 10*

Ежегодно весной на территорию нашей страны устремляются стаи перелетных птиц. Наиболее многочисленные среди них утки. Из года в год, направляемые инстинктом, птицы гнездятся на одних и тех же водоемах. Здесь они выводят свое потомство, которое впоследствии вновь возвратится в эти места. Однако, этот процесс зависит от внешних факторов, одним из которых является человек. Своей деятельностью он нарушает естественные условия проживания и гнездования птиц. Охота, рыбалка, купание в водоемах, транспорт, загрязнение окружающей среды не только беспокоит птиц, но и несет непосредственную угрозу жизни, как взрослых особей, так и их потомству. В случае, если подрастающий молодняк остался без родителя, ему грозит гибель. Этим объясняется *актуальность* нашей работы.

Цель работы: создать условия для адаптации дикой утки в домашних условиях.

Утки – представители водоплавающих птиц семейства утиных отряда гусеобразных. Тело широкое, обтекаемое, с относительно длинной гибкой шеей и маленькой головой. Наиболее характерная черта – это широкий, более или менее приплюснутый сверху и снизу клюв, по краям покрытый частыми роговыми пластинами или зубцами. На всём протяжении клюв покрыт роговым слоем, несколько утолщённым на вершине, который образует нарост, называемый «ноготком».

3 июля 2019 года была замечена дикая утка со стаей утят в количестве 22 штук. Предположительно она следовала к оз. Моховому со стороны оз. Чередовое, находящихся на территории Ленинского административного округа г. Омска. Утята были разного размера. Достигнув железнодорожных путей, не все утята смогли их преодолеть. После ухода утки с большинством выводка, в траве у железнодорожной насыпи был обнаружен утенок, покрытый пухом серого цвета с черными пятнами. Цвет лап оранжевый с серыми перепонками. Было принято решение создать ему условия для проживания в домашней обстановке.

В ходе создания условий для адаптации утенка кряквы обыкновенной был обустроен птичник площадью около 3м^2, оборудованный навесом, местом для выгула и местом для купания.

В качестве контрольного образца для сравнительного анализа с птенцом кряквы обыкновенной произвольным образом был выбран один из утят башкирской породы. Наблюдение длилось 4 месяца.

В процессе работы уткам были предложены продукты питания в соответствии с рекомендациями. Сравнительный анализ рациона питания уток понедельно и степень предпочтения продуктов вносился в дневник наблюдений.

В ходе работы были сделаны следующие *выводы:*

В неволе диким уткам особых условий для содержания не требуется: они прекрасно уживаются в одном месте с домашней птицей. Также стоит отметить, что кряква неприхотлива в выборе продуктов питания. Однако необходимо учитывать рацион и интервал кормления птиц в зависимости от возраста.

Несмотря на схожие предпочтения в рационе, дикая и домашняя утки набирают массу, характерную для своего вида и пола, хотя набор массы и формирование основных физиологических навыков у дикой утки по сравнению с домашней завершились раньше: до момента отлета птиц на зимовку.

Таким образом, можно считать, что наша гипотеза подтвердилась: утенок кряквы обыкновенной адаптировался к жизни в домашних условиях.

Библиографический список

1. Природопользование и охрана природы на территории Омской области: Книга для учителей, студентов и школьников. Часть 2. – Омск: Издательство ОмГПУ, 1999.

2. Я познаю мир. Птицы: энциклопедия. – М.: «Издательство АСТ»: ООО «Издательство Астрель», 2009.

3. Дикие утки: породы, содержание, кормление [Электронный ресурс]. Журнал о качестве жизни «Greenologia.ru». – Режим доступа: https://greenologia.ru/ekozhizn/xozyajstvo/fermerstvo/pticevodstvo/utki/dikie-soderzhanie-kormlenie.html, свободный.

4. Как построить утятник и загон для выгула уток своими руками[Электронный ресурс]. – Интернет-журнал «Птицеводу.ру». – Режим доступа: https://pticevodu.ru/utyatnik-svoimi-rukami.html#i-2, свободный.

5. Коблик Е. А. Разнообразие птиц (по материалам экспозиции Зоологического музея МГУ) в 4 томах. – М.: МГУ, 2001. – Т. 1. – Режим доступа: https://zoomet.ru/ptici-avtor-k.html, свободный. – Электрон. версия печ. публикации.

ЯНТАРЬ.
СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАТУРАЛЬНОСТИ КАМНЯ

Бабец П. Е.[1], Дроздова Н. А.[1]

[1] *БОУ г. Омска «Гимназия № 76»,*
Россия, г. Омск, ул. Крыловская, 50

На прилавках магазинов, рынков, ювелирных бутиков можно встретить огромное количество различных изделий из янтаря. Яркие, с неповторимыми узорами камни не оставили нас равнодушными. Мы задумались над несколькими вопросами: как правильно сделать выбор? не подделка ли это? от чего зависит цвет камня?

Цель работы: узнать, что такое янтарь и его свойства.

Янта́рь – окаменевшая ископаемая смола, затвердевшая живица древнейших хвойных деревьев верхнемелового и палеогенового периодов. Янтарь не образует кристаллы, легко полируется, электризуется при трении (получается отрицательный заряд). Загорается от пламени спички. На открытом воздухе активно окисляется (стареет), что со временем приводит к изменению химического состава, цвета, повышенной хрупкости. Янтарь хрупкий материал, его обработка приводит к существенному уменьшению первичного размера и веса камней, что в свою очередь приводит к удорожанию ювелирного изделия. Именно это и послужило толчком для создания имитации камня.

Попробуем в домашних условиях создать имитацию янтаря. Для этого нам понадобится: клей ЭДП, форма для заливки, деревянная палочка, пластиковый стаканчик, крошки янтаря, сухие красители. Эпоксидную смолу перемешиваем с отвердителем в пластиковом стакане. К этой смеси добавляем сухой краситель. Все перемешиваем до однородной массы круговыми движениями деревянной палочкой. Неповторимый рисунок «камню» придают 2–3 капли воды, которую можно добавить в раствор. Поверхность формы смазываем глицерином или подсолнечным маслом. Полученный состав заливаем в форму. Срок застывания 24 часа. Затвердевшую смолу вынимаем.

В своей работе мы представили 8 образцов (включая изготовленный нами), над которыми провели несколько опытов по определению натуральности камня. По результатам проведенных тестов видно, что образцы 1, 2, 3, 4, 5, 6 являются натуральным янтарем, образцы 7 и 8 – имитация. Образец под № 8 создан нами.

Убедившись в натуральности камня, мы выбрали образец № 1 для обработки в домашних условиях по следующему алгоритму:

1. Обработка крупнозернистой наждачной бумагой.
2. Обработка мелкозернистой наждачной бумагой.
3. Полировка шлифовальной мягкой поверхностью.
4. Полировка с применением пасты «ГОИ».
5. Полирование для придания блеска.

По результатам проведенной работы мы можем сделать следующие выводы: янта́рь – это окаменевшая ископаемая смола, изучением которой занималось много ученых, цвет янтаря зависит от присутствия в нем посторонних веществ. Нам удалось создать искусственный янтарь в домашних условиях, провести опыты по определению натуральности нескольких образцов янтаря, обработать янтарь в домашних условиях. Наша гипотеза не подтвердилась, так как проведенные опыты над образцом, который изготовили мы, показали, что это искусственный камень.

Библиографический список

1. Будур Н.В. Камни в легендах и преданиях: книга / Н.В. Будур. – М.: Дрофа-Плюс, 2008. – 288 с.
2. Воронов В.А. Янтарь: мини-энциклопедия / В.А. Воронов. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2005. – 191 с.
3. Корнилов Н.И., Солодова Ю.П. Ювелирные камни / Н.И. Корнилов, Ю.П. Солодова. – М.: Недра, 1982. – 239 с.
4. Куликов Б.Ф. Словарь камней-самоцветов. – Л.: Недра, 1982. – 159 с.
5. Сребродольский Б.И. Янтарь: книга / Б.И. Сребродольский. – М.: Наука, 1984. – 112 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАБУХАНИЯ ПОЛИМЕРОВ В СМАЗОЧНЫХ МАСЛАХ

Богданов А. С.[1], Сафиулова В. Р.[2], Сорокина Н. И.[2], Шубенкова Е. Г.[2]

[1] *БОУ г. Омска «Лицей № 143», Россия, г. Омск, ул. Т. Белозерова, дом 20*
[2] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11*

Полимеры представляют собой высокомолекулярные химические соединения (ВМС), макромолекулы которых образованы из множества мономерных звеньев. Молекулы полимеров характеризуются огромной молекулярной массой, от нескольких тысяч до нескольких миллионов атомных единиц массы.

С точки зрения происхождения все полимеры подразделяют на природные, к которым относят нуклеиновые кислоты, белки, целлюлозу; синтетические (полученные в лаборатории путем синтеза и не имеющие природных аналогов), к которым относят полиуретан, фенолформальдегидные смоли; искусственные (полученные в лаборатории путем синтеза, но на основе природных полимеров) – нитроцеллюлоза.

Для полимеров характерны два агрегатных состояния – кристаллическое и аморфное и особые свойства – эластичность (обратимые деформации при небольшой нагрузке — каучук), малая хрупкость (пластмассы), ориентация при действии направленного механического поля, высокая вязкость, а также растворение полимера происходит посредством его набухания. Исходя из этого, можно заключить, что полимеры способны к набуханию. Процесс набухания полимера является специфичным по отношению к различным жидкостям, поглощение сопровождается увеличением объема.

Набухание является сложным процессом и стоит из двух стадий: 1) стадии сольватации, т. е. образования вокруг мицелл и макромолекул оболочек из ориентированных молекул растворителя, сопровождающегося контракцией и выделением тепла, и 2) стадии осмоса, т. е. проникновения растворителя внутрь ячеек.

На второй стадии набухание происходит практически без изменения интегральной теплоты набухания (внутренняя энергия остается постоянной) и контракции системы. Вторая стадия набухания обычно отличается от первой существенно большим поглощением жидкости.

Ограниченное набухание – эго набухание, которое не доходит до стадии растворения. В этом случае полимер поглощает низкомолекулярную жидкость, но сам в ней не растворяется или растворяется очень мало, образуя студень. Скорость диффузии молекул растворителя во много раз больше скорости диффузии макромолекул, поэтому растворитель быстрее проникает в образец ВМС, заполняет пустоты между цепями макромолекул, ослабляя их взаимодействие и постепенно отделяя одну от другой.

Набухают только лиофильные к данной жидкости вещества, например, желатина набухает в воде, но не в бензоле, а каучук, наоборот, хорошо набухает в жидкостях с малой диэлектрической постоянной.

Набухание вещества зависит от химической природы этого вещества и жидкости, а также от примеси электролитов (кислот, щелочей и солей) и неэлектролитов, от температуры и давления.

Полимеры имеют важное значение в технике, технологии и нефтехимии. При разливах нефти и/или нефтепродуктов в результате техногенных катастроф происходит загрязнение больших площадей водных или твердых поверхностей, а также проникновение загрязнений в почву, в грунтовые воды. Кроме того, массовое применение нефтепродуктов в промышленности в качестве топлива, смазочных материалов и т.п. и отсутствие надлежащей утилизации соответствующих промышленных отходов также приводят к загрязнению больших поверхностей земельных участков, предназначенных для сбора таких отходов. Известен способ обработки загрязнений из нефти и/или нефтепродуктов, заключающийся в связывании части нефти и/или нефтепродукта набухающим каучуком. Полимер в составе сорбента, взаимодействуя с жидкими нефтью и/или нефтепродуктами, ограниченно набухает в этой жидкости и связывает ее в вязкопластичную массу, которая предотвращает испарение нефти или нефтепродукта с поверхности и может быть механически удалена с поверхности. Кроме того, так как полимеры используются как уплотнители, то необходимо учитывать возможность набухаемости полимеров в нефтепродуктах и потере уплотнителем прочностных характеристик.

Цель работы – исследование набухания резины, латекса и полиэтилена в смазывающих жидкостях.

Задачи исследования:

1. Изучить:

– процесс набухания и влияние типа смазочного материала на набухаемость полимеров;

– влияние природы полимера на набухаемость полимера.

2. Отметить основные закономерности и сделать соответствующие выводы.

Прямоугольные пластинки образцов резины, латекса и полиэтилена длиной 5 см, шириной 0,2–0,3 см и толщиной 0,1 см помещали в узкие пробирки с дистиллированной водой, смазочным маслом МС-20 и МС-8П, моторным маслом Mobil Super 3000 5W-40. Все пробирки плотно закрывали корковыми пробками и клали горизонтально.

Через 24, 48, 72, 96, 144, 192 часа накладывали пробирки на полоску миллиметровой бумаги и измеряли длину пластинок, а вычитая первоначальную длину их, определяли удлинение пластинок вследствие набухания.

Результаты исследования представлены в таблице 1.

Согласно проведенным исследованиям, значительное увеличение размеров образцов наблюдается в первые 3–4 суток, при более длительном выдерживании размеры образцов или не увеличиваются или увеличиваются незначительно. Наибольшее отклонение размеров образцов от начального значения наблюдается в маслах МС-8П и Mobil Super 3000 5W-40. Экспозиция исследуемых образцов резины и латекса в масле МС-20 показала увеличение их размеров всего лишь на четверть и треть от наблюдаемого максимума соответственно. Для образцов полиэтилена заметных изменений длины образцов после экспозиции в смазочных маслах не зафиксировано.

Таблица 1. Результаты исследований набухаемости резины и латекса в смазочных маслах

Масло	Полимер	Время, ч						
		0	24	48	72	96	144	192
МС-8П	Резина	3	3,4	3,6	3,7	3,9	3,9	3,9
	Латекс	3	3,4	3,5	3,8	4	4,3	4,3
МС-20	Резина	3	3	3	3,1	3,2	3,3	3,3
	Латекс	3	3	3	3,1	3,2	3,5	3,5
Mobil Super 3000 5W-40	Резина	3	3,5	3,7	3,9	4	4,1	4,2
	Латекс	3	3,4	3,7	4	4	4,1	4,1

Полученные результаты можно объяснить, основываясь на структуре полимеров, их полярности и отношению к кислотам и щелочам. Из всех использованных в исследовании масел, масла МС-8П и Mobil Super 3000 5W-40 обладают высоким кислотным числом 0,7 и 2,32 соответственно, что непосредственно повлияло на набухаемость менее устойчивого к действию щелочей латекса, размеры образца латекса превысили размеры образца резины в случае МС-8П и их размеры практически одинаковы в Mobil Super 3000 5W-40 (таблица 1).

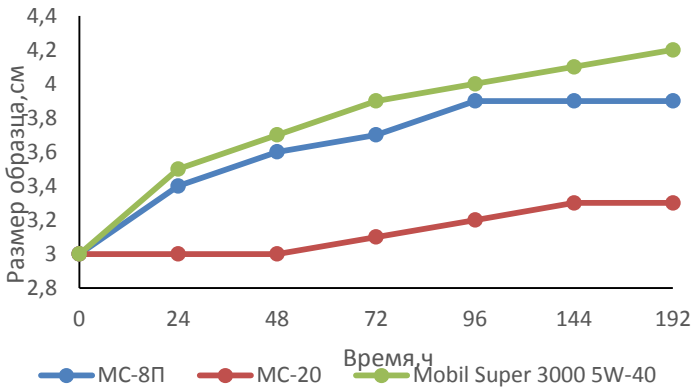


Рис. 1. Зависимость размера образца резины от времени экспозиции в смазочных маслах

Масло МС-20 кроме высокого значения вязкости также обладает и наименьшей полярностью по сравнению с другими представленными маслами, поэтому менее полярный латекс (диэлектрическая постоянная латекса 2,4) набухает в МС-20 больше, чем более полярная резина (диэлектрическая постоянная 3,5). В данном случае срабатывает принцип подобия полярностей: «полярные вещества лучше растворяются в полярных растворителях, неполярные в неполярных растворителях».

Структура резины более пористая по сравнению с латексом, что связано со стереорегулярным строением молекул полимера, поэтому изменение размеров образцов резины в смазочных маслах выше, чем у латекса, кроме того во всех использованных маслах у резины в отличии от латекса увеличивается и толщина образцов. Полиэтилен имеет низкопористую структуру и низкую полярность (диэлектрическая проницаемость 2,3), а также высокую устойчивость к действию кислот и щелочей, что и объясняет наблюдаемые результаты по отсутствию изменения размеров образцов полиэтилена. Длина образцов полиэтилена не изменялась в среде использованных масел, но обратил на себя внимание факт увеличения толщины полиэтиленовой пленки в масле МС-20, что может быть связано с особенностями структуры полиэтилена.

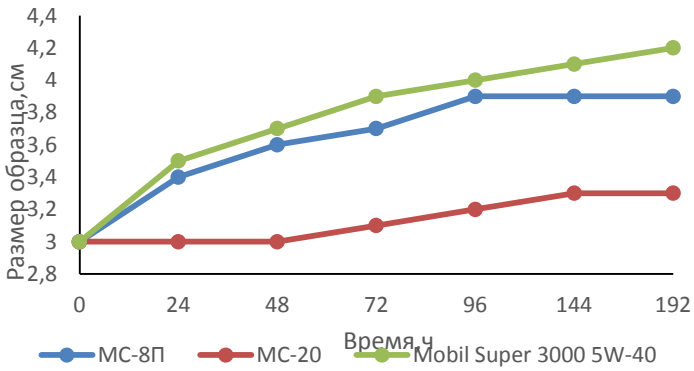


Рис. 2. Зависимость размера образца латекса от времени экспозиции в смазочных маслах

На основе проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Исследован процесс набухания образцов резины, латекса и полиэтилена в смазочных маслах МС-20 и МС-8П, моторном масле Mobil Super 3000 5W-40.
2. Построены зависимости изменения размеров образцов от времени экспозиции.
3. Установлено, что большей набухаемостью обладают образцы резины, что связано с высокой пористостью данного полимера. Наименьшая набухаемость у полиэтилена, т.к. данный полимер неполярен и имеет непористую структуру.
4. Показано, что большую набухаемость исследованных полимеров на основе каучука вызывают масла с высоким кислотным числом МС-8П и Mobil Super 3000 5W-40.

Библиографический список

1. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. – Л.: Химия, 1984.
2. Каргин В.А., Слонимский Г. Л., Краткие очерки по физико-химии полимеров. – 2-е изд. – М., 1967.
3. Тагер А. А. Физико-химия полимеров. – 2-е изд. – М., 1968.
4. Минеев А.И. Качество нефти и нефтепродуктов. – 1976.
5. Абросимов А.А. Экологические аспекты производства и применения нефтепродуктов. – М.: ВАС, 1999.
6. Захарченко, В.Н. Коллоидная химия / В.Н. Захарченко. – М.: Высшая школа, 1989.
7. Жолнин А.В. Общая химия: учеб. пособие. – Челябинск, 2010.

КИНЕТИЧЕСКАЯ ЗАРЯДКА ДЛЯ ГАДЖЕТОВ

Гембух Э. А.[1], Рогачев Е. А.[2]

[1] *БОУ «Лицей № 166», Россия, г. Омск, ул. Нефтезаводская, д. 3а*
[2] *ГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр-т Мира, д. 11*

Сегодня трудно представить себе жизнь современного человека без каких-либо гаджетов. Смартфон стал не только средством общения, но и инструментом для работы и отдыха. В частности, функции смартфона позволяют сделать более приятными и эффективными физические тренировки, осуществляя как помощь в получении рекомендаций для тренировок, отслеживание состояния тела, а так же путем воспроизведения музыки, создавая позитивный настрой. Но работа гаджетов предполагает затраты на их подзарядку. А физические упражнения дают зарядку для нашего тела. В связи с этим, возникла идея совместить два этих действия – зарядку нашего тела и подзарядку гаджетов. На основе указанной идеи была сформулирована следующая цель работы: изучить способ обеспечения автономности работы гаджетов и других портативных технических устройств путем трансформации энергии движения человека.

Для достижения цели сформулированы следующие задачи:

- предложить способ трансформации энергии движения человека в электрическую энергию;
- изготовить и протестировать прототип устройства портативной зарядки гаджетов при помощи энергии движения человека.

Существует большой спектр видов источников генерации электроэнергии. Для этих целей человек научился использовать тепловую энергию (в теплоэлектростанциях), энергию воды (гидро-электростанции, электростанции на основе энергии волн), ядерную энергию, солнечную энергию, энергию ветра. Но работа абсолютного большинства источников энергии сводится к тому, что какая-либо сила вращает ротор в генераторе. Отличие заключается лишь в виде этой силы и размерах генератора.

С точки зрения физики, генерация электроэнергии возникает за счет движения проводящего контура (или контуров) в магнитном поле. Это явление называется электромагнитной индукцией. Суть этого явления была раскрыта Майклом Фарадеем в 1831 г. Она заключается в следующем. Если магнитное поле пронзает какой-либо контур, то оно создает так называемый, магнитный поток, величина которого определяется формулой:

$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha$, где B – величина индукции магнитного поля, S – площадь контура, α – угол между вектором B и нормалью контура.

При изменении магнитного потока, в контуре возникает электродвижущая сила (ЭДС). Если контуров несколько, то ЭДС складывается.

Таким образом, чтобы осуществлять выработку электроэнергии, необходимо обеспечить изменение магнитного потока. Для этого внутри токопроводящей катушки обеспечивается перемещение постоянного магнита. Во время бега или прогулки, то, что находится в карманах, трясется. Если в карман поместить катушку со свободно перемещающимся магнитом, то его движение будет создавать ЭДС.

Для реализации данной идеи была взята пластиковая трубка, торцы ее были заклеены изоляционной лентой. Снаружи была намотана тонкая медная проволока, диаметром 0,02 мм. Было сделано около 1000 витков. Внутрь помещены магнит и две пружинки – для обеспечения колебания магнита, а значит изменения магнитного потока. Для получения постоянного тока к выходам катушки был подключен диодный мост. Так как в изготовленном устройстве максимальное напряжение достигает 2,5 В., а для зарядки гаджетов необходимо 5В, в схему устройства включен повышающий преобразователь постоянного тока, который повышает напряжение до 5 В.

Так как движение магнита почти хаотичное, ток на выходе преобразователя пульсирующий. Для сглаживания тока, параллельно к выходам преобразователя был впаян конденсатор, емкостью 2200 мкФ.

Полученное изделие представлено на рис. 1.

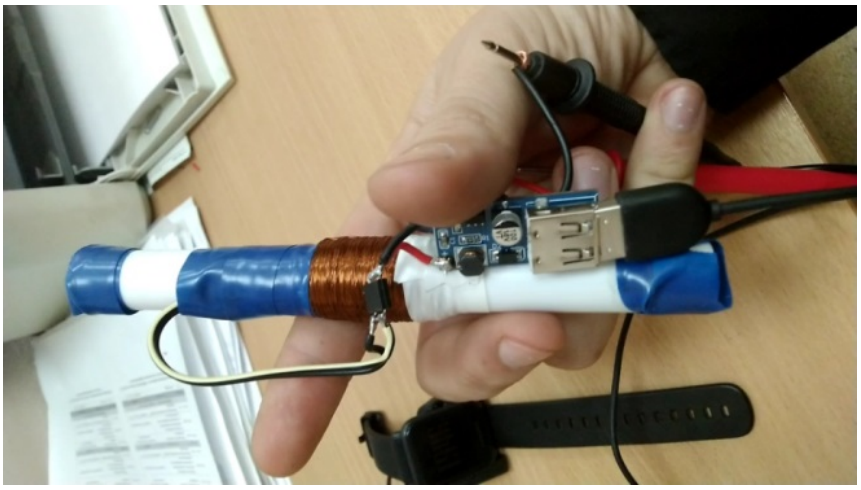


Рис. 1. Внешний вид кинетической зарядки

Таким образом, в результате проделанной работы можно сделать следующие выводы: установлено, что большинство источников электрической энергии работают на принципе, основанном на законе Фарадея; была предложена идея использования кинетической энергии движения человека во время прогулки или пробежки для преобразования ее в электрическую энергию; было собрано изделие «кинетическая зарядка», способное осуществлять питание электроэнергией маломощные потребители; изменение разработанной конструкции, а именно использование более мощных магнитов и большего числа витков катушки, позволит осуществить главную задачу проекта, а именно обеспечение автономной электроэнергией переносимые гаджеты.

Библиографический список

1. Мякишев, Г. Я. Физика. 11 класс: учебник для общеобразовательных организаций: базовый уровень / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, В. М. Чаругин; под ред. Н. А. Парфентьевой. – Москва : Просвещение, 2014. – 432.

ЗАВИСИМОСТЬ ВЫХОДА ПРОДУКТА ЭЛЕКТРОЛИЗА СУЛЬФАТА МЕДИ (II) ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ

Гордеева С. В.[1]

[1] *БОУ «Лицей № 66», Россия, г. Омск, ул. Красный путь, 22а*

Электролиз – это совокупность процессов, протекающих в растворе или расплаве электролита, при пропускании через него электрического тока. Электролиз является одним из важнейших направлений в электрохимии.

Актуальность работы:

Актуальность электролиза объясняется тем, что многие вещества получают именно этим способом. Преимущество этого способа в относительной дешевизне и простоте. Однако чтобы производство было наиболее выгодным: с наименьшими затратами электроэнергии и с наибольшим выходом продукции, необходимо учитывать различные факторы, влияющие на количество и качество продуктов электролиза.

Цель:

Выявление зависимости выхода продукта электролиза сульфата меди (II) от концентрации соли

Гипотеза:

Зависимость выхода продукта электролиза зависит от концентрации раствора соли.

Задачи:

- Раскрыть принцип работы электролизёра
- Провести электролиз
- Изучить зависимость выхода продукта электролиза
- Отобразить полученные результаты на графике

Ход работы:

1) Подключила оборудование и сделала раствор нужной концентрации.
2) Измерила вес медного электрода до процесса электролиза.
3) Выставила определенное значение тока и зафиксировали время.
4) По окончанию процесса электролиза взвесила высохший электрод с образовавшейся на нем чистой медью.
5) Посчитала процент выхода меди.
6) Повторила вышеописанные пункты 4 раза.

Таблица 1. Результаты эксперимента

Концентрация	Масса CuSO4	Вес пластинки до электролиза	Вес пластинки после электролиза	Выход в %
4	6,25	5,28	5,43	75%
6	9,37	7,73	7,89	80%
8	12,5	4,79	4,96	85%
10	15,625	7,75	7,93	90%
12	18,75	7,95	8,14	95%

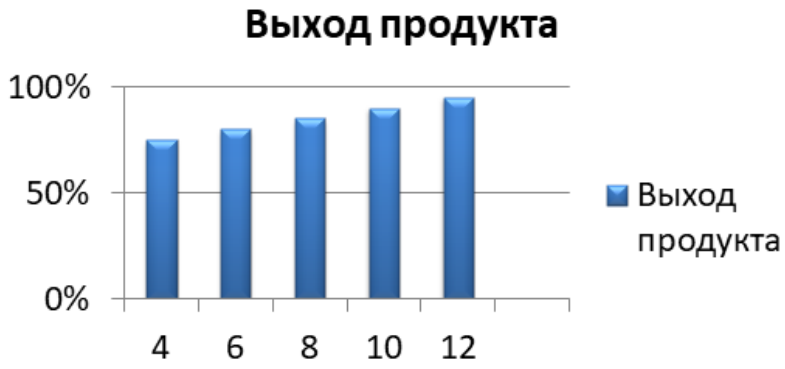


Рис. 1. График зависимости выхода чистой меди в %

Вывод:

В ходе проведенного опыта, отталкиваясь от полученных мною результатов, я могу сделать вывод, что с увеличением концентрации раствора наблюдается прямая зависимость выхода чистой меди от концентрации раствора соли.

Библиографический список

1. Фоксфорд-учебник, himege.ru, wikipedia.org, electrik.info, physbook.ru, works.doklad.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОЭЖЕКТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Груздев А. С.[1], Бортникова А. А.[2], Рогачев Е. А.[2]

[1] *БОУ г. Омска «Гимназия № 26», Россия, г. Омск, ул. Лесной проезд, 5*
[2] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр-т Мира, д. 11*

Широкий спектр применения устройства магистральной пароэжекторной установки (УМПЭУ) в различных областях, включая область нефтепереработки, определяет актуальность исследования. В частности, УМПЭУ дает возможность решить такие задачи, как нагревания воды в системах химической очистки воды, деаэрации, отопления, горячего водоснабжения, вентиляции, утилизации отработавшего пара, технологических процессах подогрева перегретой воды на резинотехнических производствах, вместо барботажа пара в баках-аккумуляторах, а также аварийной подпитки котлов и многих других технологических схемах Эффективность установки определяется ее конструкционными особенностями, одной из главной характеристик является коэффициент эжекции.

Цель данной работы изучить физические принципы, лежащие в основы работы УМПЭУ, а также создать ее прототип.

Задачи исследования:

- Изучить физические принципы работы УМПЭУ;
- Собрать прототип УМПЭУ и изучить возможности ее применения.

УМПЭУ являются смесительными теплообменниками, в них отсутствуют промежуточные поверхности, и тепло греющего пара передается при непосредственном контакте пара и воды. Поэтому подогреватели УМПЭУ имеют более высокий коэффициент теплопередачи и в десятки раз меньшие размеры, благодаря чему существенно уменьшаются потери тепла с наружных поверхностей установки и их КПД составляет 99,5%.

В основе работы УМПЭУ лежит закон Бернулли. Из которого следует, что давление жидкости или газа зависит от скорости из течения, и как следствие, от площади поперечного сечения трубы. Это дает возможность производить забор пара в установке. Закон Бернулли описывается выражением:

$$p + \frac{\rho V^2}{2} + \rho g h = const$$

здесь p – внешнее (атмосферное) давление, $\rho V^2/2$ – гидродинамическое давление, $\rho g h$ – гидростатическое давление.

Для практического изучения работы УМПЭУ был изготовлен ее прототип. Для этого были взяты: полипропиленовая труба наружным диаметром 20 мм, тройник, 2 штуцера, подводные шланги. В тройник с одной стороны был впаян штуцер, как показано на рис. 2.

Рис. 2. Устройство эжекции

Меньший, в сравнении с внутренним диаметром трубы, размер штуцера обеспечивает повышение скорости течения жидкости в данном месте, что приводит к появлению области пониженного давления. В эту область с помощью другого штуцера осуществляется забор подогревающей жидкости (или пара) для последующего смешивания с подогреваемой жидкостью.

В качестве подогреваемой жидкости использовалась проточная холодная вода из-под крана с начальной температурой 24 ^{0}C. Подогревающей жидкостью являлась вода из чайника с температурой 80 ^{0}C. В результате всасывания горячей воды в трубу, проходило ее смешение. В ходе эксперимента воды в чайнике было 700 мл, после того, как вся вода была эжектирована, в ведре стало 3,5 л воды, то есть проточной воды из-под крана было нагрето объемом 2,8 литра. Температура была повышена на 10 ^{0}C. Таким образом, коэффициент эжекции (соотношение объема подогреваемой и подогревающей жидкости) составил:

$$k = \frac{V_{\text{гор.воды}}}{V_{\text{хол.воды}}} = \frac{0{,}7\ л}{2{,}8\ л} = 0{,}25$$

В соответствии с уравнением теплового баланса:

$$c \cdot m_{гор} \cdot (t_{гор} - t_{смеси}) = c \cdot m_{хол} \cdot (t_{смеси} - t_{хол})$$

Было установлено, что КПД установки составило 65%. Низкое значение связано с малым объемом используемой в опыте горячей воды. В данный расчет не входит значение теплоемкости самой установки.

Сконструированная нами установка, не только применима при изучении принципа работы УМПЭУ, но и можно использовать на даче, где водозабор ведется из скважины погружным насосом. Для того чтобы нагреть добываемую холодную воду можно с помощью нашей установки смешивать ее с заранее нагретой водой, например, из бани. То есть, результат работы над проектом еще и полезен на практике.

В целом, общие выводы по работе можно сделать следующие: проведен анализ области применения УМПЭУ; установлено, что работа УМПЭУ основана на законе Бернулли, изучен этот закон; изготовлен прототип УМПЭУ, определены ее характеристики; показана возможность ее применения в быту для подогрева холодной воды из скважины.

Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс физики: учеб. для студентов высш. технических учеб. зав. Т. 1: Механика. Молекулярная физика: учебник / И.В. Савельев. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 352 с.

2. Теплообменник УМПЭУ [Электронный ресурс] // ateffekt.ru: ООО «Альянс-ТеплоЭффект», 2019. – URL: http://www.ateffekt.ru/teploobmennik-umpeu (дата обращения: 20.12.2019).

ЗАВИСИМОСТЬ МАССЫ СГОРЕВШЕГО САХАРА ОТ НАЛИЧИЯ СОЛЕЙ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРОВ

Гудкова В. Д.[1], Яринская Л. Г.[1]

[1] *БОУ «Лицей № 66», Россия, г. Омск, ул. Красный путь, 22а*

Катализ – это одна из наиболее динамично и стремительно развивающихся областей науки и техники. Непрерывно разрабатываются новые и совершенствуются существующие каталитические системы, предлагаются новые каталитические процессы, меняется их аппаратурное оформление, совершенствуются и появляются новые физико-химические методы исследования катализаторов. Большинство химических процессов, задействованных на предприятиях нефтехимического и нефтеперерабатывающего комплекса, являются каталитическими. Развитие катализа и каталитических технологий в значительной мере обуславливают конкурентную способность нефтехимической продукции на рынке.

Катализ – явление специфичное. Нет веществ, которые обладали бы каталитическими свойствами в общей форме. Для каждой реакции должен использоваться свой особый катализатор.

*Актуальность: п*рактическая направленность данной работы вносит огромный вклад в повышение уровня знаний обучающихся, а также увеличивает уровень их практических умений.

На примере своей работы с горением сахара я хотела показать гетерогенный катализ, который можно было продемонстрировать в условиях школьной лаборатории. Горение сахара подразумевает гетерогенный катализ, а с ним связано большинство процессов в нефтехимии и нефтепереработке.

Современная химическая промышленность на 90% является каталитической. Катализ позволяет создавать различные вещества, необходимые для медицины, сельского хозяйства, пищевой, текстильной и других отраслей промышленности.

В настоящее время свыше 80% нефти перерабатывается с использованием каталитического процессов: крекинга, риформинга, изомеризации и гидрирования углеводородов, гидроочистки нефтяных фракций от серосодержащих соединений, гидрокрекинга.

Цель данной работы: определение зависимости массы сгоревшего сахара от наличия солей щелочных и щелочноземельных металлов в качестве катализаторов.

Задачами данного исследования являлись:

- ознакомиться с основными понятиями гетерогенного катализа
- приобрести навыки проведения катализа в школьной лаборатории
- рассмотреть зависимость массы сгоревшего сахара от наличия катализаторов
- рассчитать среднее значение
- сделать соответствующие выводы

При простом поджигании сахар не горит. В этом легко убедиться, если внести кусочек сахара в огонь: как только вы уберете пламя, сахар быстро гаснет. Но как мы выяснили если к кусочку сахара добавить какой-нибудь катализатор, то он будет прекрасно гореть. Действительно, этот катализатор ускоряет химический процесс горения сахара настолько, что, даже если удалить пламя газовой горелки, горение сахара будет продолжаться.

Ход работы:

1. С помощью электронных весов взвешиваем каждую чашку для выпаривания, в которых будет гореть рафинад.

2. Взвешиваем каждый кусочек рафинада на электронных весах.

3. Натираем кусочки сахара поочередно различными катализаторами ($CaSO_4$, Li_2SO_4, Na_2SO_4, $MgSO_4$, K_2SO_4).

4. Вносим кусочек сахара с помощью пинцета в пламя свечи, ждем пока он загорится и в течении одной минуты он горит.

5. Тушим кусочек рафинада в чашке для выпаривания.

6. Получившуюся массу сгоревшего сахара мы погружаем в чашку (которую взвесили заранее) и измеряем массу чашки вместе со сгоревшим сахаром (масса чашки после сгорания). Опыт с каждым из катализаторов мы проводим по 3 раза, каждый раз при этом высчитывая массу чашки после сгорания сахара.

7. После практической части мы производим расчеты, считая массу сгоревшего сахара.

*Расчеты: п*о результатам 1 2 и 3 экспериментов мы построили диаграмму массы сгоревшего сахара

В первом эксперименте больше всего сахара сгорело с катализатором Li_2SO_4, во втором – Na_2SO_4, в третьем – K_2SO_4. Представлено среднее значение 3х результатов экспериментов в ходе эксперимента мы определили количество сгоревшего сахара в зависимости от солей щелочных и щелочноземельных металлов в качестве катализаторов и выяснили что наибольшая масса сахара сгорает с помощью катализатора сульфата лития.

В результате проведенной работы сделаны следующие выводы:

1. Ознакомились с основными понятиями гетерогенного катализа.

2. Освоили навыки проведения катализа в школьной лаборатории.

3. Рассмотрели зависимость массы сгоревшего сахара от наличия щелочных и щелочноземельных металлов в качестве катализаторов ($CaSO_4$, Li_2SO_4, Na_2SO_4, $MgSO_4$, K_2SO_4).

4. Провели измерения массы при различных щелочных и щелочноземельных металлах, в качестве катализаторов.

5. Рассчитали средние значения 3 результатов каждого катализатора.

Библиографический список

1. Киреев В.А. Краткий курс физической химии, 1978. – 624 с.

2. Химическая литература. Библеографический справочник (1920–1951 гг.). – Издательство: Государственное Научно-Техническое Издательство Химической Литературы. – 1953. – 564 с.

3. О.В. Крылов. Гетерогенный катализ. – М.: Академкнига, 2004. – 680 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОТ В ФРУКТОВЫХ СОКАХ

Дубицкий К. Ю.[1], Картавина А. С.[2], Сорокина Н. И.[2], Шубенкова Е. Г.[2]

[1] *БОУ г. Омска «Гимназия № 140», Россия, г. Омск, ул. Дмитриева, 13*
[2] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11*

Фруктовый сок является одними из наиболее ценных и питательных напитков. В зависимости от его состава в нем преобладают те или иные витамины и минеральные вещества, которые позволяют поддерживать организм в тонусе, восстанавливать и насыщать организм витаминами, минералами, питательными веществами.

Соки очень полезны для детей, они позволяют насытить организм необходимыми элементами и повысить уровень иммунитета, вымывают из организма токсины, шлаки, укрепляют иммунитет. Питают и восстанавливают ткани, способствуют быстрому заживлению ран и активизации ферментов. Соки являются достойной альтернативой многим лекарственным препаратам.

Следует понимать, что плодоовощные соки и сокосодержащие напитки подразделяются на соки (100%), нектары (25–50%) и сокосодержащие напитки (не менее 10%). Соки и нектары в свою очередь в зависимости от наличия и размера взвешенных частиц мякоти подразделяются на следующие виды: с мякотью (жидкие продукты с не удаленными взвешенными частицами мякоти, подвергнутые гомогенизации), естественно мутные (неосветленные жидкие продукты с мелкими взвешенными частицами) и прозрачные/осветленные (жидкие продукты, полученные путем прессования измельченной мякоти плодов и овощей и подвергнутые осветлению).

Также соки делятся на соки прямого отжима (свежеотжатые соки, получаемые при непосредственном механическом воздействии на измельченную мякоть сырья (мезгу)), стерилизованные (соки, подвергнутые стерилизации при температуре 120–140°С и герметически укупоренные), концентрированные (сок, полученный удалением путем физического воздействия части содержащейся в нем воды с целью увеличения массовой доли растворимых сухих веществ не менее чем в 2 раза), восстановленные (сок, получаемый путем разведения водой концентрированного или сухого сока), сухие (сок, полученный удалением путем физического воздействия части содержащейся в нем воды до воздушно-сухого порошкообразного состояния).

Нектары и сокосодержащие напитки могут быть фруктово-ягодными, так же сокосодержащие напитки могут быть овощными.

В связи с ростом потребления соков и сокосодержащих напитков возросло количество их производителей, что способствует падению качества продукта. Все это приводит к необходимости контроля качества напитков. Готовая продукция должна соответствовать установленным по ГОСТу требованиям или техническим условиям, которые распространяются на все предприятия. Реальным отображением качества продукта является сертификат соответствия, выдаваемый Роспотребнадзором.

В качестве идентифицирующих признаков натуральности соков приняты следующие показатели: органолептические – внешний вид (цвет, прозрачность) и физико-химические – титруемая кислотность, качественный и количественный состав органических кислот (лимонной, D-изолимонной, Z-яблочной) и зольных веществ (натрия, калия, магния, кальция, фосфора), а также наличие моносахаров (глюкозы и фруктозы). Определению физико-химических показателей фруктовых соков и посвящена данная работа.

Целью данной работы является определение качественного состава органических кислот в соках.

Задачи исследования:

1. Изучить литературу по теме исследования.

2. Освоить метод потенциометрического титрования.

3. Определить предполагаемую константу диссоциации кислоты в напитках.

4.Сравнить полученные значения констант с константами диссоциации аскорбиновой и других кислот и определить качественный и количественный состав органических кислот в соках.

Методика выполнения:

1. Профильтровать исследуемый сок или газированный напиток

2. Определить содержание кислоты потенциометрическим методом.

3. Приготовить серию растворов с различной концентрацией сока путем последовательного разбавления в 10, 100, 1000 раз.

4. Определить pH приготовленных растворов и рассчитать константы диссоциации.

5. Сравнить полученные константы диссоциации с константами диссоциации аскорбиновой и других кислот.

Методика потенциометрического титрования и определение константы диссоциации:

1. Методом последовательного разбавления приготовить растворы сока различной концентрации.

2. Подключить к модулю «Электрохимия» рабочий электрод и электрод сравнения. Измерить температуру раствора термодатчиком.

3. Провести потенциометрическое титрование путем последовательного добавления 0,5 мл раствора щелочи с концентрацией 0,1 моль/л. Проводить измерение ЭДС раствора, через три минуты после добавления раствора щелочи и постоянном перемешивании.

4. Построить график зависимости pH от ½lg(1/c) и по отрезку, отсекаемому на оси ординат определить константу диссоциации (на оси ординат отсекается отрезок ½ lg Kc).

5. Сравнить полученное значение константы диссоциации с табличным.

Во время выполнения работы нами были построены кривые титрования в координатах pH-V (рис. 1).

Используя полученные значения были вычислены pH исследованных соков по формуле: pH = –1/2lg1/c-1/2lgKc. Результаты сравнения со справочными значениями представлены в таблице 1.

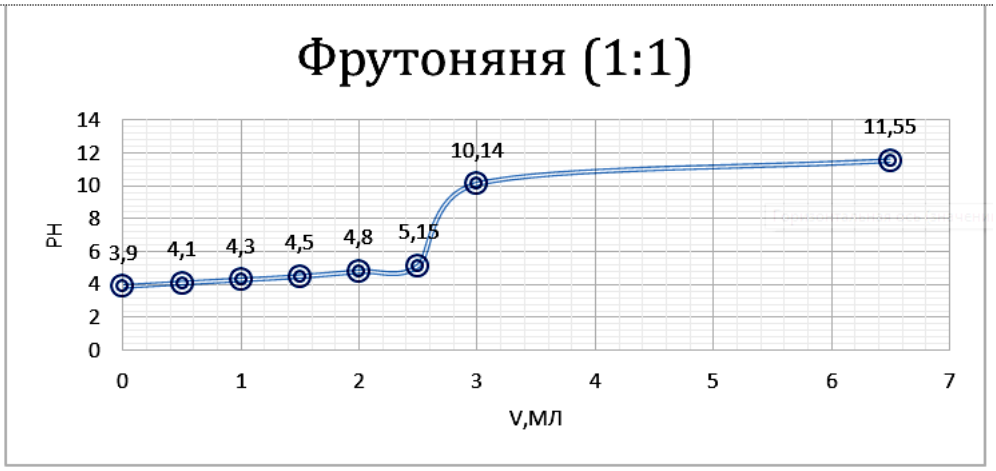


Рис. 1. Кривая титрования яблочного сока «ФрутоНяня»

Таблица 1. Результаты качественного определения кислот в соках

	Аскорбиновая кислота (pKa = 4,1)	Лимонная кислоты (pKa = 4,74)	Яблочная кислота (pKa = 5,05)	Бензойная кислота (pKa = 4,18)
ФрутоНяня (яблочный)	Да	Нет	Да	Нет
Сады Придонья (яблочный)	Да	Нет	Нет	Нет
Свежевыжатый апельсиновый сок	Да	Да	Нет	Нет

Яблочный сок – источник витаминов, минералов, пектина, органических кислот. Среди витаминов, которые содержатся в яблочном соке – витамины группы В, аскорбиновая кислота, токоферол (витамин Е), витамин Н и ряд других. В нем содержится кальций, калий, магний, натрий, сера, хлор, фосфор, железо и т.д. Напиток нормализует работу клеток мозга, выводит свободные радикалы, способствует обновлению и омоложению клеток, борется со склеротическими проявлениями в сосудах, участвует в окислительных процессах и защищает клетки от разрушения. Наши исследования показали наличие аскорбиновой кислоты в яблочных соках обоих производителей, в соке ФрутоНяня обнаружено наличие яблочной кислоты, что может указывать на использование в качестве сырья данным производителем зеленых яблок, именно зеленые яблоки содержат яблочную кислоту, а кроме того не вызывают аллергических реакций у детей до года. Таким образом производителю ФрутоНяня заслуживает доверия как использующий натуральное антиаллергенное сырья для производства детских соков.

В результате проведенной работы были сделаны следующие выводы:

1. Методом потенциометрического титрования фруктовых соков и на основе графических преобразований результатов определены pH исследуемых соков и рассчитаны константы диссоциации.

2. Установлено наличие лимонной кислоты в свежевыжатом апельсиновом соке, яблочной кислоты в яблочном соке «ФрутоНяня» и аскорбиновой кислоты в яблочном соке «Сады Придонья».

3. Все исследованные соки содержат аскорбиновую кислоту, что указывает на их биологическую активность.

4. Во всех исследованных соках не обнаружена бензойная кислота, которую используют в пищевой промышленности в качестве консерванта.

5. Высокое содержание кислот выступает противопоказанием к употреблению яблочного и цитрусовых соков при таких болезнях как гастрит с повышенной кислотностью, обострение язвенной болезни двенадцатиперстной кишки и желудка, обострение панкреатита. Здоровым людям, не имеющим противопоказаний, увлекаться чрезмерным употреблением сока не стоит, в сутки лучше не употреблять более 1 литра напитка. При чрезмерном увлечении соком могут наблюдаться ощущения тяжести в животе, метеоризм, раздражение слизистой оболочки пищеварительных органов.

Библиографический список

1. https://nomnoms.info/klassifikatsiya-i-assortiment-sokovoy-produktsii/
2. Методические указания «Кислоты и основания. Водородный показатель», 2007г.
3. https://lektsii.org/15-35732.html
4. https://vproizvodstvo.ru/klassifikator/klassifikaciya_sokov_polza/
5. https://polzavred.ru/yablochnyj-sok-polza-i-poleznye-svojstva-yablochnogo-soka.html

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЫХОДА ПРОДУКТА ЭЛЕКТРОЛИЗА СУЛЬФАТА МЕДИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Жигало Д. А.[1]

[1] *БОУ «Лицей №66», Россия, г. Омск, ул. Красный путь, 22а*

Электролиз – это физико-химический процесс, состоящий в выделении на электродах составных частей растворенных веществ или других веществ, являющихся результатом вторичных реакций на электрода, который возникает при прохождении электрического тока через раствор, либо раствор электролита.

Процесс электролиза основан на непрерывной регенерации раствора с периодическим отбором части его на выделение сульфата.

В нефтехимической промышленности электролиз связан с самым удобным методом извлечения водорода из смеси газа(коксовый газ, газы от переработки нефти).

Актуальность:

Практическая направленность этого метода, вносит огромный вклад в общее интеллектуальное развитие обучающихся, повышает уровень их практических знаний и умений.

Электролиз- сложный физико-химический процесс, который можно продемонстрировать в условиях школьной лаборатории.

Цель работы: «Определение на практике зависимость выхода продукта электролиза сульфата меди от температуры»

Задачи:

- Ознакомиться с процессом «Электролиз»
- Приобрести практические навыки в школьной лаборатории
- Собрать замкнутую цепь, для проведения опыта
- Понаблюдать за протеканием процесса в течении 40 минут
- Записать результаты
- Выявить закономерности на основе опыта
- Проанализировать получение результаты и сделать выводы

*Реактивы и оборудование: д*истиллированная вода, амперметр, вольтметр, электронные весы, стаканчик для проведения опыта, сульфат меди(II), фильтры для навески сульфата меди(II), электроды.

Ход работы:

1. Взвесила медный электрод на электронных часах
2. Собрала замкнутую цепь, для проведение опыта «Электролиза»
3. На электронных часах взяла навеску $CuSO_4$ массой 10 г
4. Растворила навеску в дистиллированной воде, тем самым получила 100г 10% раствора $CuSO_4$
5. После получения раствора, в него поместила медный электрод и замкнула цепь
6. Проводили электролиз, в течение 40 минут при силе тока 1А (рис. 1)

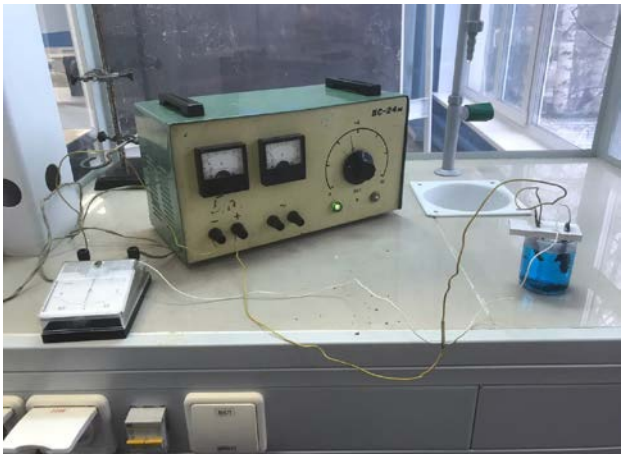


Рис. 1. Экспериментальная установка

7. После проведения опыта, медный электрод высушили и снова поместила на электронные весы
8. Данный опыт повторяли трижды при разной температуре дистиллированной воды
9. После практической части провели расчеты
10. Занесли полученные результаты в таблицу

Выводы:

1. В ходе проведенного эксперимента и на основе составленных таблиц, мы можем наблюдать, что окисление медного электрода с разной температурой дистиллированной воды происходит с примерно одинаковыми результатами, которые варьируются от 0,65 г до 0,8 г.

2. Проведя работу, я ознакомилась с понятием Электролиз и приобрела практические навыки в школьной лаборатории.

Библиографический список

1. «Справочник химика 21» – https://chem21.info/info/21396/

2. Учебный фильм «Электролиз» доступ онлайн – https://www.youtube.com/watch?v=SwNJwbU_lYU&vl=ru

ОСОБЕННОСТИ РАЗВЕДЕНИЯ КРОЛИКОВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОГО ЛИЧНОГО ХОЗЯЙСТВА

Зеленкин Е. М.[1], Сергеева О. В.[1]

[1] *БОУ г. Омска «Лицей 54», Россия, г. Омск, улица 70 лет Октября, 20-3*

Исходя из сегодняшних реалий, когда мясо без гормонов и антибиотиков купить не предоставляется возможным, а у члена семьи аллергия, то выход моя семья нашла в самостоятельном выращивании кроликов. Условия проживания в частном доме позволили принять смелое решение по выращиванию домашнего животного. Чтобы сохранить свое здоровье, нужно правильно питаться, уметь составлять рациональное меню, знать питательную ценность и вкусовые качества продуктов. Это возможно, употребляя в пищу мясо кролика, оно богато питательными веществами, является ценным диетическим продуктом, рекомендуется как лечебное питание при заболеваниях печени, гастритах, малокровии, ожирении и т. д. По сравнению с говядиной, бараниной и свининой в нем содержится больше легкоусвояемых полноценных белков и меньше холестерина. Белок кроличьего мяса человек усваивает на 90 %, а из говядины — на 62%. Кроличий жир, по сравнению с другими животными жирами, биологически более ценен. Отношение ненасыщенных жирных кислот к насыщенным в нем самое высокое. Крольчатина особенно полезна детям и людям пожилого возраста. Вышесказанное позволяет высказать *гипотезу* о том, что кролики при правильном содержании, учитывая особенности кормления, могут стать выгодными и полезными для разведения.

Целью данной работы является выявление особенностей разведения кроликов при различном рационе кормления для получения питательного мяса.

Задачи: 1. Изучить литературу о кролиководстве.

2. Ознакомиться с биологическими особенностями кроликов, условиями их содержания и кормления.

3. Провести наблюдение, сделать расчеты, проанализировать полученные результаты.

Первая пара кроликов породы «Советская шиншилла» в нашем хозяйстве появился в 2014 году. Через несколько недель на свет появились крольчата. Нам всем нравилось наблюдать за детенышами, они такие забавные и росли очень быстро. Спустя некоторое время мы решили заняться разведением кроликов и купили еще 2 самки. Так начиналась комплектация стада. Сейчас стадо состоит из 5 самок и 1 самца.

От взрослых самок за сезон получаем по 3–5 окролов. В среднем в одном помете крольчиха приносит 6–8 крольчат. За год от 5 самок выращиваем 90–100 голов кроликов. Так как обработка шкурок процесс трудоемкий, то от всего выращенного поголовья реализуем только мясо. При разведении кроликов используется наружноклеточная система содержания, т. е поголовье кроликов, в зависимости от времени года и погоды, размещается и в помещении, и на улице в клетках, сделанных из досок и металлической сетки. Маточное поголовье размещено в помещении круглый год.

Рацион кормления состоит в основном из сена и комбикорма. Сено находится в свободном доступе в неограниченном количестве, комбикорм дается суточная норма вечером, свежая вода дается утром и вечером. Самкам в период лактации дается свежая морковь.

В кормлении используется комбикорм ПЗК 90-1 для молодняка фирмы ООО ПК «Фаворит-агро» состав: пшеница, ячмень, отруби пшеничные, жмых подсолнечника, дрожжи кормовые, рыбная мука, мел кормовой, соя полножирная, монокальций фосфат, соль повареная, премикс.

Так как, в литературе по кролиководству написано, что картофель, богатый на крахмал, влияет на увеличение веса, и этот овощ рекомендуется отваривать и добавлять в комбикорма, я решил проверить это утверждение опытным путем.

Для эксперимента я взял двенадцать кроликов 4 недельного возраста. Я их взвесил и записал данные в таблицу. 6 крольчат (№7-12) я кормил, как и все поголовье – сеном и комбикормом, а в рацион другой половины (№1-6) я добавлял отварной картофель (делал «мешанку).

Таблица 1. Схема кормления

05.07		**21.07**	
1) 870 г.	7) 1280 г.	1) 1205 г.	7) 1608 г.
2) 870 г.	8) 1390 г.	2) 1166 г.	8) 1822 г.
3) 904 г.	9) 1350 г.	3) 1270 г.	9) 1680 г.
4) 930 г.	10) 1150 г.	4) 1206 г.	10) 1702 г.
5) 740 г.	11) 1470 г.	5) 880 г.	11) 1740 г.
6) 1060 г.	12) 1280 г.	6) 1420 г.	12) 1706 г.
19.08		**22.09**	
1) 1470 г.	7) 2400 г.	1) 2460 г.	7) 3200 г.
2) 1580 г.	8) 2500 г.	2) 2600 г.	8) 3360 г.
3) 1560 г.	9) 2110 г.	3) 2350 г.	9) 2920 г.
4) 1530 г.	10) 2140 г.	4) 2400 г.	10) 3200 г.
5) 1100 г.	11) 2180 г.	5) 1880г.	11) 3100 г.
6) 1630 г.	12) 2400 г.	6) 2420 г.	12) 3260 г.

Анализируя данные таблицы, мы пришли к выводу, что привес кроликов, в рацион которых добавляли отварной картофель составил 162,56 %, а привес второй партии составил 140,41% от общей массы. Несмотря на то, что привес оказался выше, трудоемкость кормления и затраты на покупку картофеля, делают этот метод для нашего хозяйства нерентабельным.

Нами так же проведен расчет потребности в кормах на одного кролика в течение одного сезона таблица 2.

Расчет показал, что себе стоимость 1 кг. кроличьего мяса составляет 113 р/кг. Если учесть, что стоимость крольчатины в магазине в среднем составляет 350–400 руб./кг, то выращивать кроликов в подсобном хозяйстве очень выгодно.

Таблица 2. Расчет сезонной потребности в кормах

Возраст	Количество на одну голову в граммах	
	Концентрированный корм	Сено
	Молодняк	
4 недели	35	20
5 недель	50	40
6 недель	70	60
7–8 недель	80	100
9–11 недель	90	110
Расчет на 90 голов	441.45 кг · 16 р/кг = 7150 руб.	498.6кг · 6 р/кг = 2991.6 руб.

Заключение и выводы:

В ходе своей работы была изучена литература о кролиководстве, проводился эксперимент, велся уход и наблюдение за кроликами, сделаны необходимые расчеты, сделаны выводы о том, что:

Во-первых, благодаря основным биологическим особенностям, кролик – самое скороспелое и многоплодное домашнее животное.

Во-вторых, они неприхотливы в уходе, поэтому их можно разводить повсюду и в любое время года.

В-третьих, ценное мясо кроликов. Оно диетическое и показано к употреблению при многих заболеваниях, а также для детского питания. А еще, из него можно приготовить вкусные блюда для своей семьи или же продать.

Если рассмотреть вопрос разведения кроликов мясных пород со стороны выгоды, то в первую очередь можно отметить относительную дешевизну их содержания.

Работа имеет практическое значение, так как данный материал может быть использован на уроках биологии, как практическое руководство для разведения.

Работа может иметь продолжение, так как необходимо изучить качественный и количественный состав мяса по белкам, жирам. А также, необходимо проанализировать влияние отходов на состояние почвы приусадебного хозяйства.

Библиографический список

1. Александров В.А. «Разведение кроликов». – М.: Изд-во Лик-прес, 2001. – 256 с.
2. Сысоев В.С., Александров В.Н. Кролиководство. – М.: Агропромиздат, 1985. – 268 с.
3. Технологические основы производства и переработки продукции животноводства: учебное пособие / под ред. В.И. Фисина, Н.Г. Макарцева. – М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 808 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ РАСТВОРОВ СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Казанцев Н. И.[1], Додонова А. С.[2], Сорокина Н. И.[2], Шубенкова Е. Г.[2]

[1] *БОУ г. Омска «Гимназия № 140», Россия, г. Омск, ул. Дмитриева, 13*
[2] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11*

Электролиты – вещества, растворы или расплавы которых обладают ионной проводимостью. По сравнению с металлами (сплавами металлов), проявляющими электронную проводимость и являющимися проводниками первого рода, электролиты относят к проводникам второго рода. Типичные проводники второго рода – это растворы кислот и оснований, расплавы и растворы солей. Так как все биологические жидкости и ткани организма обладают ионной проводимостью, то они относятся к растворам электролитов.

Важным свойством растворов электролитов является электрическая проводимость (электропроводность L), которая характеризует их способность проводить электрический ток. Она является величиной, обратной электрическому сопротивлению. Различают удельную и молярную электрическую проводимость растворов электролитов.

Методы анализа, основанные на измерении электропроводности, широко применяются для технологического контроля во многих производствах, определения влажности пористых объектов, содержания солей в воде, в различных биологических жидкостях или в почве. По электропроводности растворов можно количественно определять растворимость труднорастворимых соединений (солей), изоэлектрическую точку аминокислот, пептидов и белков.

Электропроводность раствора играет большую роль при промышленном применении электролиза, так как от нее, в значительной степени, зависит расход электроэнергии при электролизе. Так же, с помощью установления электропроводности, часто применяемое в лабораторных исследованиях, позволяет осуществить измерение содержания солей в различных растворах при испарении воды (например, в котельной воде или при сгущении молока) и определение основности кислот.

В связи с широким применением электродегидраторов для разрушения эмульсий типа В/М, в процессах обессоливания и обезвоживания нефти, особое значение имеет электропроводность нефтяных эмульсий, обусловленная, в основном, содержанием воды в эмульсии и содержанием растворенных в ней электролитов и кислот.

Электропроводность является одним из важных эксплуатационных свойств топлив, от которого зависит безопасность обращения с ним и его применения в двигателях. По значениям электропроводности природной воды можно приближенно судить о минерализации воды с помощью предварительно установленных зависимостей. Величина удельной электропроводности служит приблизительным показателем суммарной концентрации электролитов, главным образом, неорганических, и используется в программах наблюдений за состоянием водной среды для оценки минерализации вод. Чем ниже электропроводность воды, тем она чище.

Целью данной работы являлось исследование электропроводности растворов сильных электролитов. Задачи исследования:

1. Изучить литературу по данной теме;
2. Овладеть методикой приготовления растворов точной концентрации;
3. Освоить методику измерения электропроводности водных растворов;
4. Измерить электропроводность растворов электролитов;
5. Проанализировать результаты и сделать соответствующие выводы.

В ходе опыта в химический стакан мерным цилиндром отмерили 100 мл дистиллированной воды. Далее этот стакан поставили на магнитную мешалку и запустили перемешивание. В процессе добавления реагента измеряли электропроводность растворов, отмечая электропроводность до тех пор, пока объем добавляемого реагента не солставил 10 мл. По полученным экспериментальным данным построили график зависимости электропроводности исследованных растворов от объема добавленного электролита. Описанные выше манипуляции проводят с остальными реагентами, в данном случае ими являются: нитрат калия (KNO3), карбонат калия (K2CO3), гексацианоферрат (III) калия (K3[Fe(CN)6]), гексацианоферрат (II) калия (K4[Fe(CN)6]), сульфат натрия (Na2SO4), карбонат натрия (Na2CO3), сульфат магния (Mg2SO4), сульфат алюминия (Al2(SO4)3).

Полученные результаты представлены в таблице 1.

В таблице представлены максимальное значение электропроводности растворов электролитов в интервале исследованных концентраций, подвижность их катионов и анионов, а также тангенс угла наклона кривой графика к оси абсцисс.

Таблица 1. Результаты электрофизических исследований

	Максимальное значение электропроводности, мСм/м	Тангенс угла наклона (tgα)	Подвижность катион/анион См·м/моль
KNO3	1,25	0,13	76/79
KCl	1,27	0,11	76/74
K2CO3	1,2	0,12	76/70
K3[Fe(CN)6]	2,9	0,25	76/-
K4[Fe(CN)6]	2,7	0,24	76/-
Na2SO4	2,1	0,1	39/83
Na2CO3	2,4	0,13	39/70
Mg2SO4	1,5	0,06	55/83
Al2(SO4)3	1,55	0,08	-/83

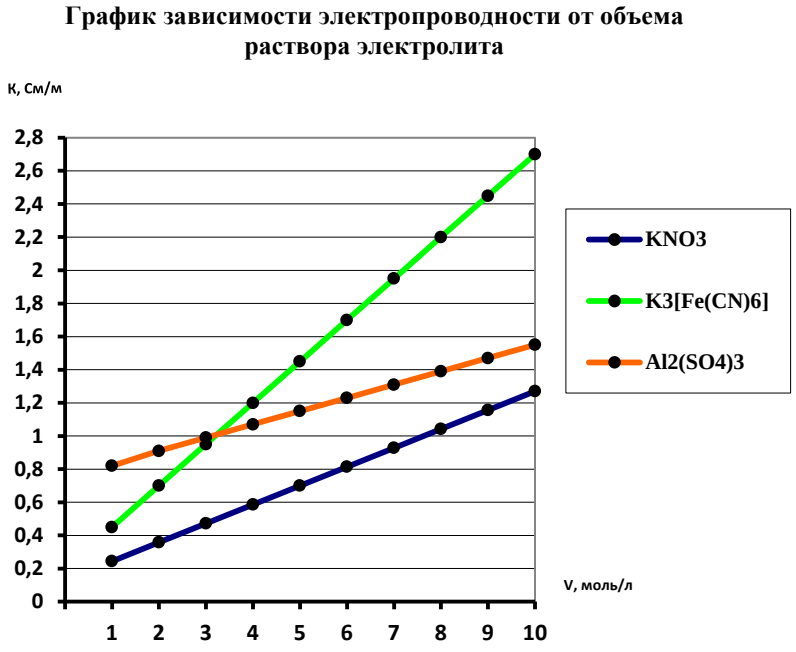


Рис. 1. Зависимость электропроводности от содержания электролита в исследованной области концентраций

Электрическая проводимость определяется концентрацией ионов, их зарядом и подвижностью. Поскольку подвижность ионов (за исключением H^+и OH^-) примерно одинакова, электропроводность определяется зарядом ионов и их концентрацией, причем для не очень концентрированных (до 0,1 М) растворов сильных электролитов зависимость практически линейная (рис. 1). Тангенс острого угла (α) наклона кривой графика к оси абсцисс определяется из треугольника отношением противолежащего катета к прилежащему в масштабе осей графика.

С увеличением концентрации раствора удельная электропроводность сначала растет за счет увеличения числа ионов, достигая максимального значения, однако потом, в области концентрированных растворов, одновременно при дальнейшем увеличении концентрации сильных электролитов возрастает взаимодействие между ионами и силы электростатического притяжения между ними, интенсифицируется процесс образования ионных атмосфер и ассоциатов (ионных двойников, тройников и т.д.), что приводит к снижению скорости движения ионов и уменьшению величины удельной электропроводности раствора.

Таким образом, электропроводность растворов определяется концентрацией ионов, их зарядом и подвижностью. Согласно табличным данным, подвижность ионов различается незначительно, следовательно, электропроводность, в первую очередь, определяется зарядом (чем больше заряд иона, тем большее количество электричества он переносит) и концентрацией ионов. Тангенс угола наклона линии графика к оси абсцисс (α) позволяет оценить силу электролита, а линейная зависимость электропроводности от концентрации электролита показывает возможность определять на практике степень загрязненности воды посторонними электролитами графически по значению электропроводности.

Выводы:

1. Освоили методику измерения электропроводности растворов электролитов.
2. Установили, что в исследованной области концентраций зависимость электропроводности растворов исследованных электролитов линейна.
3. Установлена корреляция между природой иона, его концентрацией и подвижностью и их влиянием на электропроводность раствора.
4. Показана возможность практического определения степени загрязненности воды посторонними электролитами с использованием метода градуировочного графика.

Библиографический список

1. Электропроводность растворов электролитов. URL: https://studfiles.net/preview/5364610/
2. Электропроводность.
URL-https://studopedia.ru/19_369921_elektroprovodnost-rastvorov- elektrolitov.html/
3. Показатели чистоты воды. URL: http://xn--80a2agee.xn--p1ai/news/2013-10-04/pokazateli-kachestva-vody/
4. Электропроводность применение. URL: https://www.chem21.info/info/902812/

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Калушина Е. Д.[1], Рогачев Е. А.[2], Варфоломеев В. Ю.[2]

[1] *БОУ г. Омска «Гимназия № 84», Россия, г. Омск, пр-т Культуры, д. 15*
[2] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр-т Мира, д. 11*

Омский НПЗ является одним из крупнейших предприятий нефтепереработки России. В силу большой площади территории завода, одной из актуальных проблем Омского НПЗ является ее освещение. Несмотря на широкое использование в последнее время энергосберегающих ламп, совокупный объем денежных средств, выделяемых для работы осветительных приборов значительный.

Решение данной задачи возможно путем применения возобновляемых источников энергии, например, на основе солнечных панелей. Современное развитие техники и технологий позволило значительно повысить их энергоэффективность. Кроме того, автономность такого рода источников электрической энергии делает их привлекательными для освещения территорий предприятий, удаленных территориально от цивилизации.

Целью данной работы являлось исследование перспективности применения солнечных панелей в качестве источников автономного освещения территории и электропитания оборудования.

Задачи исследования были следующие: изучение состояния вопроса применения солнечных панелей в качестве автономных источников электрической энергии; изучить физические законы, лежащие в основе работы солнечных панелей; выявить критерии оценки эффективности материалов, применяемых при изготовлении солнечных панелей; освоить методики определения характеристик материалов, материалов, применяемых при изготовлении солнечных панелей; провести лабораторные исследования по определению тока насыщения и работы выхода вещества; проанализировать перспективность применения солнечных панелей в качестве альтернативного источника энергии.

Современный рынок предлагает большое разнообразие материалов, применяемых для изготовления солнечных панелей. Так, например, монокристаллические солнечные панели состоят из отдельных кристаллов. Каждый кристалл специально выращивается по методу Чохральского. Это трудозатратный способ, но готовая солнечная панель имеет относительно высокий КПД (20–22%). Поликристаллические солнечные панели создаются из полупроводниковых поликристаллических структур. Это проще, чем выращивание кристаллов, также у поликристаллических солнечных панелей снижение мощности с увеличением эксплуатационного периода меньше. КПД (18%). Аморфные солнечные панели можно отнести как к кристаллическим, так и к плёночным. Для их создания на подложку батареи наносится кремневодород. На данный момент они представлены в трёх поколениях. КПД (5–12%).

Солнечные панели на основе теллурия кадмия работают благодаря способности кадмия к высокой световой поглощаемости. КПД (10%) ниже, чем у подобных, также к недостаткам использования относится ядовитость кадмия. Солнечные панели на основе селенида меди-индия аналогичны панелям на основе теллурида кадмия, но в них используется селен, медь и индий. КПД (20%). Полимерные солнечные панели. Плёнку для их изготовления делают из полифенилена, фуреллленов и фталоцианина меди. Её толщина составляет около 100 мм. Главный недостаток – низкий КПД (5%).

В основе работы солнечных панелей лежит явление внутреннего фотоэффекта – высвобождении свободных электронов, которые и являются носителями электрического тока, под действием света. Явление внутреннего фотоэффекта описывается с помощью уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = \mathrm{A}_{\text{вых}} + \frac{mV^2}{2}$$

где $h\upsilon = E_ф$ – энергия падающего фотона, $A_{вых}$ – работа выхода электронов из вещества, $\frac{mV^2}{2}$ – кинетическая энергия высвободившихся электронов.

Эффективность солнечных панелей определяется следующими факторами:

- величиной тока насыщения – максимальным числом высвобождаемых электронов в веществе;
- работой выхода электронов – минимальной энергией, требующейся для высвобождения электронов в веществе – зависит от используемого материала. Чем ниже будет данный параметр, тем легче будут высвобождаться электроны, что означает менее жесткие требования к освещению солнечных панелей.

Для исследования фотоэффекта, использовалась следующая установка (рис. 1).

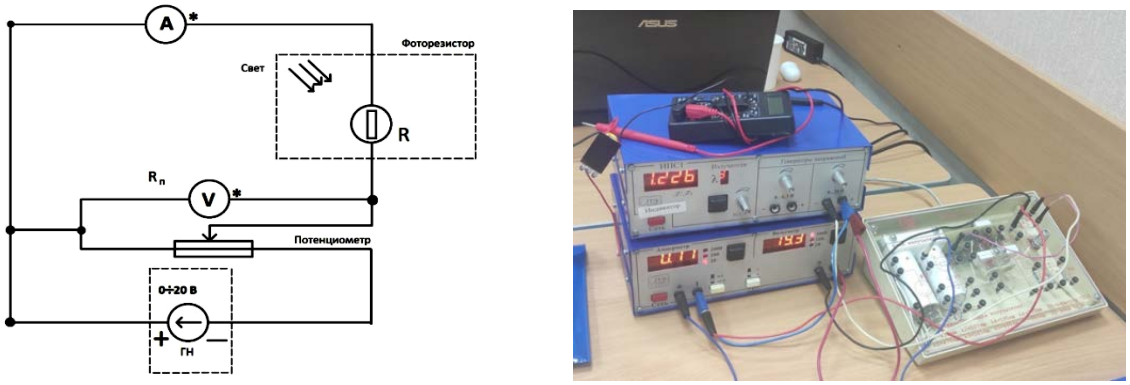


Рис. 1. Схема и внешний вид лабораторной установки для исследования фотоэффекта

Для определения перспективности использования материала для изготовления солнечных панелей, необходима информация о его работе выхода. Метод определения данного параметра может быть основан на определении задерживающего потенциала.

Этот метод состоит в следующем: внутри фотоэлемента (ФЭ) вблизи фотокатода располагается второй электрод (анод), на который подается задерживающий (U<0), или ускоряющий (U>0) потенциал. Свет от источника света, снабженного различными световыми фильтрами, попадает на фотокатод. При фотоэффекте, вырванные электроны замыкают электрическую цепь, и в ней возникает фототок. Значение фототока $I_ф$ измеряется амперметром, разность потенциалов U между анодом и катодом ФЭ изменяется, с помощью потенциометра и измеряется вольтметром. При достаточно больших ускоряющих напряжениях фототок достигает насыщения: все испущенные в единицу времени с поверхности фотокатода электроны попадают на анод. При задерживающих потенциалах только электроны, обладающие достаточно большой кинетической энергией, способны преодолеть расстояние между катодом и анодом, в то время как медленно движущиеся электроны заворачиваются полом и возвращаются на катод.

При некотором значении $U = -|U_з|$ (задерживающий потенциал) даже наиболее быстрые фотоэлектроны не могут достичь анода. Максимальная кинетическая энергия $E_{мах}$ электронов связана с задерживающим потенциалом $U_з$, соотношением $E_{мах} = eU_з$, где *e* — заряд электрона. Преобразованное с этим учетом уравнение Эйнштейна принимает вид $eU_з = h\nu - A$.

Сняв вольт-амперную характеристику, можно определить задерживающий потенциал $U_з$. В ходе работы над данным проектом была проделана работа по описанной методике. В результате получена зависимость, представленная на рис. 2.

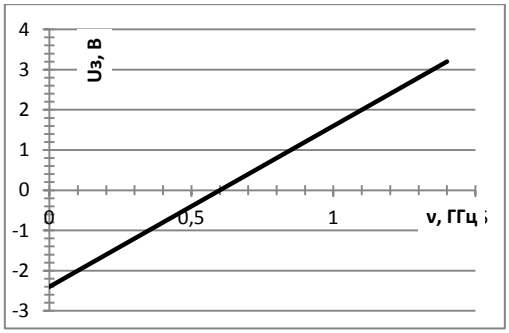


Рис. 2. Зависимость задерживающего напряжения от частоты падающего света

Для исследуемого материала величина работы выхода получилась равная Авых = 2.5 эВ, что соответствует материалу Литий. Данный результат является примером работоспособности методики изучения перспективности материалов, из которых предполагается изготовление солнечных панелей.

Далее были изучены эксплуатационные характеристики малой солнечной поликристаллической панели (рис. 3).

Рис. 3. Внешний вид малой солнечной панели

Была установлена зависимость выходного напряжения от *вида* источника излучения и уровня освещенности, так как эта характеристика определяет область применения солнечных панелей – какие именно приборы смогут питаться электроэнергией панелей при исследуемых условиях.

Результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость выходного напряжения малой солнечной панели от источника излучения и уровня освещённости

Источник освещения	Освещённость (Люксы)	U, В
Лампа дневного света	666	5,8
Лампа накаливания	2500	6,4
Пасмурный день	2000	6,3
Солнечный день 10 ч. утра	65000	7,15
Солнечный день 12 ч. дня	100000	7,35

Как следует из таблицы, наибольшая эффективность солнечной панели наблюдается при освещении солнечным светом, однако небольшая величина работы выхода материала солнечной панели позволяет использовать ее даже в условиях искусственного освещения. Это позволяет, например, не вносить конструктивные изменения в приборы, питающиеся от солнечных панелей, и одинаково эффективно их эксплуатировать как днем в условиях естественного освещения, так и ночью, когда включаются осветительные приборы.

Таким образом, в ходе проделанной работы были рассмотрены основные типы солнечных панелей; изучено явление фотоэффекта, лежащего в основе работы солнечных панелей; установлено, что одним из критериев отбора материалов для изготовления солнечных панелей является величина работы выхода, а эксплуатационные характеристики панелей зависят от величины тока насыщения; изучены методы определения тока насыщения и работы выхода вещества; установлены эксплуатационные характеристики малой солнечной панели. Показана перспективность применения солнечных панелей в качестве автономных источников электрической энергии.

Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс физики: учеб. для студентов высш. технических учеб. зав. / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1989. – Т. 3. – 342 с.

2. Квантовая оптика. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Физика» / В.К. Волкова, С.В. Данилов, О.В. Лях, Н.Г. Эйсмонт. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – 32 с.

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАНТНЫХ ПЕЧЕЙ

Касимова А. Б.[1], Рогачев Е. А.[2],Бурнашев А. Д.[2]

[1] *БОУ г. Омска «лицей № 66», Россия, г. Омск, ул. Красный путь, 22а*
[2] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр-т Мира, д. 11*

Радиантные печи являются основными аппаратами технологических установок, и они являются более энергоэффективными, чем традиционные конвективные. Но, несмотря на это, стальные трубы этих печей без покрытия имеют низкий КПД. Поэтому актуальной является задача повышения энергоэффективность радиантных печей.

Цель работы: изучить способы повышения энергоэффективности радиантных печей.

Задачи исследования:

1. Рассмотреть принцип работы радиантных печей;
2. Разработать метод определения коэффициента поглощения тепловой энергии;
3. Определить коэффициент поглощения различных покрытий;
4. Сравнить коэффициенты поглощения различных покрытий и выявить наиболее энергоэффективное покрытие для радиантных печей.

Нагревательные печи предназначены для нагревания и частичного либо полного испарения сырья. К ним относятся печи установок перегонки нефти и мазута, стабилизации нефти, каталитического крекинга, риформинга, коксования, каталитического дегидрирования и полимеризации (при выносных реакционных камерах) и другие.

Нагревательно-реакционные печи предназначены для нагрева сырья и сообщения ему тепла, необходимого для проведения эндотермических реакций. К ним относятся печи установок термического крекинга, пиролиза, трубчатые реакторы дегидрирования [2].

По способу сжигания топлива трубчатые печи подразделяются на три основных типа:

– с факельным сжиганием топлива;

– с излучающими стенами топки;

– с настильным пламенем.

По способу передачи теплоты от продуктов сгорания топлива к потоку перерабатываемого сырья трубчатые печи разделяют на конвективные, радиантно-конвективные и радиантные.

В конвективных печах до 80 % общего количества теплоты передается за счет конвекции, а остальное количество теплоты передается радиацией. В печах такого типа обеспечиваются более мягкие условия теплообмена (меньшая разность температур между стенкой трубы и перерабатываемым продуктом). В печах радиантно-конвективного типа (рис. 1) 40…60 % количества теплоты передается радиацией, а остальное – конвекцией. В радиантных печах основное количество теплоты передается радиацией. Камера конвекции здесь имеет вспомогательное значение.

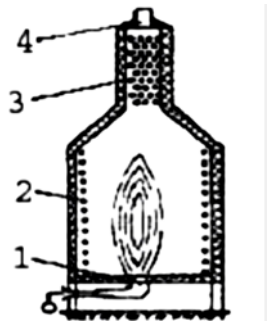


Рис. 1. Схема радиантной печи:
1 – газовая горелка; 2 – радиантные трубы;
3 – конвективные трубы; 4 – выход газов из печи

Главной характеристикой радиантов является способность поглощать излучение. Данная способность зависит от коэффициента отражения покрытий.

Коэффициент отражения – это степень способности материала отражать излучение. Зависит от свойств поверхности, температуры и типа материала. Как правило, гладкие, полированные поверхности имеют большую отражательную способность, чем шероховатые, матовые поверхности, изготовленные из одного и того же материала.

Как правило, для изготовления труб для радиантных печей нужно использовать материалы с матовой поверхностью, чтобы как можно больше поглощать полученное тепло. Также материал должен обладать наибольшей теплопроводностью.

Чтобы определить коэффициент поглощения тепловой энергии различных покрытий использовалось следующее оборудование (рис. 2):

- Настольная лампа накаливания;
- Лабораторная установка по определению относительной интенсивности излучения (МУК-ОВ волновая оптика).

Рис. 2. Внешний вид используемой установки

Выбор настольной электрической лампы накаливания как источник теплового излучения связано с тем, что среди всех доступных электрических осветительных приборов лампы накаливания нагреваются сильнее. Большая часть тока преобразуется в тепловую энергию, поэтому прибор больше похож на обогреватель, чем на источник света. Световая отдача находится в диапазоне от 5 до 15%.

У нас в распоряжении было несколько предметов из разного материала: зеркальце, стальной шпатель, стальной шпатель с копотью и керамическая пластина.

Таким образом, мы подносили предметы под световой луч так, чтобы отраженный луч поступал в датчик лабораторной установки, который измерял относительную интенсивность излучения. Далее мы вывели формулы для определения коэффициента отражения (р) и коэффициента поглощения (α):

р = (относительная интенсивность излучения · 100%)/2

α = 100%-р

На основе данного метода мы составили таблицу:

Материалы	Относительная интенсивность отраженного излучения	Коэффициент отражения (р)	Коэффициент поглощения (α)
Зеркало (эталон)	2	100%	0%
Сталь	1,2	60%	40%
Сталь с копотью	0,01	0,5%	99,5%
Керамика	0,05	2,5%	97,5%

Исходя из данных таблицы, мы можем сделать вывод, что копоть на стали увеличивает энергоэффективность радиантных печей. Но тогда возникает вопрос: почему же тогда трубы всегда прочищают от копоти?

Дело в том, что поначалу копоть повышает коэффициент поглощения теплового (инфракрасного) излучения печи. Но со временем толщина копоти увеличивается, образуя кокс, и снижает эффективность радиантной печи, так как кокс обладает низкой теплопроводностью.

В настоящее время радианты в печах изготавливаются из конструкционной стали. В таких печах существует проблема коксования, в связи с этим появляется необходимость частого обслуживания печей с целью их очистки. Одно из решений этой проблемы было представлено в работе [3]. Согласовано исследованиям, было предложено использование технологии нанесения высокоизлучающих керамических (SiO_2) покрытий на футеровку и наружную поверхность труб змеевиков камеры радиации.

Высокая механическая прочность покрытия обеспечивает защиту от абразивного изнашивания труб и футеровки, предотвращает проникновение агрессивных газов вглубь футеровки и препятствует выкрашиванию несущей основы. Покрытие обладает высокой адгезией с поверхностью, его можно наносить как на новую так и на старую футеровку различных типов.

Одним из важных свойств керамических покрытий является продолжительная излучательная способность.

Именно благодаря этому достигается энергосберегающий эффект.

В ходе работы мы изучили принцип работы радиантной печи, предложили способ определения коэффициента поглощения различных покрытий, установили, что наибольшим коэффициентом поглощения обладает сталь со слоем копоти – на 2 месте находится керамика. Однако за счет эффекта коксования, характерного для стальной поверхности, лучшим способом повышения энергоэффективности радиантных печей является технология нанесения керамического покрытия на трубы. Таким образом, можно повысить КПД печи и снизить расход топлива на сжигание.

Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс физики: учеб. для студентов высш. технических учеб. зав. / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1989. – Т. 3. – 342 с.

2. Шарихин, В.В. Трубчатые печи: учеб. Пособие для студентов нефтегазового профиля, обучающихся по направлению подгот. Дипломир. Специалиста 657300 «Оборудование и агрегаты нефтегазового пр-ва» / В. В. Шарихин, А. А. Коновалов, А. А. Скороход // Сам. гос. техн. ун-т. – Самара: Офорт, 2005. – 445 с.

3. Гизатуллин, И.Ф. Повышение энергоэффективности работы трубчатых печей с применением высокоизлучающих керамических покрытий / И.Ф. Гизатуллин // Химическая техника. – 2014. – № 11.

ОПТИЧЕСКИЙ ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ ТОЛЩИНЫ ПЛЕНКИ НЕФТЕПРОДУКТА

Комарова А. В.[1], Архипова И. А.[2], Холоденко В. А.[3], Шубенкова Е. Г.[2]

[1] *БОУ «Лицей №66», Россия, г. Омск, ул. Красный путь, 22а*
[2] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11*
[3] *Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск, пр. Мира, 5*

Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов – не редкость при транспортировке сырья или готового продукта. Любая такая авария наносит значительный урон экологической ситуации в районе разлива, кроме того, может пострадать и население. Также образованное в ходе аварии нефтяное пятно большого размера может привести к самовозгоранию. Несмотря на то, что власти предпринимают все необходимые меры, которые предотвращают транспортные аварийные ситуации, но проблема все равно остается актуальной и открыта для решения. Поэтому ученные пытаются в кратчайшие сроки локализировать и устранить разливы нефти, разрабатывают различные новые методы, которые могут позволить уменьшить потерю сырья и снизить экологический вред. Сама процедура локализации аварийного разлива нефти предполагает комплексное решение с использованием различных технических средств и методических подходов. Но в первую очередь принимаются меры по предотвращению распространения нефтяных пятен.

Неизбежное загрязнение используемой воды углеводородами происходит также во время хранения и переработки нефти и нефтепродуктов, промежуточных и побочных продуктов, а также утилизации отработанных смазочных материалов. Химический состав смазочных материалов является главным фактором и характеризует потенциальную возможность воздействия на окружающую среду и человека.

Основными источниками загрязнения воды нефтепродуктами являются неплотности в различных соединениях технологических цепочек, технологические конденсаты, атмосферные осадки, контактирующие с проливами на технологических площадках. Самый эффективный вред чистоте водоемов приносят нефть и нефтепродукты, попадающие в воду при авариях на буровых вышках или авариях супертанкеров, перевозящих нефть, при переливании нефти из одной емкости в другую, при очистке цистерн от мазута

военными и торговыми судами. Для очистки поверхности водоемов от нефтепродуктов необходимо в первую очередь своевременное обнаружение их загрязненных участков. С этой целью перспективно использовать оперативные дистанционные методы индикации пленок нефтепродуктов в природных водах, основанные на контрасте электромагнитных свойств пленки нефти и чистой воды.

Целью работы является исследование возможности определения толщины пленки нефтепродукта на поверхности воды оптическим методом.

Поставленные задачи:

1. Изучить литературу по данному вопросу, подобрать известные методики оптического определения толщины пленки масла;

2. Определить толщину пленок масел Масло МС-20, Масло МС-8П, Масло Total Quartz 9000 в зависимости от добавленного в измерительную ячейку объема масла;

3. Установить зависимость интенсивности прошедшего света от толщины пленки масла;

4. Проанализировать результаты и сделать соответствующие выводы.

В основе таких методов лежат оптические измерения поглощения и отражения света, прошедшего через образец. Оптические методы анализа основаны на измерении характеристик оптических свойств вещества (испускание, поглощение, рассеивание, отражение, преломление, дифракция, интерференция, поляризация света), проявляющихся при его взаимодействии с электромагнитным излучением. Наибольшую точность обеспечивает многолучевая интерферометрия, при этом в зависимости от используемого метода можно получить точность в пределах 1 или 2 нм.

Принцип оптического измерения состоит в том, что исследуемый образец просвечивают пучком параллельных лучей, которые, наталкиваясь на струи жидкости с различными коэффициентами преломления и различной поглощающей способностью, меняют свою интенсивность. Наиболее точные измерения толщины пленки производятся на самих пленках. Поглощение света, уменьшение интенсивности излучения (света), проходящего через материальную среду, объясняется его взаимодействием со средой.

Для проведения измерений в кювету с известными размерами помещали различный объем смазочного масла и измеряли интенсивность света отраженного от поверхности. По известным размерам кюветы и объема добавленного масла рассчитывали толщину пленки масла. Далее, используя источник излучения определяли интенсивность отраженного от поверхности света.

Основные результаты исследований приведенные в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Зависимость интенсивности света от толщины пленки масел

Объем, V (мл)	Толщина пленки, d	Название масла		
		Интенсивность (масло МС-20)	Интенсивность (масло МС-8П)	Интенсивность (масло Total Quartz)
0,5	0,0009	0,03	0,034	0,026
1,0	0,0018	0,026	0,017	0,018
2,0	0,0037	0,013	0,014	0,015
3,0	0,0055		0,09	0,011
3,5	0,0065	0,007	0,05	0,0097

Таблица 2. Зависимость интенсивности света от толщины пленки масла «Total Quartz 9000 5W40», оцененной с помощью мобильного приложения

Объем, мл	Толщина пленки масла, м	Интенсивность (I), lux
0.5	0,0009	3300
1.0	0,0018	2700
2.0	0,0037	760

В таблице 1 представлены данные, полученные на установке по измерению отражения образцов, толщину пленки масла на поверхности жидкости задавали с помощью помещения известного объема масла в кювету с точно известными размерами. Построенная зависимость интенсивности отраженного света от толщины пленки масла «Total Quartz 9000 5W40» приведены на рисунке 1. Для всех исследованных типов масел зависимости имеют аналогичный линейный вид, что позволяет их использовать в качестве градуировочных кривых определения толщины пленки нефтепродукта на поверхности воды. Оценку толщины пленки масла на поверхности воды также проводили с помощью мобильного приложения, значения интенсивности измеряли в Lux, результаты приведены в таблице 2 и на рисунке 2.

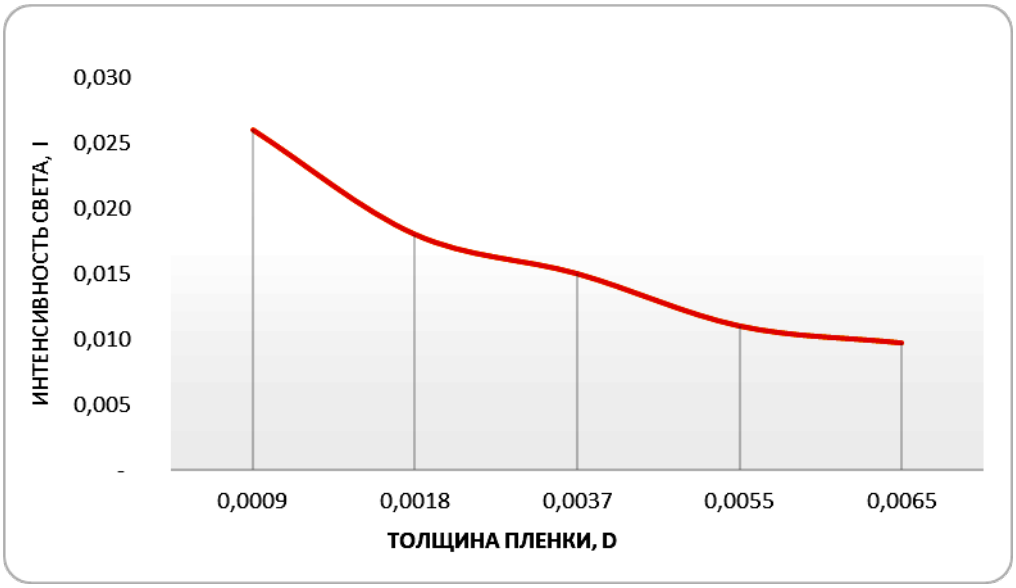


Рис. 1. График зависимости интенсивности отраженного света от толщины пленки масла «Total Quartz 9000 5W40»

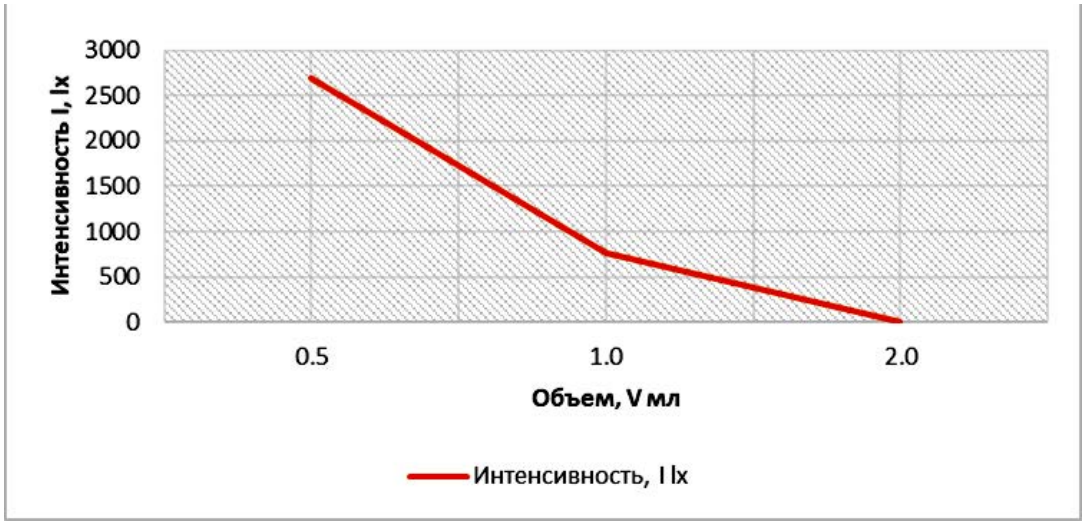


Рис. 1. График зависимости интенсивности отраженного света (полученной с помощью мобильного приложения) от толщины пленки масла Total Quartz

Выводы:

1. Ознакомились с известными методиками определения толщины пленок и предложили две методики оценки толщины пленки масла на поверхности жидкости путем измерения отраженного света.
2. Установили зависимости интенсивности отраженного света от толщины пленки масел «Total Quartz 9000 5W40», МС-20, МС-8П.
3. Показали, что для всех исследованных типов масел зависимости имеют аналогичный линейный вид, что позволяет их использовать в качестве градуировочных кривых определения толщины пленки нефтепродукта на поверхности воды.
4. Предложили экспресс-метод оценки толщины пленки масел с использованием мобильного приложения.

Библиографический список

1. Зубкова С.Ю., Романов Р.А. Современные методы анализа масел и смазочных материалов / С.Ю. Зубкова, Р.А. Романов // Химическая техника. – 2018. – № 9.
2. Оптические методы интерференция. https://chem21.info/info/128745/
3. Загрязнение воды нефтепродуктами. https://chem21.info/info/1487153/

ЗАВИСИМОСТЬ КОЛИЧЕСТВА СГОРЕВШЕГО САХАРА ОТ РАЗЛИЧНЫХ ПО СОСТАВУ СМЕСЕЙ СОЛЕЙ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРОВ

Корикова Л. С.[1], Яринская Л. Г.[1]

[1] *БОУ «Лицей № 66», Россия, г. Омск, ул. Красный путь, 22а*

Пробовали ли вы когда-нибудь поджечь сахар? Если нет, попробуйте. Нужно зажать кусочек сахара пинцетом и внести его в пламя свечи. Сахар не загорится. А если долго пробудет в пламени, то появится знакомый запах карамели и коричневая окраска. Так значит, сахар не горит? Вовсе нет. Сахар горит, и мой опыт поможет вам в этом убедиться.

Цель работы: определение количества сгоревшего сахара в зависимости от состава смеси солей щелочных и щелочноземельных металлов.

Задачи:

- Ознакомиться с понятием «Гетерогенный катализ»
- Приобрести навыки осуществления каталитических процессов в школьной лаборатории
- Развить навыки осуществления практического эксперимента
- Сделать соответствующие выводы

Реактивы и оборудование:

Для работы понадобилось минимальное количество реактивов и оборудования. Я использовала такие соли, как сульфат лития и сульфат бария (в различных соотношениях) и кусковой сахар. Из оборудования мне понадобились весы, чашки Петри (для изготовления смесей двух солей), чашки для выпаривания, пинцет, свеча, секундомер и спички.

Ход работы:

1.Подготавливаем 4 вида смесей $BaSO_4$ и Li_2SO_4 массой 10 г в различных соотношениях: 2/8, 4/6, 6/4 и 8/2, а также подготавливаем эти соли в чистом виде.

2. С помощью электронных весов взвешиваем каждую чашку для выпаривания и каждый кусочек рафинада.

3. Натираем кусочек сахара смесью, состоящей из частей $BaSO_4$ и Li_2SO_4 , вносим его в пламя свечи и ждём, пока рафинад загорится.

4. В течение одной минуты даём сахару гореть, затем тушим его в чашке для выпаривания.

5. Затем чашку вместе со сгоревшим сахаром взвешиваем на электронных весах.

6. Опыт с каждой смесью и солями в чистом виде проводим трижды.

7. После практической части проводим расчет. Высчитываем массу сгоревшего сахара.

8. Результаты заносим в таблицу.

По полученным данным мы видим, что наибольшая масса сахара сгорела с помощью катализатора сульфата лития.

Выводы:

1) Ознакомились с понятием «Гетерогенный катализ».

2) В ходе эксперимента определено количество сгоревшего сахара в зависимости от состава смеси солей щелочных и щелочноземельных металлов.

3) Установлено, что наибольшая масса сахара сгорает с помощью катализатора сульфата лития в чистом виде.

4) Приобрела навыки осуществления каталитических процессов в условиях школьной лаборатории.

5) Развила навыки осуществления практического эксперимента.

Библиографический список

1. Киреев В.А. Краткий курс физической химии, 1978. – 624 с.
2. Химическая литература. Библеографический справочник (1920–1951 гг.). – Издательство: Государственное Научно-Техническое Издательство Химической Литературы. – 1953. – 564 с.
3. О.В. Крылов. Гетерогенный катализ. – М.: Академкнига, 2004. – 680 с.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕЗАВОДА

Малий В. Ю.[1], Рогачев Е. А.[2], Зайнуллина Л. В.[2]

[1] *БОУ г. Омска «школа № 109», Россия, г. Омск, ул. 4-я Поселковая, 40*
[2] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр-т Мира, д. 11*

Освещение территории нефтезавода является актуальной задачей, так как это обеспечивает безопасность технологических процессов. Не смотря на то, что современные энергосберегающие лампы позволяют значительно снизить затраты на освещение, совокупный объем денежных средств, выделяемый для этих целей, существенный. Применение таких альтернативных источников энергии, как солнечные панели, имеет ряд недостатков. Так, например, их эффективность значительно снижается при плохих погодных условиях, таких как снег или дождь, а в холодное время года уменьшается время работы аккумуляторов, которые в светлое время суток накапливают электроэнергию.

В данной работе предлагается использование термоэлектричества, вырабатываемого элементами Пельтье за счет поддержания разницы температуры ΔT его сторон. Особенностью данных элементов является то, что для их работы не требуется высокая ΔT – буквально 5–6 ^{0}C, которых достаточно для того, чтобы обеспечить питание ими светодиодов. Необходимую разность температуры можно достичь, используя тепло рук и пассивный радиатор. В производственных циклах нефтеперерабатывающего заводам, а также для обогрева помещений, осуществляется обогрев сырья (либо воды). Подогретое вещество транспортируется по трубопроводам, пронизывающим почти весь завод ОНПЗ. Тепло от этих труб, либо от факелов, сжигающих балластный газ, возможно использовать в качестве источников тепла для источников термоэлектричества, которое можно применять для освещения территории нефтезавода.

Целью данной работы является исследование возможности применения термоэлектрического преобразователя на основе элемента Пельтье в качестве автономного источника электрической энергии.

Задачи: рассмотреть автономные источники электроэнергии, ознакомиться с элементом Пельтье и рассмотреть его принцип действия, исследовать его физические характеристики, установить экономические достоинства и недостатки применения элементов Пельтье, собрать опытную осветительную установку, работающую от тепла рук.

Работа элементов Пельтье, основано на эффекте Зеебека – явления возникновения ЭДС на концах последовательно соединённых разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различных температурах. Элемент Пельтье – это термоэлектрический преобразователь, принцип действия которого базируется на эффекте Пельтье – возникновении разности температур при протекании электрического тока. На сегодняшний день элемент Пельтье используется в таких приборах как мобильная холодильная установка, система охлаждения персональных компьютеров, осушитель воздуха и многих других.

В ходе работы над данным проектом экспериментально была получена зависимость тока и напряжения от температуры сторон элемента (рис. 1).

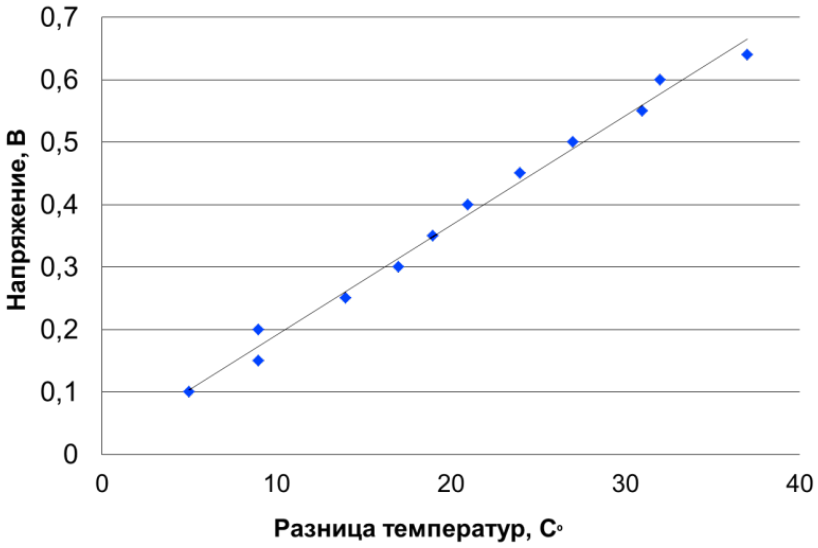


Рис. 1. Зависимость напряжения на выходах элемента Пельтье от разности температур

В ходе эксперимента установлено, что с увеличением разности температур сторон элемента Пельтье, вырабатываемое им напряжение растет линейно. Данная зависимость позволяет подобрать оптимальный режим работы элемента, а так же показывает возможность применения этого элемента в качестве термодатчика.

Из полученной зависимости следует, что для работы осветительных приборов требуется значительное значение разницы температур сторон элемента Пельтье, так как для работы светодиода белого цвета необходимо напряжение не ниже 2,6 В. Чтобы обеспечить такое напряжение можно использовать готовое решение в виде повышающего преобразователя. Стоимость такого изделия составляет около 20 рублей. Оно обеспечивает повышение напряжения с 0,3 В и выше до 5 В. Данные преобразователи применяются в блоках питания для зарядки сотовых телефонов.

Соединив последовательно 4 элемента Пельтье, а их выходы направив на преобразователь, получилось изделие, представленное на рис. 2

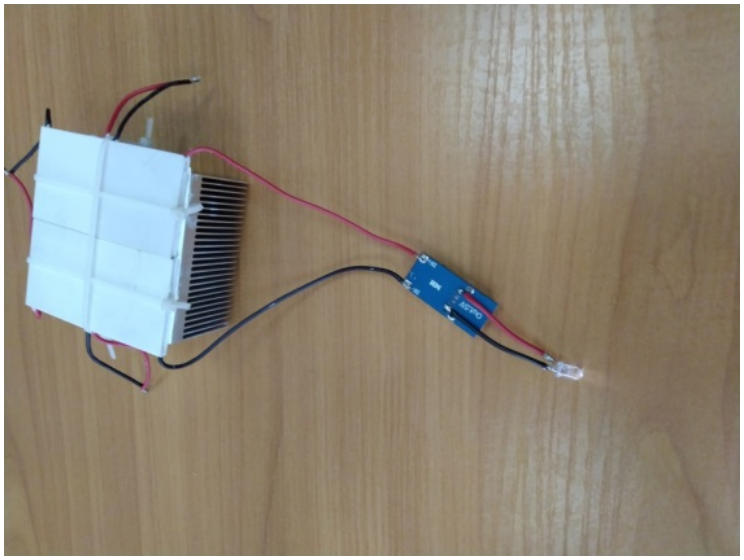


Рис. 2. "Вечный фонарик" на элементах Пельтье

Полученное изделие обеспечивает работу светодиода в течение всего времени, пока элементы Пельтье контактируют с рукой. Таким образом, показано, что предлагаемый подход к освещению территории является полностью работоспособным, а собранное изделие можно применять в качестве портативного фонарика, работа которого обеспечивается теплом рук.

Для того, чтобы подчеркнуть положительную сторону использования осветительных установок на основе элементов Пельтье, была проведена приблизительная экономическая оценка эффективности их использования. Показано, что ввод в эксплуатацию одного источника освещения обойдется в сумму не более 400 рублей. Она включает в себя такие пункты как:

Элемент Пельтье – 750р – 6шт. (по 125р за шт.), алюминиевый радиатор – 600р – 6 шт. (по 100р за шт.), светодиоды – 50р – 10 шт. (по 5р за шт.), преобразователь напряжения – 12 руб – 1 шт. Итого: 1412 рублей.

Общие затраты значительно меньше стоимости автономной лампы освещения на основе солнечной батареи. А с учетом отсутствия в дальнейшем затрат на их эксплуатацию, получается, что данная установка окупится примерно через год (так как затраты на эксплуатацию одной маломощной лампы накаливания в электросети общего пользования составляют около 1400 рублей в год), а в дальнейшем будет приносить только прибыль.

Подводя итого проделанной работы, следует сделать следующие выводы:

- Сделан обзор автономных источников электроэнергии;
- Изучены физические принципы, лежащие в основе работы элементов Пельтье;
- Проведены эксперименты по исследованию зависимости термоЭДС от температуры сторон элемента. Показана возможность применения элемента Пельтье в том числе, в качестве термодатчиков;
- Изготовлен фонарик, работающий от тепла рук;
- Показано, что использование осветительной установки на элементах Пельтье позволит сделать эффективным освещение территории ОНПЗ в любое время года с минимальным сроком ее окупаемости.

Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс физики: учеб. для студентов высш. технических учеб. зав. / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1989. – Т. 2. – 352 с.

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ ПЯТНОВЫВОДИТЕЛЕЙ УДАЛЯТЬ ПЯТНА С ТКАНИ

Манжалей В. Д.[1], Фризен Ю. Б.[1]

[1] *БОУ г. Омска «Лицей № 25», Россия, г. Омск, ул. Олимпийская, 7*

Каждый из нас время от времени сталкивается с проблемой появления пятен. В современном мире многие мамы тратят много времени и здоровья, отстирывая трудно удаляемые пятна. Пятновыводители, химические препараты, предназначенные для удаления небольших по размерам пятен с изделий из хлопка, шерстяных, шелковых, искусственных, синтетических и смешанных волокон; могут использоваться для удаления пятен с твердых поверхностей (пластмассы, керамика и др.).

По назначению различают пятновыводители для удаления: пятен от жиров, масел, масляных красок, смол, кремов и т.п.; цветных пятен орг. происхождения (от вина, соков, крови, ягод, фруктов, чернил и т.д.); пятен ржавчины.

В составы пятновыводителей входят: растворители (бензин, уайт-спирит, ксилол, толуол, трихлорэтилен и др.); ПАВ (например, сульфа-нол); окислители и восстановители (пергидроль, сульфат и гидросульфат Na); компоненты (муравьиная, щавелевая, салициловая и др.); соли (напр., KF, $NaSiF_6$, триполифосфат Na); тонкодисперсные адсорбенты и наполнители (аэросил, полимеры и др.) [2].

Пятновыводители должны не только полностью удалять пятна с тканей, но и не оставлять на них разводы (видимой границы между очищенным и неочищенным участками), не обесцвечивать ткани, не оставлять стойкого запаха.

Цель исследования: изучить способность пятновыводителей удалять пятна с ткани.

Задачи исследования:

- Изучить литературу по данной проблеме;
- Познакомиться с историей изобретения пятновыводителей;
- Изучить состав и функции пятновыводителей;
- Экспериментально выяснить, можно ли качественно отстирать пятна с одежды.

Объект исследования: способы выведения пятен.

Предмет исследования: пятновыводители.

Результаты практического исследования.

Эксперимент № 1

Цель: Изучить рынок пятновыводителей в г.Омске.

Ход эксперимента: В ближайших магазинах нашего округа («Магнит косметик», «Победа», «Блеск») сравнили ассортимент и цены. Выяснилось, что в «Магнит-косметик» ассортимент пятновыводителей больше и цены на них значительно ниже (Приложение 1).

Вывод: Рынок пятновыводителей в г.Омске богат ассортиментом и разнообразен ценами.

Эксперимент № 2

Цель: Выяснить, какой пятновыводитель полностью растворяется в воде, не отставляет осадка.

Материалы и оборудование: Ёмкости, пятновыводители («АнтиПятин»; «БОС», «Amway»), мерную ложку.

Ход эксперимента: Наденем средства защиты. Нальём в ёмкости горячую воду. Затем добавим одинаковое количество пятновыводителя и перемешаем. Видим, что в одном из средств действительно присутствует кислородный отбеливатель (Приложение 2). Видим в некоторых ёмкостях пятновыводитель растворился не полностью (Приложение 3).

Вывод: Многие пятновыводители как («АнтиПятин»; «БОС») растворяются не полностью и выпадает в осадок. А «Amway» растворился полностью.

Эксперимент № 3

Цель: Выяснить, какой пятновыводитель лучше растворяет красители.

Материалы и оборудование: Ёмкости с растворенными пятновыводителями, раствор бриллиантовой зелени, пипетка.

Ход эксперимента: Я добавила в эти же ёмкости одинаковое количество капель бриллиантовой зелени. Перемешала и заметила, что в некоторые растворы окрасились (Приложение 4).

Вывод: Пятновыводители («АнтиПятин»; «Amway») полностью растворили раствор бриллиантовой зелени, по сравнению с пятновыводителем «БОС».

Эксперимент № 4

Цель: Выяснить, какой пятновыводитель отстирывает качественно и без особых усилий.

Материалы и оборудование: Ёмкости, пятновыводители («АнтиПятин»; «БОС», «Amway», «Clean &White»;), мерная ложка, ткань (вафельное полотенце).

Ход эксперимента: Нальём горячей воды в ёмкости и добавим пятновыводителей. Затем положим ткани с трудно выводимыми пятнами и подождем некоторое время. Видим, что не у всех тканей отстирались пятна. Некоторая ткань окрасилась. (Приложение 5).

Вывод: Не все пятновыводители отстирывают трудноудаляемые пятна как («АнтиПятин»; «Clean &White»; «БОС»), некоторые из них окрасили ткань «АнтиПятин»). А пятновыводитель «Amway» лучше всех справился с работой.

В результате проведённых исследований можно сделать следующие *выводы:*

1) Из литературы мы узнали, что способы выведения пятен натуральными веществами существуют очень давно;

2) В состав современных пятновыводителей входят натуральные и химические компоненты;

3) Многие пятновыводители растворяются не полностью и выпадают в осадок.

4) Не все пятновыводители хорошо растворяют красители.

5) Не все пятновыводители отстирывают трудноудаляемые пятна, а некоторые портят одежду.

Библиографический список

1. https://www.bytovaya-himiya.ru/bytovaya-himiya/istoriya-bytovoj-himii-vozniknovenie-i-razvitie/
2. http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/3774.html

ТОМАТЫ «ВВЕРХ НОГАМИ»

Мануилова Е. Р.[1], Кушнарь Ю. И.[1]

[1] *БУ ДО «Омская областная станция юных натуралистов», Россия, г. Омск, ул. Дмитриева, 10*

Выращивание растений вверх ногами – звучит смешно и необычно. На самом деле сейчас это одно из модных и смелых направлений в овощеводстве и цветоводстве. Особенно в условиях, когда то экологические, то природные факторы не самые благоприятные.

На первый взгляд, способ выращивания томатов вверх корнями кажется абсурдным, чем и объясняется наш интерес к такому экзотическому методу выращивания. В литературе мы изучили преимущества метода «вверх корнями». Вот лишь некоторые из них:

- Экономия пространства.
- Использование верхних площадей теплиц.
- Используя эту технологию можно разграничить участок.
- Данный метод можно использовать на территориях подтопления.
- Высокая степень защиты от вредителей и от заболеваний
- Упрощенный сбор урожая. сразу видны все плоды.
- Нет нужды в окучивании;
- Отсутствие проблемы с сорняками.
- Прогрев корневой системы
- Возможность менять местоположение. Это очень актуально в местах с не очень благоприятными эко и метео параметрами.
- Использование балкона.
- И взрослые, и дети просто в восторге, а уход за растением воспринимается как забава.

Цель: Сравнительная оценка урожайности и вкусовых качеств томатов в зависимости от способов выращивания в условиях Сибири, а в частности города Омска.

После консультации с агрономами Областной Станции Юннатов для экстремальной посадки вверх корнями были выбраны томаты с тонкими стволами и некрупными плодами – «Забайкальское чудо» и «Черри».

Способ «Вверх корнями»:

Шаг 1. Подготавливаем ёмкость.

Шаг 2. Вставляем растение. Секреты выращивания помидоров «вверх ногами» заключаются в глубокой посадки. Стебель томата имеет свойство отращивать корешки- таким образом увеличивая площадь питания.

Шаг 3. Наполняем ведро грунтом

Шаг 4. Подвешиваем ведро. Мы нашли светлое, хорошо проветриваемое место.

Способ «Традиционный»:

Я лопаткой сделала лунки. Лунку залили водой и в неё поместили кустик томата. Ямку с растением засыпали. Сразу после посадки стебли томатов привязали к колышкам.

Наблюдения: томаты, посаженные вверх ногами, пытались расти вверх, что придает «У» образную форму их стволам:

- 4 июня, рассаду помидор пересадили в канистры , подвесили.
- Помидоры подросли, стебли изогнулись, тянутся вверх.

- Помидор разросся, цветёт, но макушка смотрит вверх.
- Ствол выгнулся под тяжестью плодов.
- Корни у томатов «вверх корнями» развились крепкими и равномерными.

Мы сравнивали интенсивность роста томатов при разных способах посадки. Для этого проводили измерения длины растений 1 раз в неделю (табл. 1, 2).

Таблица 1. Календарь роста томатов сорта «Забайкальское чудо»

Дата	**Мероприятие**	**Забайкальское чудо**					
		Воздух (размер)			**Земля (размер)**		
		1	2	3	1	2	3
04.06.2019	Посадка, полив	15	12	10	20	14	17
07.06.2019	Полив, рыхление (земля)	16	16	15	24	16	18
13.06.2019	Рыхление, подвязка, полив (Земля)	18	18	15	27	18	20
19.06.2019	Полив	26	22	20	30	20	24
26.06.2019	Пасынки, рыхление (Земля), полив	45	38	32	44	34	36
02.07.2019	Рыхление (Земля), обрыв пасынков – все	54	52	40	54	52	46
07.07.2019	Полив, рыхление (земля), подвязка, подкормка «Калий»	64	70	58	60	56	52
14.07.2019	Рыхление (Земля)	100	100	102	110	99	80
20.07.2019	Пасынков обрыв, рыхление (Земля), полив	111	113	120	120	108	86
27.07.2019	Полив	118	128	124	127	116	99
05.08.2019	Полив, рыхление (Земля)	119	130	125	131	120	102
20.08.2019	Сбор урожая	122	134	127	131	129	109
25.08.2019	Сбор урожая	122	135	129	134	129	111

Таблица 2. Календарь роста томатов сорта «Черри»

Дата	**Мероприятие**	**Черри**			
		Воздух (размер)		**Земля (размер)**	
		1	**2**	**1**	**2**
04.06.2019	Посадка, полив	15	14	15	13
07.06.2019	Полив, рыхление (земля)	16	14	16	14
13.06.2019	Рыхление, подвязка (Земля), подкормка «Калий»	18	17	18	16
19.06.2019	Полив	26	23	21	19
26.06.2019	Пасынки, рыхление (Земля), полив	27	27	27	26
02.07.2019	Рыхление (Земля), пасынки все	33	40	38	34
07.07.2019	Полив рыхление, подкормка «Калий»	40	52	51	50
14.07.2019	Рыхление (Земля)	70	100	89	87
20.07.2019	Пасынки, рыхление (Земля), полив	80	110	102	91
27.07.2019	Полив	110	120	118	109
05.08.2019	Полив, рыхление (Земля)	114	121	131	126
20.08.2019	Сбор урожая	119	139	173	142
25.08.2019	Сбор урожая	126	145	210	165

В результате выяснилось, что рост томатов в высоту проходил примерно одинаково- у томатов посаженных «вверх корнями» и традиционным способом. Но цветение, появление плодов и их созревание, у томатов «вверх ногами» произошло быстрее на 9 дней. Я предполагаю, что это объясняется получением большего количества солнечной энергии и тепла корневой системой, что и влияет на общее состояние куста

В проведенном исследовании урожайность томатов в земле выше, чем у томатов «вверх корнями» благодаря тому, что томаты в земле получают больше доступных питательных веществ и влаги, но и томаты «вверх корнями» дали хороший урожай. Ни один плод у томатов, выращенных в воздухе не был поврежден ни насекомыми, ни болезнью.

По принципу передачи «Контрольная закупка» проведено исследование вкусовых качеств. Десять дегустаторов предпочли томаты выращенные «вверх корнями» и в сорте «Забайкальское чудо», и в сорте «Черри». Предположительно все питательные вещества, сахар и витамины в большей степени

сконцентрировались в плодах томатов, выращенных «вверх корнями». По вкусовым качествам томаты «вверх корнями» самые сладкие и нежные.

Выводы:

1. Показано, что оба способа – и традиционный способ и способ «вверх корнями» подходят для выращивания томатов в Сибири.

2. Установили, что рост томатов «воздух» и «томатов «земля» проходил примерно одинаково. Цветение у томатов «вверх корнями» началось на 9 дней раньше. Плоды завязались раньше на 7 дней, а созревание произошло на 8 дней раньше.

3. Определили урожайность и качество плодов.

Библиографический список

1. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирования агроландшафтов / В.И. Кирюшин. – М.: КолосС, 2011.

2. Земледелие с основами почвоведения и агрохимии / Г.И. Баздырев, А.Ф. Сафонов. – М.: КолосС, 2009.

3. Технология производства продукции растениеводства / В. Федотов, А. Сафонов. – М.: КолосС, 2010.

4. Краткий справочник овощевода и садовода / В.Ф. Абрамов, В.В. Шмаль, С.В. Дубинин, В.В. Абрамов. – М.: Свод-информ, 2004.

5. Новейшая энциклопедия огородника и садовода / Кизима Г.А. – АСТ, 2014.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В НЕКОТОРЫХ РАСТВОРАХ

Нор Д. В.[1], Ерохина В. Е.[1]

[1] *БОУ СОШ № 49, Россия г. Омск, ул. Фугенфирова, 5А*

Электричество популярнее всех остальных источников энергии, поскольку обладает множеством преимуществ: легкое перемещение до потребителя; быстрый перевод в тепловой или механический вид энергии; возрастает применение электричества и в других областях, например, передвижение автомобилей без топлива (электромобили) [1].

Целью данного проекта являлось создание прибора, собранного из простых подручных средств, который поможет доказать возникновение электрического тока (электропроводности), в доступных любому ученику растворах.

Для достижения намеченной цели решались следующие задачи:

– подбор элементов, из которых возможно создание прибора (из доступных материалов), для подтверждения способности проведения электричества. Выполнение сборки прибора.

– проведение эксперимента на возникновение электрического тока в растворах, используемых в быту.

Возникновение электрического тока в телах (средах) под действием электрического поля это способность тела (среды) проводить электрический ток (электропроводность). В зависимости от этого свойства вещества разделяют на электролиты и неэлектролиты.

Вещества, молекулы которых в растворах или расплавах полностью или частично распадаются на ионы, называются электролитами. Растворы и расплавы электролитов проводят электрический ток.

К электролитам относится большинство неорганических кислот, оснований и почти все соли, к неэлектролитам – многие органические соединения, например, спирты, эфиры, углеводы.

Вещества, молекулы которых в растворах или расплавах на ионы не распадаются и электрический ток не проводят, называются неэлектролитами [1].

Согласно, описанных различных конструкций приборов для исследования электропроводности растворов веществ [2, 3], выяснили, что принципы работы и электрические схемы приборов одинаковы и содержат три необходимых компонента, то есть:

электроды (стержни или пластины);

элементы питания (электрические батарейки или электрическая сеть);

систему индикации (световая, звуковая, механическая).

При выборе элементов питания, руководствовались доступностью материала, поэтому в качестве элементов питания собираемого прибора были использованы электробатарейки. Для фиксации возникновения электрического тока (электропроводности растворов) в исследуемых веществах, был использован светодиод [4].

При изготовлении прибора использовали: металлическую трубку диаметром; красный светодиод; две пальчиковые батарейки ААА; две резиновые пробки, по размеру трубки и медную проволоку.

В ходе проведения исследования растворы помещали в стаканчики, опускали электроды прибора, наблюдали за свечением светодиода. При смене раствора электроды промываем дистиллированной водой.

Результаты опытов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты экспериментов

Вещества	Возникновение электрического тока
Вода дистиллированная	Нет
Хлорид натрия раствор	Да
Раствор сахара	Нет
Гидроксид натрия раствор	Да
Вода водопроводная	Да

С помощью собранного прибора проведено исследование растворов (используемых в быту) на возникновение электрического тока (электропроводность). Растворы соли, гидроксида натрия и водопроводной воды являются электролитами, а дистиллированная вода (из-за отсутствия примесей) и раствор сахара – неэлектролитами.

Библиографический список

1. Введение в общую химию: электрон. учеб. пособ. – РХТУ им. Д.И. Менделеева. – Москва 2013 (url: http://onx.distant.ru/posobie-1/chemistry/index.htm#index, дата обращения: 15.01.2019 г.).

2. Элементарный учебник физики / под ред. акад. Г.С. Ландсберга. – М., 1975, Т. 2. – 473 с.

3. Энциклопедия Физика / состав. Володин В.А. – «Аванте+2, 2005, Т.16

4. Иванов И., Дульцев А. Исследование электропроводности растворов веществ // «Современные педагогические технологии» III Международная научно-практическая конференция «Открытие», Екатеринбург, 2016 г.

ЗАВИСИМОСТИ ВЫХОДА ПРОДУКТА ЭЛЕКТРОЛИЗА СУЛЬФАТА МЕДИ ОТ pH СРЕДЫ

Олещук Я. А.[1]

[1] *БОУ «Лицей № 66», Россия, г. Омск, ул. Красный путь, 22а*

Электролиз – разложение электролита (в растворе или расплаве) при прохождении через него электрического тока, связанное с потерей или присоединением электронов ионами или молекулами растворенных веществ. Электролиз очень часто используется в химической и нефтехимической промышленности.

В промышленности электролиз применяют для получения многих металлов, так как на катоде в результате присоединения электронов к ионам или молекул образуются продукты восстановления, а на аноде в результате потери электронов – продукты окисления. Катодом при электролизе называется отрицательный электрод, а анодом-положительный. Упорядоченное движение ионов в проводящих жидкостях происходит в электрическом поле, которое создается электродами – проводниками, соединенными с полюсами источника электрической энергии. Так же в процессе электролиза можно получить такие вещества, как: щелочи, водород, кислород и т.д. Электролиз является одним из лучших способов золочения или покрытия металла медью, золотом.

Актуальность:

Метод провидения эксперимента, выбранный мной, помогает на практике рассмотреть процесс протекания химических и физических реакций.

Практическое значение электролиза достаточно велико и распространено во многих жизненных аспектах. Его используют в гальванопластике серебра, с его помощью на производстве получают различные металлы, хлор и множество других, более сложных соединений, включая ряд окислителей и промежуточных веществ, для их производства.

Цель работы: Определение на практике зависимости выхода продукта электролиза сульфата меди от pH среды.

Задачи:

– Ознакомиться с понятием и процессом «Электролиз».

– Приобрести навыки проведения электролиза в школьной лаборатории.

– Собрать замкнутую цепь, для протекания процесса электролиза.

– Пронаблюдать за процессом электролиза в течение 40 минут.

– Записать результаты.

– Выявить закономерности.

– Проанализировать и сделать выводы.

– На основе сделанных выводов составить презентацию.

Процесс электролиза – достаточно интересный и не сложный процесс, который каждый из обучающихся мог бы провести в рамках школьной лаборатории, и не только. Процесс происходит в течение 40–45 минут, а результат заметен уже после проведения первого же опыта. И это я хочу доказать это вам на примере выведенных мной результатов.

Ход работы:

1. Взвесили медный электрод на электронных весах.
2. Собрали замкнутую цепь, для проведения электролиза.
3. На электронных весах взяли навеску $CuSO_4$ массой 10г.
4. Растворили навеску в дистиллированной воде, и получили 100г 10% раствора $CuSO_4$.
5. Прилили по каплям к данному раствору серную кислоту, до получения кислой среды.
6. После получения нужного раствора, поместили в него медный электрод, и замкнули цепь.
7. Электролиз проводили в течение 40 при силе тока 1А.
8. После проведения электролиза, медный электрод высушили и взвесили на электронных весах.
9. Данный опыт повторяли трижды в кислой, нейтральной и щелочной средах.
10. После практической части провели расчеты.

Выводы: Установлено, что окисление медного электрода в кислой, нейтральной и щелочной среде, происходит примерно с одинаковыми результатами, которые варьируются от 0,65 г до 0,9 г, и тем самым понять, что выдвинутое мной предположение, не подтвердилось.

Библиографический список

1. Статья «Электролиз».
2. Учебный фильм «Электролиз».
3. Википедия.
4. Бейтс Р. Определение Ph. Теория и практика / пер. с англ. под редакцией акад. Б.П. Никольского и проф. М.М. Шульца. – 2-е изд. – Химия, 1972.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УТЕПЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ И ДРУГОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Петрова С. П.[1], Рогачев Е. А.[2]

[1] *БОУ «Лицей № 166», Россия, г. Омск, ул. Нефтезаводская, д. 3а*
[2] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр-т Мира, д. 11*

Особенностью климата России является продолжительная, холодная зима и относительно короткое лето, кроме того большинство месторождений расположены в северной части страны. Таким образом, эксплуатация оборудования происходит в условиях низких температур, связи с этим задача теплосбережения является важной и решается путем применения различных теплоизоляционных материалов. Выбор материалов определяется главным образов 2-мя факторами: теплоэффективностью и ценой.

В связи с этим, целью данной работы является сравнение теплоизоляционных свойств различных материалов и определение оптимальной области их применения.

Для ее достижения поставлены следующие задачи: изучить проблему сохранности тепла и пути ее решения; предложить способ оценки теплоизоляционных свойств материала; определить коэффициент теплопроводности войлока, минеральной ваты, вспененного полиуретана; сравнить горючесть материалов; выбрать оптимальный вариант теплоизоляции для различных задач.

В настоящее время для теплоизоляции используются различные материалы на основе минеральной ваты, вспененного полиуретана, монтажной пены и т.д. Из всех доступных для исследования материалов мы выбрали наиболее распространенные: мин. вата Ursa Geo (толщина 50 мм), вспененный полиуретан Экофол с толщиной вспененного слоя 3 мм, войлок.

Для исследования их теплоизоляцонных свойств, мы создали свою опытную установку (рис. 1), при помощи которой определяли скорость охлаждения воды и по полученной зависимости рассчитывали коэффициент теплопроводности материала. Внутрь установки помещается емкость с горячей водой, в которой находится термометр, стенками установки является исследуемый теплоизоляционный материал.

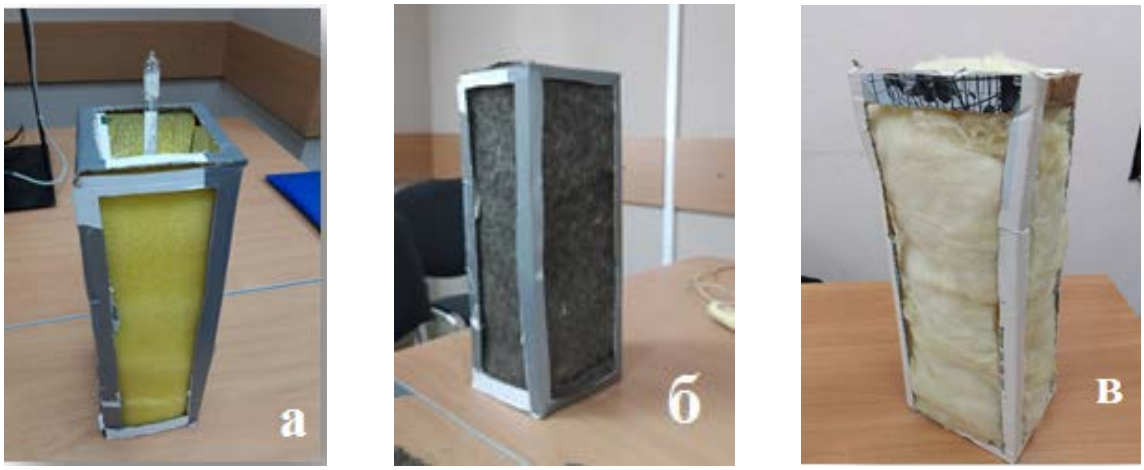


Рис. 1. Внешний вид установки для изучения теплоизоляционных свойств материалов: а – вспененный полиуретан Экофол, б – войлок, в – мин. вата Ursa Geo

Численные расчеты проводили с использование уравнения теплопроводности:

$$\frac{Q}{St} = -\varkappa \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

Количество отводимой тепловой энергии определяли по изменению температуры воды:

$$Q = Cm(\mathrm{T_{в2}} - \mathrm{T_{в1}})$$

Полученная с помощью данных уравнений расчетная формула коэффициента теплопроводности:

$$\varkappa = \frac{\ln\left(\frac{\mathrm{T_{в1}} - \mathrm{T_к}}{\mathrm{T_{в2}} - \mathrm{T_к}}\right) x Cm}{S\Delta t}$$

В результате проведенных исследований построили зависимость температуры воды от времени (рис. 2).

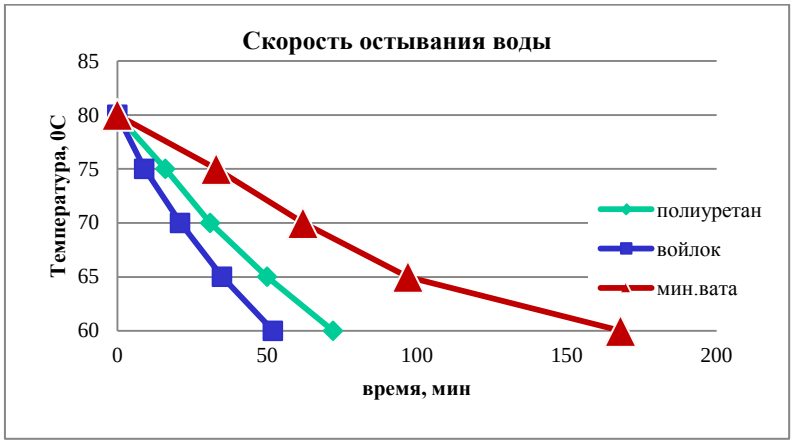


Рис. 2. Зависимость температуры воды в теплоизолированном сосуде от времени

Из графика следует, что наибольшая скорость охлаждения наблюдается при изоляции войлоком, наименьшая при изоляции минеральной ватой.

По указанной выше формуле рассчитали коэффициент теплопроводности.

Полученные значения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты теплопроводности исследуемых материалов

	Войлок	вспененный полиуретан Экофол	мин. вата Ursa Geo
$\varkappa$, Вт/(м*К)	0,025	0,011	0,05

Коэффициент теплопроводности характеризует непосредственно сам материал и не зависят от толщины изделия. Из полученных значений видно, что наименьшим коэффициентом теплопроводности (а значит лучшими теплоизоляционными свойствами) обладает вспененный полиуретан.

Однако коэффициент теплопроводности является не единственным фактором, определяющим его эксплуатационные характеристики и область оптимального применения. Так как, использование материалов происходит при разных повышенных температурах, исследовали их стойкость горению. Исследования показали, что все материалы поддерживают горение, но не горят; хуже всего показал себя полиуретан – он достаточно легко плавится, минеральная вата также активно уменьшала свой объем, войлок же практически не горел и не плавился. Из этого следует, что с целью утепления, например, двигателей автомобилей, оптимальным является материал – войлок. Также в пользу данного утверждения стоит отметить его не высокую стоимость, в сравнении с другими изучаемыми материалами.

В выборе материала для теплоизоляции труб стоит обратить на другие факторы, так как их температура часто не высокая, фактор сопротивление горению не будет являться критическим. Так как изолируемые изделия (трубы) часто подвержены атмосферному воздействию, была исследована способность материалов впитывать воду. Известно, что содержание влаги в материале значительно повышает его теплопроводность, что снижает эффективность его применения, кроме того, оставшаяся в материале влага способствует коррозии металла, из которого часто изготавливаются трубы. Был проведен опыт по оценке влаговпитующей способности материалов. Для этого в течение 1 минуты образцы материалов поливали с помощью лейки душа. С помощью бытовых весов оценивали изменение массы образцов.

Таблица 2. Изменение массы образцов после обливания водой

Образец	Масса сухого, г.	Масса мокрого, г.	увеличение массы
минеральная вата	12,1	150,3	12,4
войлок	54,3	87,6	1,6
вспененный полиуретан	17,6	23,4	1,3

Было установлено, что минеральная вата сильнее всего впитывает влагу, наименьшей впитываемостью обладает вспененный полиуретан.

Так как это материал обладает также низким коэффициентом теплопроводности, можно предположить, что именно его оптимально использовать для теплоизоляции труб.

Таким образом,

• В ходе проделанной работы были рассмотрены различные способы теплоизоляции труб и механизмов, выявлены наиболее распространенные материалы, выбраны критерии оценки эффективности применения материалов для решения различных задач

• Был предложен способ оценки теплоизоляционных свойств материалов, а также собрана соответствующая экспериментальная установка

• В результате комплексной оценки материалов сформулированы следующие рекомендации:

Для теплоизоляции труб оптимальной является вспененный полиуретан, так как он способствует обеспечению наименьшей скорости остывания сырья и обладает высокой стойкостью к набуханию водой. В данной области вопросы размеров материала и устойчивости горению не являются критическими.

Для теплоизоляции двигателей и других устройств оптимальным является – войлок, так как он устойчив горению, хорошо сохраняет тепло, имеет не высокую стоимость, а так же имеет малый объем.

Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс физики: учеб. для студентов высш. технических учеб. зав. Т. 1: Механика. Молекулярная физика: учебник / И.В. Савельев. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 352 с.

2. Мякишев, Г. Я. Физика. 10 класс: учебник для общеобразовательных организаций: базовый уровень / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, В. М. Чаругин; под ред. Н. А. Парфентьевой. – Москва: Просвещение, 2014. – 412.

СНЕГ – ИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

Полонская В. В.[1], Сергеева М. В.[1]

[1] *БОУ г. Омска «Гимназия № 12 имени Героя Советского Союза В. П. Горячева», Россия, г. Омск, ул. Энтузиастов, 47*

Экологические проблемы Омской области в основном связаны с наращиванием промышленных мощностей, недостаточностью эффективных очистных сооружений, не меняющимися на протяжении лет на большинстве предприятий старых технологий, ростом парка автомобилей. Немаловажную роль играет отставание или полное отсутствие должного уровня благоустройства жилых районов. Снег – один из наиболее информативных и удобных индикаторов загрязнений природной среды: во-первых, снег является хорошим накопителем всех веществ, попавших в него; во-вторых, исходя из полученных результатов можно дать оценку экологического состояния снега, а в последующем и воды, которая попадает в реки и почву; в третьих, можно сделать анализ загрязнителей по характеру происхождения «природные или антропогенные».

Цель работы: провести исследования степени загрязнения снежного покрова на разных участках г. Омска, выяснить причины и характер загрязнений снега.

Задачи исследования:

1. Сбор и изучение теоретического материала о строении, составе и свойствах снега;
2. Изучение и разработка методик исследований с учетом возможностей и особенностей гимназии №12;
3. Установление физико – географического положения и картографию пробных площадок в городе Омске и Омской области.
4. Проведение физико – химического анализа снега и талой воды, используя пробы с разных площадок;
5. По результатам исследований сделать вывод и разработать рекомендации об экологическом состоянии снежного покрова г. Омска;

Гипотеза исследования:

Степень загрязнения воздуха и снега зависит от удаленности и интенсивности источников загрязнения. Лес способен поглощать значительную часть загрязняющих веществ . Основным источником загрязнения атмосферы не зависимо от времени года является автотранспорт.

Объект исследовательской работы – снежный покров г. Омска и области.

Для исследований были взяты 6 основных и 1 контрольная проба снега в разных частях города:

1. Роща возле ОмГАУ им. П. А. Столыпина (аграрный университет)
2. Центральная часть г. Омска возле КДЦ им. В. Маяковского рядом с большой транспортной развязкой.
3. Парк Советского района на берегу реки Иртыш.
4. Территория нефтезавода
5. Территория возле ТЭЦ №3
6. Школьный двор гимназии №12, где я учусь.

В качестве контрольной пробы был взят снег с севера Омской области, из Муромцевского района, села Артын.

Для уменьшения риска попадания в пробы посторонних веществ забор снега производили пластиковым совком. Для одной пробы брался снег от поверхности до самой земли и помещался в чистый сосуд. Чистота сосудов также была одним из непременных условий, поскольку наличие посторонних примесей в лабораторной посуде могло исказить результаты исследования.

Очистка лабораторной посуды производилась следующим образом. Сначала с помощью раствора щелочи удалялись любые органические остатки, а раствором концентрированной серной кислоты убирались металлы. Колбы, воронки, пипетки и другую посуду тщательно промывали бидистиллированной водой. Проверка чистоты осуществлялась с помощью полосок универсального индикатора (среда должна быть нейтральной).

После того, как снег растаял, пробы воды фильтровывали и делили на две части. Одну часть пробы подвергали органолептическому анализу, а со второй – проводили различные эксперименты по определению тех или иных загрязнений.

Органолептический анализ состоял в определении запаха, углеводородной пленки, кислотности снеговой воды, цвета, мутности и др.

Запах воды определялся следующим образом: отфильтрованную пробу воды, помещенную в колбу, накрывали стеклом и встряхивали. Открыв стекло, быстро определяли запах. Для определения углеводородной пленки воду в колбе отстаивали в течение суток. Внешний вид оценивали по цвету и мутности воды. Для описания цвета пользовались обычными названиями: бесцветная, белая, светло-желтая, светло-серая, серая и т.д. Мутность воды – это мера содержания в ней взвешенных частиц, различных по происхождению (частицы глины, песка, других веществ).

Снег собирали вдали от дорожек и следов животных, на клумбах и у деревьев, чтобы избежать вторичных загрязнений. При сборе несколько слоев снега перемешивали, чтобы в пробу попали осадки разного времени

выпадения. После таяния снега пробы с одной территории перемешивали. Исследование наличия примесей проводили методом качественного химического анализа. В качестве показателей мы брали чистоту (отсутствие или наличие мусора), мутность, кислотность (показатель pH), наличие соединений серы (сульфатов, сульфитов и сульфидов). По карте административной карте города, где отмечено расположение автомобильных дорог, промышленных предприятий, заводов и котельных, мы сопоставили показатели чистоты снега и возможных источников его атмосферного загрязнения. Для изучения основных показателей снега, после его таяния анализировали цвет, мутность, запах, чистоту и уровень кислотности полученной талой воды. Для этого 100 мл талой воды от каждой пробы смотрели при наложении на темный фон — для определения мутности, на белый фон — для определения цвета.

Одной из характеристик загрязнения снега является его кислотность (pH). При pH = 7 реакция воды — нейтральная, при pH <7 — кислая и при pH >7 — щелочная. Число ионов водорода в речных водах обычно 6,5–8,5, атмосферных осадках 4,6–6,2. Определение кислотности мы проводили с помощью индикаторной бумаги, сравнивая данные с цветной шкалой. В результате этого нами были получены следующие данные (табл. 1).

Таблица 1. Основные показатели снега в пробах (по талой воде)

№пробы	Место сбора	Показатели снега (в талом виде)				
		Наличие мусора	цвет	мутность	запах	ppH
1	Роща Аграрного университета	Земля, семена растений	–	Мутность не заметна (отсутствует)	землистый	66
2	ТЭЦ 3	пыль	Слабо-желтоватая	Слабая муть	химический	55
3	КДЦ Маяковский	пыль	Слабо-желтоватая	Слабая муть	химический	55
4	Советский парк	Семена растений	–	Мутность не заметна (отсутствует)	травянистый	66
5	Школьный двор	Земля, семена растений	–	Мутность не заметна (отсутствует)	травянистый	66
6	Муромцевский район, село Артын	–	–	Мутность не заметна (отсутствует)	землистый	66
7	Нефтезавод	пыль	–	Практически отсутсвует	химический	66

Помимо мусора, снег несет и гораздо большую опасность — загрязнение вредными веществами, которые могут влиять на состояние здоровья людей. Многие из них летучи и присутствуют в воздухе, которым мы ежедневно дышим. Тающий снег впитывается в землю, эти вещества попадают в почву, водоемы, а оттуда и в наш организм. Для выявления в снеговой пробе конкретных химических веществ мы использовали следующие методики определения: 1) выявление сульфатов (SO_4^{2-}): к 10 мл пробы прибавить 1 мл хлорида бария; при содержании этих ионов возникает помутнение; 2) выявление сульфитов (SO_3^{2-}): к 10 мл пробы прибавить слабый раствор марганцовокислого калия; при содержании этих ионов розовый цвет исчезает. В качестве показателей выбраны органолептические свойства снега и талой воды, а исследование наличия примесей проводили методами качественного химического анализа. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2. Наличие вредных веществ в пробах (по талой воде)

№ пробы	Место сбора	Наличие вредных веществ	
		сульфаты, SO_4^{2-}	сульфитов SO_3^{2-}
1	Роща Аграрного университета	–	Цвет ослабевает
2	ТЭЦ 3	–	Цвет ослабевает
3	КДЦ Маяковский	–	Цвет ослабевает
4	Советский парк	–	Цвет ослабевает
5	Школьный двор	–	Цвет стал интенсивнее
6	Муромцевский район, село Артын	–	Цвет стал интенсивнее
7	Нефтезавод	–	Цвет не изменился

Проведенные исследования показали, что наиболее загрязненными оказались пробы № 2 и № 3.

Химический анализ наличие сульфатов не выявил ни в одной пробе. Наибольшее количество сульфитов обнаружено в пробах снега возле КДЦ «Маяковский» и ТЭЦ -3.

Выводы:

1. Самыми грязными местами являются территория возле ТЭЦ-3 и КДЦ «Маяковский».

2. Чем больше интенсивность движения автотранспорта, тем сильнее загрязнение. Но также мы увидели, что проба №1, взятая в роще аграрного университета с интенсивным движением автотранспорта, чище пробы №3 возле КДЦ Маяковский с таким же движением автотранспорта. Причина этого в наличии большого количества хвойных и лиственных деревьев на территории университета. Деревья поглощают большую часть вредных примесей.

3. На пришкольной территории все показатели чистоты снега находятся в норме, чему также способствует наличие большого числа деревьев и растений на пришкольной территории.

4. Самым чистым показателем оказался участок № 4-Советский парк, т.к. это место находится далеко от дороги и разнообразные выбросы доходят в меньшей степени.

5. Территория рядом с Нефтезаводом приближалась к наиболее чистым местам.

Библиографический список

1. Журнал «Наука и жизнь». – 1982. – № 1.– С. 48.

2. Журнал «Наука и жизнь». – 2006. – № 2.– С. 50.

3. Интересные факты о снеге. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: http://facte.ru/interesnye-fakty-o-snege.html (дата обращения: 21.01.2013).

4. Софер М. Снег // Библиотека учебной и научной литературы. – 2002 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: http://sbiblio.com/biblio/archive/sofer_sneg/ (дата обращения: 22.01.2013).

5. Тарасов Л.В. Физика в природе. – М. Вербум, 2002. – С. 213.

6. С.В. Алекссев, Н.В. Груздева, Э.В. Гущина «Экологический практикум школьника». – Изд. «Учебная литература», 2005.

7. Ашихмина Т. Я. Школьный экологический мониторинг. – М.: АГАР, 2000. – 388 с. Комов В. Т. – Нижний Новгород: Вектор-Тис, 2007. – 112 с.

8. Катунова И. Д., Рыбакова Т. А. Определение чистоты снега на территории школ Ленинского района города Нижнего Новгорода // Юный ученый. – 2016. – № 6. – С. 104–107.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕНООБРАЗОВАНИЯ В РАСТВОРАХ ПОВЕРХНОСТНО АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Ремизова У. В.[1], Матченя А. В.[2], Скоморощенко О. В.[2], Шубенкова Е. Г.[2]

[1] *БОУ ОО "МОЦРО №117", Россия, г. Омск, ул. Андрианова, 4*
[2] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11*

В настоящее время одним из развивающихся направлений в коллоидной химии является изучение влияния смесей поверхностно-активных веществ (ПАВ) на различные физико-химические процессы в смешанных системах такие, как: мицеллообразование, солюбилизация, адсорбция, пенообразование и др.

Согласно учению П.А. Ребиндера, пенообразующая способность дисперсных систем обусловливается двумя факторами поверхностной активностью растворенного вещества и стабилизирующей способностью поверхностно-активного вещества.

Пенообразующая способность – одно из типичных, но не главных свойств моющих веществ. Пена представляет сотообразную структуру, состоящую из воздушных ячеек, отделенных друг от друга тонкими пленками жидкости. Чистые жидкости пены не образуют, растворы же некоторых неорганических солей обладают этой способностью. Разрушение пленок жидкости между отдельными ячейками вызывается поверхностным натяжением. Наиболее стойкое пенообразование наблюдается в растворах, имеющих низкое поверхностное натяжение. Следовательно, наиболее эффективными пенообразователями являются поверхностно-активные вещества.

Пенообразующая способность обусловлена ориентированной адсорбцией молекул поверхностно-активного вещества на границе его водного раствора и воздуха за счет того, что воздух является неполярной средой, гидрофобные части молекул направлены в сторону воздуха, а гидрофильные – в сторону раствора. Такая ориентированная адсорбция приводит к снижению поверхностного натяжения, и при диспергировании воздуха в водном растворе моющего вещества образуется обильная пена.

Прекращение пенообразования происходит вследствие истощения раствора поверхностно-активным веществом, молекулы которого адсорбируются на поверхности частичек загрязнений. Это вызывает снижение общего объема пены и частичное блокирование моющего эффекта. Вместе с тем, способность образовывать

пену и моющее действие имеют общую причину, а именно проявление активности моющего вещества, выражающееся в адсорбции на границе раздела раствор – воздух. Наличие пены свидетельствует лишь об избытке детергента, основная часть которого затрачена на адсорбцию, нейтрализацию солей жесткости и т. д. Низкую пену можно получить добавлением пеногасителей, но при этом снижаются и смачивающая, и моющая способности. Дюпре, Вольфрам и Фордайс синтезировали модифицированные неионогенные поверхностно-активные вещества, обладающие низкой пенообразующей способностью при сильном перемешивании, но сохраняющие остальные свойства поверхностно-активных веществ.

На вопрос, что такое пенообразователи, можно было бы ответить просто это те вещества, которые при определенных условиях образуют пену. В данном исследовании основное внимание будет уделено пенам, получаемым из водных растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ). Именно они и являются основными пенообразователями. ПАВ – это общее понятие, объединяющее множество различных веществ, каждое из которых в той или иной мере обладает пенообразующей способностью. Свойства поверхностно-активных веществ оценивают в стандартных условиях (моющая, эмульгирующая, смачивающая, пенообразующая способности, стабильности эмульсии и пены и т. д.). Наиболее важными свойствами поверхностно-активных веществ для различных технологических процессов являются следующие: смачивающая способность, пенообразующая способность, диспергирующая (дефлоккулирующая) способность и защитно-коллоидное действие, эмульгирующая способность, моющее действие. Изучение и использование этих свойств поверхностно-активных веществ – важная задача для повышения эффективности технологических процессов.

Цель работы является изучение влияния состава раствора пенообразователя на устойчивость пены.

Поставленные задачи:

1) Изучить литературу по теме исследования;

2) Освоить методику измерения и определить уменьшение общего объема пены со временем в зависимости от концентрации и состава пенообразователя;

3) Оценить пенообразующую способность растворов моющего ПАВ с различной концентрацией и влияние на нее добавления спиртов;

3) Проанализировать результаты и сделать соответствующие выводы.

Получение пены проводили встряхиванием раствора пенообразователя различной концентрации в цилиндре:

1. Наливали 30 мл дистиллированной воды в цилиндр емкостью 100 мл и 30 мл раствора пенообразователя.

2. Произвести встряхивание в течение 15 с и после его прекращения включали секундомер, одновременно фиксируя объем образовавшейся пены.

3. Отмечали изменение объема пены во времени.

4. Аналогичные опыты выполнить с растворами пенообразователя, разбавленными в 2 и 3 раза, а также после добавления этилового спирта и глицерина.

5. Полученные результаты занесли в таблицу и построили графические зависимости (рис. 1).

Кратность пены оценивали по соотношению объемов пены и взятого раствора пенообразователя. Гидростатическую стабильность пен оценивали по скорости разрушения пены.

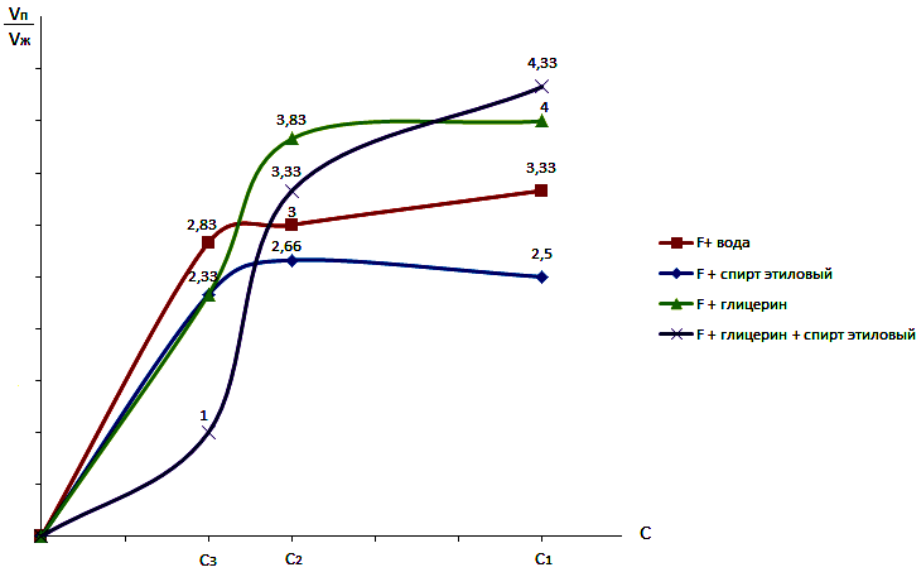


Рис. 1. Зависимость кратности пены от состава и концентрации пенообразователей

Заключение и выводы:

1) Показано, что гидростатическая устойчивость пены увеличивается:

- С повышением концентрации пенообразователя.
- При добавлении к пенообразователю этилового спирта или глицерина.

2) Установлено:

- При добавлении этилового спирта к пенообразователю, уменьшается кратность (плотность) получаемой пены, но увеличивается ее гидростатическая устойчивость.
- При добавлении глицерина к пенообразователю с увеличением концентрации пенообразователя, кратность пены и её гидростатическая устойчивость увеличиваются значительно.
- При совместном присутствии этилового спирта и глицерина, первый действует как пеногаситель. По мере увеличения количества этилового спирта в растворе резко уменьшается кратность пены и ее гидростатическая устойчивость. Возможно, это объясняется меньшей полярностью этилового спирта и, как следствие худшей способностью удерживать воду и стабилизировать жидкую пленку на границе раздела воздух-раствор.

Библиографический список

1. Мчедлов-Петросян, О.П. Коллоидные поверхностно-активные вещества / О.П. Мчедлов-Петросян [и др.] // Учебно-методическое пособие. – 2-е изд. – Харьков, ХНУ имени В. Н. Каразина, 2009. – 72 с.
2. Стабилизация пен. http://www.xumuk.ru/colloidchem/199.html
3. Справочник химика 21. https://www.chem21.info/info/8914/

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРОВ

Решетняк А. О.[1], Логунова Е. В.[2], Холоденко В. А.[3], Шубенкова Е. Г.[2]

[1] *БОУ г. Омска «Лицей № 143», Россия, г. Омск, ул. Т. Белозерова, дом 20*
[2] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11*
[3] *Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск, пр. Мира, 5*

Полимеры – высокомолекулярные соединения, состоящие из множества одинаковых структурных звеньев. По происхождению их классифицируют на природные (целлюлоза, крахмал и др.), синтетические (полиэтилен, поливинилхлорид и др.), а также искусственные – они созданы человеком на основе природных аналогов (резина, искусственный каучук и т.д). По химическому составу полимерные материалы разделяют на органические; неорганические, не содержащие органических звеньев ни в главной цепи, ни в ответвлениях макромолекулы (пластическая сера, кристаллы кварца); и элементоорганические, макромолекулы которых состоят из углеводородных групп и неорганических звеньев (кремний-, боро-, фосфорорганические полимеры и др.).

При применении материала необходимо определить его свойства и совместимость с другими частями системы, в которой планируется его использование. Твердые тела при контакте со средой, содержащей вещества, способные к адсорбции на межфазной поверхности легче разрушаются и деформируются. Сущность этого явления состоит в самопроизвольном протекании в них структурных изменений в результате понижения их свободной поверхностной энергии и называется эффектом Ребиндера [1].

Можно выделить ряд общих особенностей, характерных для эффекта Ребиндера:

1. На каждый данный тип твердого тела действуют лишь некоторые определенные среды;
2. Изменение механических свойств твердых тел можно наблюдать сразу после установления контакта со средой;
3. Для проявления действия среды достаточно весьма малых ее количеств;
4. Наблюдается своеобразная обратимость эффекта: после удаления среды механические свойства исходного материала полностью восстанавливаются.

Адсорбционное понижение прочности наблюдается в присутствии сред, вызывающих сильное снижение поверхностной энергии твердых тел. Наиболее сильные эффекты вызывают жидкие среды, близкие твердому телу по молекулярной природе.

На сегодняшний день невозможно представить себе окружающий мир без полимеров из-за их повсеместного применения: полимеры широко применяются в быту, в текстильной промышленности, в медицине, в техно-, авто-, судо- и авиастроении, из них изготавливают уплотнители, изолирующие слои и многое другое.

Целью данного исследования является определение влияния смазочных материалов на прочность различных полимеров: полиэтилена, резины и латекса.

Задачи:

1. Изучить теоретический материал по теме;
2. Определить линейные и объемные параметры исследуемого материала (полоски полиэтилена, резины, латекса);
3. Выдержать полимеры в разных средах;
4. Определить прочностные характеристики;
5. На основе эксперимента сделать вывод.

Удельное сопротивление разрыву ($F_{уд}$, Н/мм) – это усилие, требуемое для разрыва полоски материала:

$$F_{уд} = \frac{F}{b},$$

где F – сила упругости, Н;

b – ширина полоски, мм [2].

Величина силы упругости (F, Н) определяется законом Гука:

$$F = k \cdot \Delta x,$$

где k – коэффициент упругости, Н/м;

Δx – абсолютное удлинение, м.

Коэффициент упругости (k, Н/м) зависит от модуля Юнга (величина, характеризующая способность материала сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации) и от геометрических размеров тела:

$$k = \frac{E \cdot S}{l},$$

где E – модуль Юнга, Па;

S – поперечное сечение тела, м^2;

l – длина тела, м.

Механическое напряжение (σ, Н/мм^2) – мера внутренних сил, возникающих в деформируемом теле под влиянием различных факторов. Определяется как отношение силы упругости к площади сечения:

$$\sigma = \frac{F}{S},$$

где F – сила упругости, Н;

S – площадь сечения, м^2.

Для определения коэффициента упругости измеряли длину, ширину и толщину полоски и рассчитывали площадь поперечного сечения. Затем определяли модуль силы упругости. Для этого полоску исследуемого полимера растягивали, медленно увеличивая прикладываемое усилие, до разрыва и измеряли приложенную силу. По полученный данным рассчитывают начальные значения удельного сопротивления разрыву и механического напряжения для полосок резины, полиэтилена и латекса.

Далее полоски резины помещали в ёмкости с тормозной жидкостью «Dot 4», с моторным маслом Total Quartz 5W-40, авиационными маслами МС-20 и МС-8П. Аналогичные манипуляции проделывали с полосками полиэтилена и латекса. Опыты проводили при нормальных условиях. По истечении 48, 72 и 144 часов образцы извлекали и проводили измерение прочностных характеристик.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты определения удельного сопротивления разрыву и механического напряжения

Полимер	Начальные значения $F_{уд}$, Н/мм	Время, ч	Значения $F_{уд}$, Н/мм / Значения σ, Н/мм^2			
			Тормозная жидкость	5W-40	МС-20	МС-8П
Резина	4,6/2,3	48	3,90/1,96	3,31/1,65	3,68/1,84	0,98/0,24
		72	4,10/2,03	2,91/1,45	3,77/1,88	0,86/0,22
		144	4,26/2,13	1,50/0,75	3,03/1,50	0,92/0,23
Полиэтилен	0,5/11	48	0,49/10,93	0,44/9,84	0,44/9,84	0,44/9,84
		72	0,50/11,36	0,44/9,84	0,43/9,62	0,41/9,18
		144	0,48/10,70	0,40/9,30	0,39/8,75	0,34/8,75
Латекс	0,5/2,5	48	0,45/2,26	0,32/1,60	0,21/1,04	0,14/0,68
		72	0,48/2,42	0,24/1,21	0,20/1,00	0,08/0,34
		144	0,25/1,23	0,30/1,40	0,26/1,30	0,07/0,34

Графики зависимостей удельного сопротивления разрыву от времени пребывания в смазочных материалах для каждого полимера показаны на рисунках 1–3.

Графики зависимостей механического напряжения от времени пребывания в смазочных материалах для каждого из полимеров показаны на рисунках 4–6.

На графиках наглядно видно уменьшение удельного сопротивления разрыву и механического напряжения от времени. Также можно сделать вывод о том, что тормозная жидкость «Dot 4» обладает наименьшим воздействием на все исследуемые полимеры, а МС-8П – наибольшим.

Наблюдаемые в работе закономерности объясняются с одной стороны с точки зрения структуры полимера, с другой с учетом активных добавок в смазывающих жидкостях. Наименьшее влияние на прочность материалов тормозной жидкости связано с тем, что в ее составе присутствуют добавки обеспечивающие смазывающие свойства: для уменьшения износа деталей тормозной системы и отсутствие вредного воздействия на резиновые детали (уплотнительные кольца, манжеты и т.д.). Аналогичная картина наблюдается и для моторного масла TQ 5W-40. Среди авиационных масел наибольшее влияние на прочностные характеристики оказывает МС-8П, что объяснимо, если учитывать, что в его составе, согласно ОСТ 38.101163-78 присутствуют добавки, обладающие кислотными свойствами и способные увеличивать набухаемость полимера, что приводит к уменьшению его прочностных характеристик.

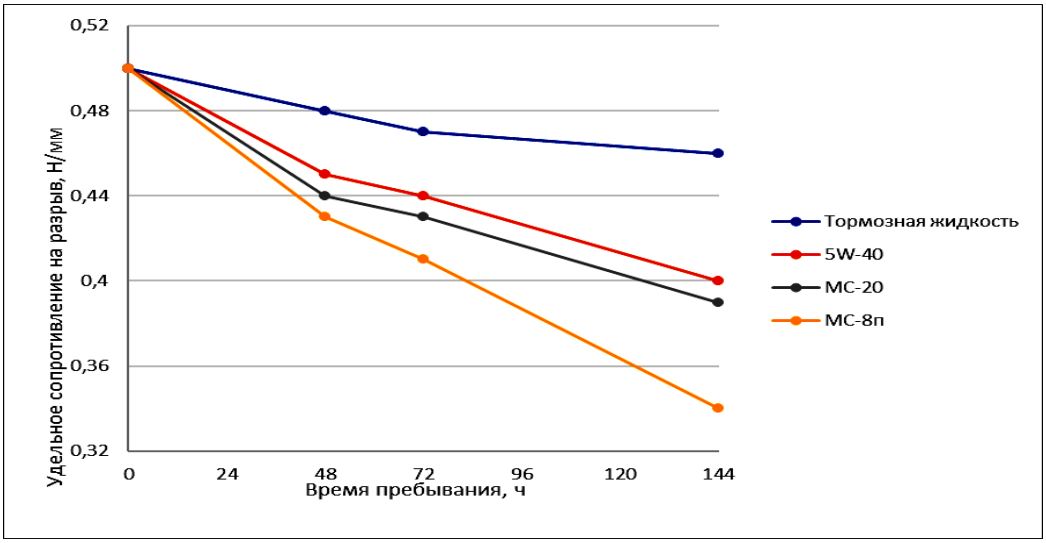


Рис. 1. График зависимости удельного сопротивления разрыву от времени пребывания в смазочных материалах для резины

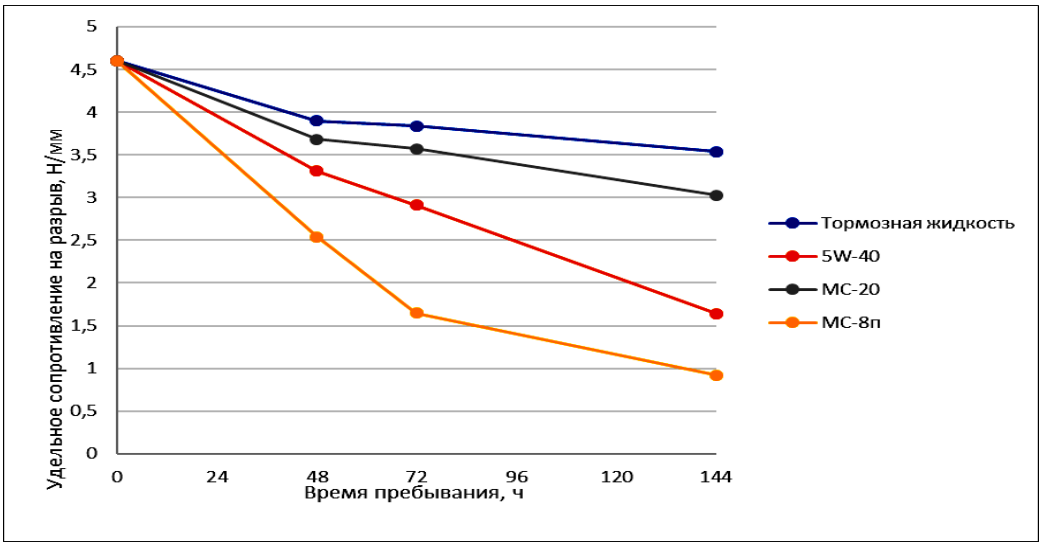


Рис. 2. График зависимости удельного сопротивления разрыву от времени пребывания в смазочных материалах для полиэтилена

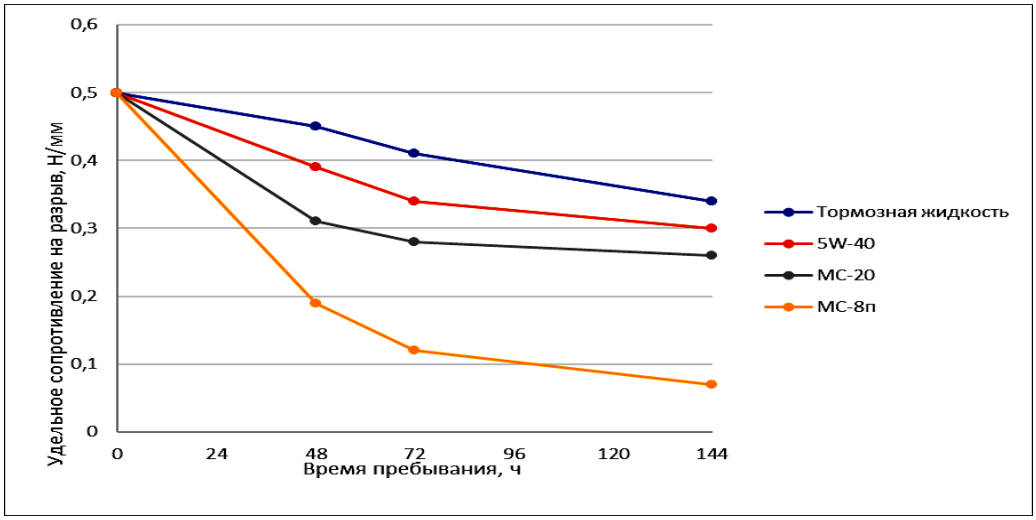


Рис. 3. График зависимости удельного сопротивления разрыву от времени пребывания в смазочных материалах для латекса

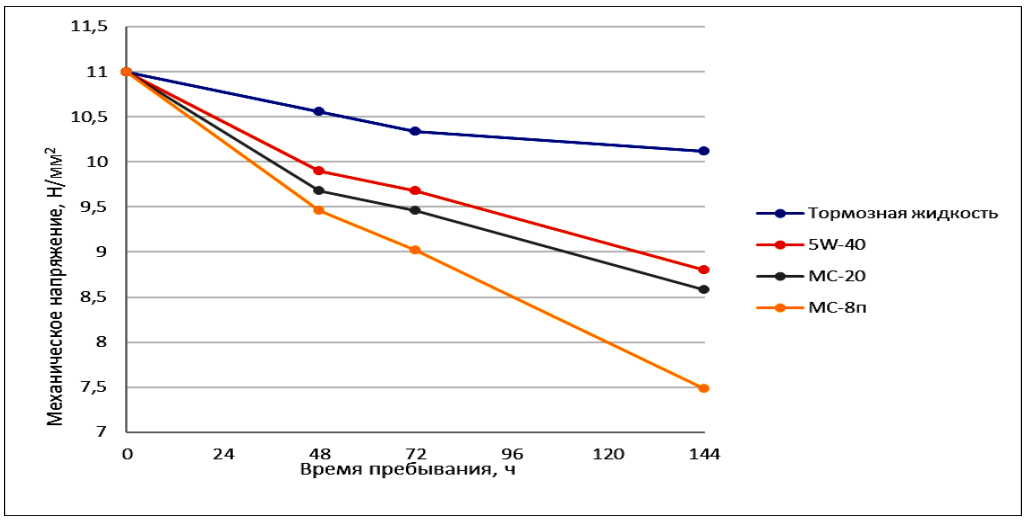


Рис. 4. График зависимости механического напряжения от времени пребывания в смазочных материалах для резины

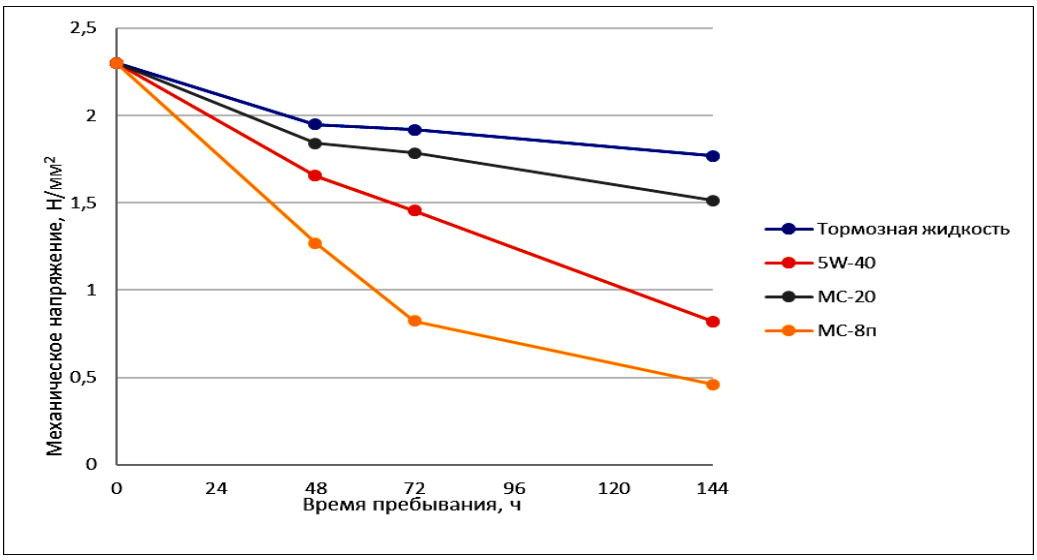


Рис. 5. График зависимости механического напряжения от времени пребывания в смазочных материалах для полиэтилена

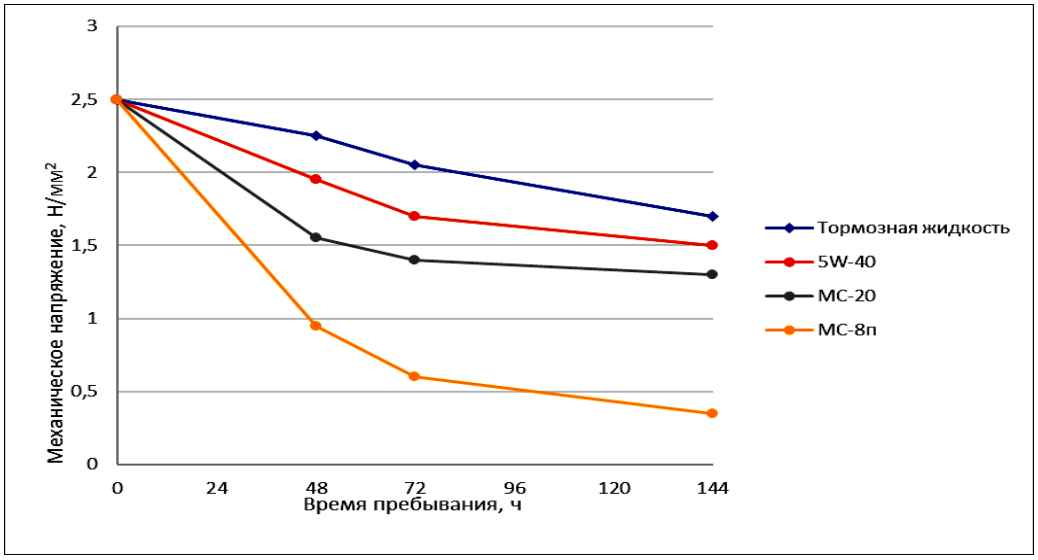


Рис. 6. График зависимости механического напряжения от времени пребывания в смазочных материалах для латекса

Из всех исследованных полимеров, наибольшая набухаемость наблюдалась у резины, что объясняется ее пористой структурой и привело к наблюдаемой наименьшей ее прочности. Полиэтилен и латекс обладают более плотной упаковкой макромолекул, что обеспечивает их относительно хорошую прочность в присутствии смазывающихм материалов.

Таким образом, были определены значения удельного сопротивления разрыву и механического напряжения для образцов полимеров. Согласно проведенным исследованиям (таблица 1), мера воздействия смазочных материалов на полимеры в ряду МС-8П, МС-20, Total Quartz 5W-40, тормозная жидкость «Dot 4» убывает. Из используемых образцов наиболее стойким к воздействию смазочных материалов оказался полиэтилен, а наименее – резина; латекс занимает промежуточное положение.

В результате проведенной работы сделаны следующие выводы:

1. Предложена методика и исследовано влияние смазывающих жидкостей на прочность некоторых полимерных материалов;
2. Показано, что во всех исследованных смазочных жидкостях прочность полимеров уменьшается;
3. Определены смазочные материалы, которые оказывают наименьшее и наибольшее воздействие на полимеры – тормозная жидкость Dot 4 и МС-8П соответственно;
4. Определены полимерные материалы, которые наиболее и наименее стойкие по отношению к воздействию смазочных материалов – полиэтилен и резина;
5. Установлено, что наличие в составе смазывающих жидкостей агрессивных добавок и молекул с высокой проникающей способностью способствует разрушению полимеров в том числе и за счет проявления эффекта Ребиндера;
6. Показано, что пространственная структура полимера влияет на его прочностные характеристики.

Библиографический список

1. Щукин Е.Д. Коллоидная химия: учеб. для вузов / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. – М.: Высш. шк., 2006. – 446 с.
2. ГОСТ 13525.1-79. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Методы определения прочности на разрыв и удлинения при растяжении. – Введ. 1980-01-07. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 5 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Розов Д. С.[1], Ровенских А. С.[2], Ваняшов А. Д.[2], Шубенкова Е. Г.[2]

[1] *БОУ г. Омска «Гимназия № 69 им. Чередова И.М.», Россия, г. Омск, просп. Карла Маркса, 24а*
[2] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11*

Одними из важнейших продуктов химической и нефтеперерабатывающей промышленности являются смазочные масла, играющие весомую роль в эксплуатации современной техники. Предотвращая износ трущихся поверхностей и выполняя функцию электроизоляционной и теплоотводящей среды, они существенно

увеличивают срок работы широкого спектра механизмов, в том числе и различных двигателей. Такая область применения данных материалов обусловлена их специфическими характеристиками.

Надежность работы двигателя во многом определяется выбором масла с оптимальной вязкостью. Вязкость – это одна из наиболее важных характеристик масел, которая характеризует внутреннее трение, определяет текучесть и способность обеспечить жидкостной режим смазывания. Она должна быть достаточно большой для поддержания смазывающей пленки, но достаточно низкой, чтобы масло могло течь по деталям двигателя при всех условиях его эксплуатации.

Одними из наиболее широко используемых в современной авиации и при эксплуатации газотурбинных, турбовинтовых и газоперекачивающих агрегатов являются следующие марки масел и смеси на их основе:

Масло МС-8П (ОСТ 38 101163-78) – наиболее часто применяемое масло на нефтяной основе с комплексом высокоэффективных присадок. Производят из западносибирских и смеси западносибирских и приуральских нефтей. Используют в составе маслосмесей с авиационным маслом МС-20 (в соотношении 25:75, 50:50 и 75:25) в турбовинтовых двигателях, а также для консервации маслосистем авиационных двигателей. Применяют в корабельных газотурбинных установках и в газоперекачивающих агрегатах.

Масло МС-20 (ГОСТ 21743–76) – масло селективной очистки. Применяют в поршневых двигателях самолетов; в составе маслосмесей с маслами МС-8, МС-8П (в различных соотношениях) в смазочных системах турбовинтовых двигателей; в осевых шарнирах втулок винтов вертолетов; для смазывания мотокомпрессоров газоперекачивающих агрегатов, а также в качестве базового компонента для некоторых моторных масел и смазок.

Вязкостно-температурная характеристика смазочных масел является важнейшим показателем их качества. За многие годы изучения зависимости вязкости от температуры было предложено много формул, выражающих эту зависимость, но лишь немногие из них дают удовлетворительную сходимость результатов расчета и практического определения вязкости.

Целью настоящей работы является исследование зависимости вязкости смазочных масел от температуры.

Задачи исследования:

- Изучение теоретического материала по теме исследования;
- Определение вязкости масел марок МС-8П и МС-20 в интервале температур от 0 до 100°С;
- Определение индекса вязкости смазочных масел марок МС-8П и МС-20;
- Исследование зависимости кинематической вязкости от температуры;
- Анализ полученных данных и формулирование выводов.

Работа выполнена в период июнь-август 2019 года в Омском государственном техническом университете. Объект исследования – авиационные масла марок МС-8П и МС-20.

Для достижения цели исследования были использован метод капиллярной вискозиметрии и вискозиметр ВЗ-246. Вязкость рассчитывали по времени истечения определенного объема масла из вискозиметра, в качестве жидкости сравнения использовали дистиллированную воду.

При проведении исследования вискозиметр заполняли испытуемой жидкостью (маслом) и помещали в термостат для установления температуры опыта. Испытуемой жидкости давали возможность вытекать и с помощью секундомера замеряли время протекания определенного объема жидкости.

Подобные измерения проводили, изменяя температуру опыта через каждые 10 ℃ в интервале температур 0…100 ℃. Полученные значения времени истечения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Время истечения масел марок МС-8П и МС-20 при различных температурах

Масло	Время протекания, с										
	0 ℃	10 ℃	20 ℃	30 ℃	40 ℃	50 ℃	60 ℃	70 ℃	80 ℃	90 ℃	100 ℃
МС-8П	24	21	18	15	14	13,5	13	12	12	12	12
МС-20	1077	770	410	223	135	77	51	34	26	19	19

Для определения постоянной вискозиметра использовали аналогичные операции с использованием воды в качестве капиллярной жидкости при 20 ℃. Расчет постоян

$$c = \frac{\nu 20}{\tau ср}$$

где с – постоянная вискозиметра ($мм^2/с^2$);

ν^{20} – кинематическая вязкость калибровочной жидкости (воды) при температуре +20;

$\tau_{ср}$ – среднее время истечения калибровочной жидкости (воды) через капилляр вискозиметра, 10,78 с.

Кинематическая вязкость испытуемой жидкости прямо пропорциональна времени истечения через капилляр вискозиметра и определяется по формуле:

$$\nu = c \cdot \tau \,, \qquad \nu = c \cdot \tau$$

где ν – кинематическая вязкость испытуемой жидкости, мм^2/с

c – постоянная вискозиметра (мм^2/с^2);

τ – среднее время истечения (с).

Полученные значения кинематической вязкости масел МС-8П и МС-20 представлены в таблице 2.

Таблица 2. Кинематическая вязкость масел марок МС-8П и МС-20 при различных температурах

Масло	Кинематическая вязкость, мм^2/с										
	0 ℃	10 ℃	20 ℃	30 ℃	40 ℃	50 ℃	60 ℃	70 ℃	80 ℃	90 ℃	100 ℃
МС-8П	22,35	19,56	16,76	13,97	13,03	12,57	12,11	11,18	11,18	11,18	11,18
МС-20	1003,07	717,14	381,86	207,69	125,73	71,71	47,50	31,67	24,21	17,70	17,70

На основе полученных данных построили графики зависимости кинематической вязкости от температуры (рис. 1–2)

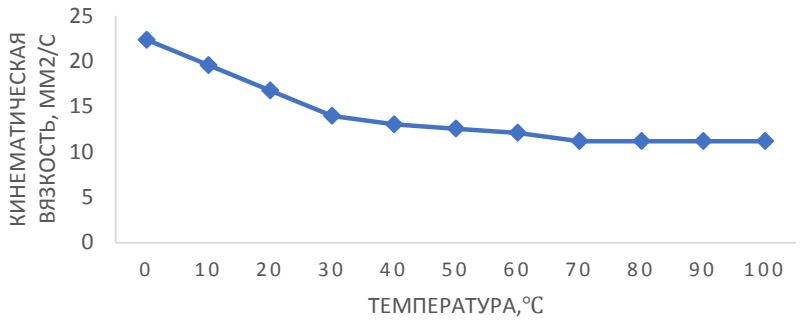


Рис. 1. График зависимости кинематической вязкости масла МС-8П от температуры

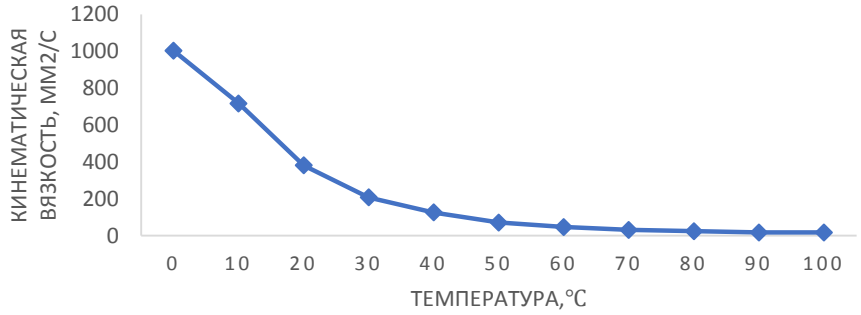


Рис. 2. График зависимости кинематической вязкости масла МС-20 от температуры

Индекс вязкости масел рассчитывали по формуле:

$$\text{ИВ} = \frac{\nu^{50}}{\nu^{100}}$$

где ИВ – индекс вязкости смазочного масла;

ν^{50} – кинематическая вязкость исследуемого масла при температуре 50 °С; мм^2/с

ν^{100} – кинематическая вязкость исследуемого масла при температуре 100 °С; мм^2/с

Путём вычислений установлены следующие значения индекса вязкости авиационных масел МС-20 и МС-8П соответственно:

$\text{ИВ}_{\text{МС-20}} = 4{,}05$

$\text{ИВ}_{\text{МС-8П}} = 1{,}12$

Для аппроксимации данных были выбраны два уравнения:

1) Формула Вальтера (ASTM)

$$\log\log(\nu t + 0{,}8) = A + B \cdot \log T,$$

где эмпирические коэффициенты:

$$A = \log\log(\nu 1 + 0{,}8) - b \cdot \log T\ ;\ B = \frac{\log\log(\nu 1+0{,}8)}{\log(\nu 2+0{,}8)} / \log(\frac{T1}{T2})$$

2) формула Рейнольдса-Филонова

$$\nu = \nu 1 \cdot exp^{-u*(T-T1)}.$$

Проведенные расчеты показали, что экспериментальные данные масел МС-20 и МС-8П хорошо согласуются с теоретической кривой зависимости вязкости от температуры, рассчитанной по формуле Рейнольдса-Филонова.

С повышением температуры масла экспоненциально понижается его вязкость, что может сказаться на работе технологических агрегатов. Масло должно как можно меньше изменять свою вязкость в связи с перепадами температур, т.е. сохранять свои свойства.

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

- Получена зависимость вязкости от температуры для смазочных масел МС-20 и МС-8П в интервале температур от 0 ℃ до100℃
- Вычислены значения кинематической вязкости смазочных масел МС-8П и МС-20 при различных температурах.
- Получены вязкостно-температурные зависимости технологических масел марок **МС-20 и** МС-8П в интервале температур от 0 ^{0}C до 100 ^{0}C и предложенные математические выражения для описания полученных зависимостей. Установлено, что вязкость исследуемых масел уменьшается с увеличением температуры.
- В результате установлено, что наилучшую сходимость с экспериментальными данными дает их аппроксимация с использованием уравнения Рейнольдса-Филонова.
- Полученные результаты рекомендуется учитывать при эксплуатации технического оборудования.

Библиографический список

1. Журавлев А. А., Савин Н. П., Филатова Н. О. Исследование зависимости вязкости моторного масла от температуры // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – Т. 12. – С. 82–86.

2. Коняев Е.А., Немчиков М.Л. Химмотология авиационных масел и гидравлических жидкостей // Минобрнауки России, МГТУ ГА. – М.: Изд-во МГТУ ГА, 2008. – 81 с.

3. Нуруллаева З. В., Бакиева Ш. К., Суяров М. Т. Эксплуатационные свойства смазочных масел и улучшение их присадками // Молодой ученый. – 2016. – № 8. – С. 274–276.

4. Барекян А.Ш. Основы гидравлики и гидропневмоприводов: учебное пособие. – 1-е изд. Тверь: 2006. – 84 с.

5. Чуркин В.А. Смазочные материалы: рекомендации к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 15.03.01 – “Машиностроение” (МШС) // Минобрнауки России, УрГУ. – Екб.: Изд-во УрГУ, 2015. – 14 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПЛОТНОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Сивирин А. А.[1], Карпов А. А.[2], Скоморощенко О. В.[2], Шубенкова Е. Г.[2]

[1] *БОУ г. Омска «Гимназия № 69 им. Чередова И. М.», Россия, г. Омск, просп. Карла Маркса, 24а*
[2] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11*

В XXI веке технологии являются важной составляющей жизни человека. Техника используется и на заводах, и в том, что с завода выпускается. Но техника нуждается в обслуживании, для чего используют смазочные масла. От плотности масла зависят гидравлические параметры: насколько эффективно будет нагнетаться давление, а соответственно поступление смазки к рабочим точкам по маслопроводам. Кроме того, от этой величины зависит теплообмен.

Смазочные масла, как и любые другие капельные жидкости, обладают таким свойством, как тепловое расширение, выраженное коэффициентом объемного расширения α_t и отражающее относительное изменение объема при изменении температуры на 1^{0}C

$$\alpha_t = \frac{\rho_0 - \rho_t}{\rho_0 \cdot \Delta t}.$$

Данное свойство масел необходимо учитывать при их хранении и эксплуатации, так как увеличение объема масла при нагревании может создавать избыточное давление внутри резервуара либо двигателя, что приводит к их деформации и последующему разрыву, а с уменьшением объема масла происходит уменьшение давления над его поверхностью и, следовательно, быстрое истирание деталей двигателя.

Одним из главных свойств качественных масел является способность сохранять относительное постоянство плотности в рабочем интервале температур. Особенно важно учитывать данное свойство при выборе смазочных материалов для агрегатов, работающих в условиях высоких температур, давлений и нагрузок. Одними из наиболее широко используемых в современной авиации и при эксплуатации газотурбинных, турбовинтовых и газоперекачивающих агрегатов являются следующие марки масел:

Масло МС-8П (ОСТ 38 101163-78) – наиболее часто применяемое масло на нефтяной основе с комплексом высокоэффективных присадок. Производят из западносибирских и смеси западносибирских и приуральских нефтей. Используют в составе маслосмесей с авиационным маслом МС-20 (в соотношении 25:75, 50:50 и 75:25) в турбовинтовых двигателях, а также для консервации маслосистем авиационных двигателей. Применяют в корабельных газотурбинных установках и в газоперекачивающих агрегатах.

Масло МС-20 (ГОСТ 21743–76) – масло селективной очистки. Применяют в поршневых двигателях самолетов; в составе маслосмесей с маслами МС-8, МС-8П (в различных соотношениях) в смазочных системах турбовинтовых двигателей; в осевых шарнирах втулок винтов вертолетов; для смазывания мотокомпрессоров газоперекачивающих агрегатов, а также в качестве базового компонента для некоторых моторных масел и смазок.

Цель работы: Исследовать зависимость плотности смазочных масел от температуры.

Задачи исследования:

1. Изучить теоретический материал по теме исследования;
2. Исследовать зависимость плотности масел марок МС-8П и МС-20 в интервале температур от –10 до 150 °С;
3. Сделать соответствующие расчеты;
4. Сформулировать выводы.

Для определения плотности небольшое количество смазочных материалов наливали в стакан, который затем помещали на настольную электроплиту. Температуру в стакане измеряли с помощью электронного термометра. Через каждые 10 °С произво

Расчет плотности производили по формуле:

$$\rho_i = \frac{m}{V},$$

где ρ_i – абсолютная плотность исследуемого образца масла при температуре i, кг/см^3;

i – температура пробы смазочного масла, °С;

m – масса пробы смазочного масла, кг;

V – объем пробы смазочного масла, м^3;

Полученные значения плотности при изменении температуры приведены в таблицах (см. табл. 1–4).

Таблица 1. Плотность смазочного масла МС-20 в интервале температур –10…60 °С

Температура, °С	–10	10	20	30	40	50	60
Плотность, кг/м^3	0,883	0,89	0,9	0,87	0,88	0,86	0,87

Таблица 2. Плотность смазочного масла МС-20 в интервале температур 70…130 °С

Температура, °С	70	80	90	100	110	120	130
Плотность, кг/м^3	0,86	0,9	0,85	0,85	0,857	0,857	0,853

Таблица 3. Плотность смазочного масла МС-20 в интервале температур 30…90 °С

Температура, °С	30	40	50	60	70	80	90
Плотность, кг/м^3	0,847	0,847	0,843	0,837	0,84	0,827	0,833

Таблица 4. Плотность смазочного масла МС-20 в интервале температур 100…150 °С

Температура, °С	100	110	120	130	140	150
Плотность, кг/м^3	0,827	0,827	0,82	0,82	0,827	0,82

Полученные зависимости плотности масел от температуры приведены на графиках (см. рис. 1, 2).

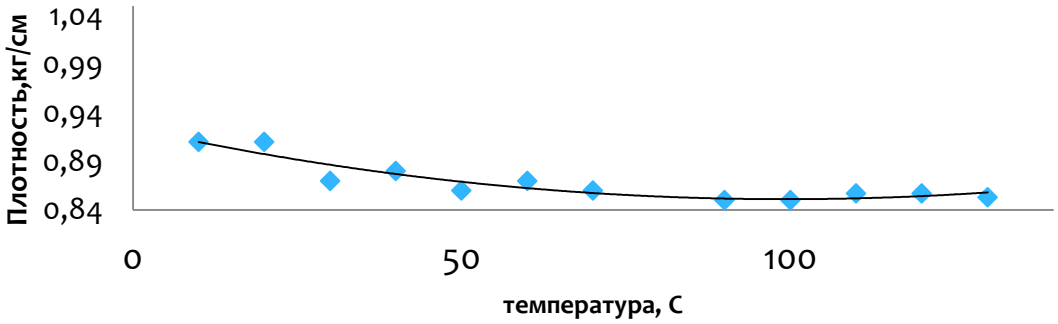


Рис. 1. График зависимости плотности авиационного масла марки МС-20 от температуры

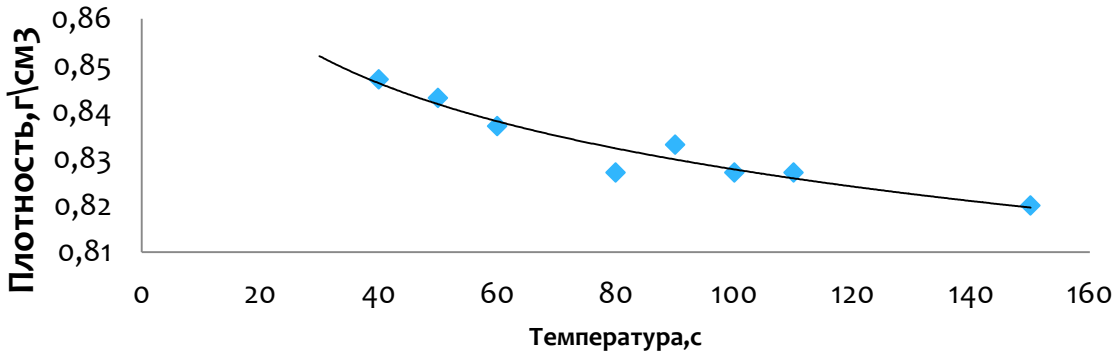


Рис. 2. График зависимости плотности авиационного масла марки МС-8П от температуры

Коэффициент объемного расширения рассчитали по формуле:

$$\alpha_{ср} = \frac{\sum_{t=1}^{n} \alpha_t}{n},$$

где $\alpha_{ср}$ – среднее значение коэффициента объемного расширения, измеренного в интервале температур t = (–10;160) ℃

n – число измерений;

α_t – коэффициент объемного расширения смазочного масла при температуре t (℃), причем

$$\alpha_t = \frac{\rho_0 - \rho_t}{\rho_0 \cdot \Delta t},$$

где α_t – коэффициент объёмного расширения смазочного масла, (1/град);

ρ_0 – плотность смазочного масла при температуре 20 ℃, кг/м^3

ρ_t – плотность смазочного масла при температуре t, кг/м^3.

Путём вычислений установлены следующие коэффициенты объемного расширения авиационных масел МС-20 и МС-8П соответственно:

$\alpha_{ср}$(МС-20) = 0,0018 (1/град)

$\alpha_{ср}$(МС-8П) = 0,0010 (1/град).

Согласно полученным данным плотность исследованных масел от температуры уменьшается экспоненциально

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

- Измерили зависимость плотности от температуры для смазочных масел МС-20 и МС-8П в интервале температур от –10 ℃ до150℃
- Установили, что плотность исследованных масел с увеличением температуры уменьшается нелинейно. В интервале температур от 100 до 130 ℃ для образца МС-20 практически не изменяется.
- Рассчитали коэффициент объемного расширения, для масел МС-20 и МС-8П он составил 0,0018 и 0,0010 1/град соответственно.
- Полученные результаты рекомендуется учитывать при эксплуатации технического оборудования и проектировании резервуаров хранения нефтепродуктов.

Библиографический список

1. В.М. Школьников, «Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение». – М.: «Химия», 1989.

2. Технология переработки нефти и газа. В 2-х частях. С. 1. Первичная переработка нефти / под ред. О.Ф. Глаголевой, В.М. Капустина. – М.: Химия, 2005.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ПОЧВЫ

Тигов И. М.[1], Александрова В. В.[2], Реховская Е. О.[2], Нагибина И. Ю.[2]

[1] *БОУ «Лицей № 149» (Россия, г. Омск, Заречный бульвар, 3А)*

[2] *ФГОУ ВО «Омский государственный технический университет» (Россия, г. Омск, пр-т Мира, 11)*

Каждый год растет объем добычи и масштабы транспортировки, переработки и потребления нефти и нефтепродуктов, что вызывает ухудшение экологической ситуации. Работа автотранспорта, предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, газообразные выбросы и сточные воды промышленных предприятий, опасные отходы, накапливающиеся на промышленных и муниципальных свалках – все эти загрязнения приводят к изменению химического состава и структуры почвы, вызывают перестройку почвенного профиля [1].

Нефтепродукты, являясь токсичными и нередко канцерогенными, пропитывают почвенные массы, при этом изменяется химический состав почвы, ее свойства и структура. Гидрофобные частицы нефти затрудняют поступление влаги к корням растений, продукты трансформации нефти резко изменяют состав почвенного гумуса [2]. На первых стадиях загрязнения это относится в основном к липидным и кислым компонентам. На дальнейших этапах за счет углерода нефти увеличивается содержание нерастворимого гумина. В результате изменяется окислительно-восстановительные условия, в почвенном профиле увеличивается подвижность компонентов гумуса и микроэлементов, наблюдается снижение и подавление фотосинтетической активности растений [3, 4].

В 2017 году на территории деятельности ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» было проведено обследование почв на содержание нефтепродуктов. Анализ нефтепродуктов в почвенных образцах осуществлялся в соответствии с РД 52.18.575-96 методом инфракрасной фотометрии. Определение pH выполнено в водной вытяжке согласно ГОСТ 17.5.4.01-84. Фоновое содержание нефтепродуктов для Омска установлено 40 мг/кг. В 23 % проб выявлено загрязнение, имеются пробы с опасным уровнем загрязнением. Только 9% обследованной территории экологической опасности для среды не представляет.

Способы очистки почв от загрязнений делятся на физические (удаление верхнего слоя грунта с загрязненных территорий, вывоз на полигон, внесение удобрений, мульчирование), химические (выщелачивание), термические и биохимические (применение бактерий в сочетании с вентиляцией почвы). В данной работе для снижения концентраций нефтепродуктов в почве выбран биопрепарат «Бациллосорбойл», выполняющий роль одновременно сорбента, мелиоранта-аэранта, структуропочвообразователя и агрохимиката. Полученные в результате наблюдений данные (табл. 1) показали снижение концентрации нефтепродуктах во всех опытах, что говорит об эффективности данного препарата.

Таблица 1. Результаты наблюдений эффективности использования биопрепарат «Бациллосорбойл»

Почвогрунты	Содержание нефтепродуктов в почве, мг/кг		Степень деструкции, %
	Начальное	Конечное	
Мерзлотные	32223	5130	84
Болотистые	109336	2738	97
Лесные	10164	1258	94
Торфяные	111364	6521	94

Для устранения причин загрязнения почв города нефтепродуктами необходимо предусматривать меры по охране почв и проводить оздоровление загрязненных участков в соответствии с нормативными документами, по согласованию с органами и учреждениями, осуществляющими государственный санитарно-эпидемиологический надзор, выдающими санитарно-эпидемиологическое заключение.

Библиографический список

1. Е.В. Климова, Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами // Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. – 2005. – № 2. – С. 289.

2. К.Г. Панкратова, В.И. Щелоков, Ю.Г. Сазонов, Определение содержания гумуса при загрязнении почв нефтепродуктами // Плодородие. – 2007. – № 4 (37). – С. 20–21.

3. А.В. Васильченко, Т.С. Воеводина, Проблема экологической оценки загрязнения почв нефтепродуктами // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10 (185). – С. 147–151.

4. M.V. Zabolotnykh, A.B. Suyunova, V.D. Conway, COMPARATIVE evaluation of the efficiency of biological products for cleaning-up of the Caspian coast soils polluted with oil products // International Journal of Pharmaceutical Research. – 2018. – Т. 10. – № 4. – P. 811–815.

СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА НЕФТЕХИМИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Тигов И. М.[1], Бабичева А. С.[2], Реховская Е. О.[2], Нагибина И. Ю.[2]

[1] *БОУ «Лицей № 149» (Россия, г. Омск, Заречный бульвар, 3А)*

[2] *ФГОУ ВО «Омский государственный технический университет» (Россия, г. Омск, пр-т Мира, 11)*

Вода в нефтеперерабатывающей промышленности является сырьем и источником энергии, используется как хладагент, экстрагент, растворитель. В результате производственной деятельности образуются сточные воды, загрязненные органическими и неорганическими веществами [1]. Одним из главных загрязнителей сточных вод предприятий нефтеперерабатывающего комплекса являются сульфаты. Допустимые концентрации сульфатов в промышленных сточных водах обусловлены в пределах от 0,1 мг/л до 1000 мг/л. Для снижения количественного сброса вредных веществ в водоемы необходимо применять наилучшие из доступных технологий, тем самым повысить качество сбрасываемых вод и снизить водозабор природных вод.

Реагентные методы, наряду с использованием сульфаредуцирующих бактерий наиболее перспективны для очистки локальных участков с высокой концентрацией сульфатов в воде [2, 3]. Геохимические барьеры являются экономичным решением в более крупных масштабах. Если сток достаточно сложного переменного состава, то становится необходимым применение комбинированных методов очистки, таких как реагентных, механических, электрохимических, сорбционных, физико-химических.

Нефтехимическое предприятие, рассматриваемое в рамках данной работы, не имеет своих очистных сооружений, следовательно, промышленные сточные воды по договору сбрасываются в коллектор городских очистных сооружений. Значит, требования к сбрасываемым стокам будут достаточно высокие. Результаты лабораторного контроля качества сточных вод нефтехимического предприятия по ряду компонентов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели качества сточных вод после очистных сооружений

Показатель	Максимальный показатель за 2018 г.	Показатель	Максимальный показатель за 2018 г.
pH	11	Фенол	1,05
ХПК	555	Этилбензол	0,1
Нефтепродукты	32,3	БПК	68,9
Сульфаты	1738	Нитраты	2,97

Рис. 1. Система обратного осмоса

За весь период наблюдения (2018 г.) выявлены значительные превышения допустимых значений концентраций сульфатов в очищенных сточных водах, что говорит о неэффективности очистки. Сейчас к наилучшим технологиям, позволяющим снизить количество сульфатов в сбрасываемой сточной воде, относятся процесс очистки воды методом обратного осмоса. Предложено модернизировать систему локальной очистки загрязненных сточных вод производства каучуков и латексов предприятия нефтехимического комплекса с помощью установки опреснения воды методом обратного осмоса (рис. 1).

В процессе обратного осмоса вода и растворенные в ней вещества разделяются на молекулярном уровне, при этом с одной стороны мембраны накапливается практически идеально чистая вода, а все загрязнения остаются по другую ее сторону. Эффективность очистки сточных вод данным методом составляет 98%. Концентрация сульфатов в сточной воде после очистки равна: 34,76 мг/дм^3.

Библиографический список

1. А.Г. Первов, Н.А. Матвеев, А.П. Андрианов, Изучение эффективности применения метода обратного осмоса для очистки сточных вод от нефтепродуктов и синтетических поверхностно-активных веществ // Научное обозрение. – 2015. – № 13. – С. 63–67.

2. В.И. Васильев, Е.А. Максимов, Инновационные способы и устройства для очистки нефтесодержащих сточных вод // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2014. – № 6. – С. 113–119.

3. Н.М. Кошак, С.В. Новиков, О.И. Ручкинова, Совершенствование схемы очистки сточных вод от отходов нефтехимического производства // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура.– 2016. – Т. 7. – № 4. – С. 51–63.

ВЛИЯНИЕ АВТОМАГИСТРАЛИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Тигов И. М.[1], Курбацкая М. Р.[2], Нагибина И. Ю.[2], Реховская Е. О.[2].

[1] *БОУ «Лицей № 149» (Россия, г. Омск, Заречный бульвар, 3А)*

[2] *ФГОУ ВО «Омский государственный технический университет» (Россия, г. Омск, пр-т Мира, 11)*

Развитие автомобильной промышленности неумолимо влечет за собой рост числа автотранспортных средств, которые являются загрязнителями окружающей природной среды, выбрасывая в атмосферы широкий спектр загрязняющих веществ. Таким образом, территория, примыкающая к дороге, является зоной с наибольшим содержанием вредных веществ. Наиболее интенсивно происходит загрязнение придорожной полосы на расстоянии до 30 метров от проезжей части.

Наиболее уязвимыми являются почвенная и водная среды, так как очистить загрязненные грунтовые и подземные воды технически очень сложно и практически нереально. Опасность загрязнения подземных вод заключается в том, что подземная гидросфера является конечным резервуаром накопления загрязнителей как поверхностного, так и глубинного происхождения [1].

Для исследования водного объекта, примыкающего к автомагистрали, был проведен физико-химический анализ. Отбор проб воды производился на 1 км в обе стороны от пункта водопользования в 5–10 м от берега на глубине 50 см [2].

Лабораторные исследования воды, взятой с поверхности реки, на изучаемом участке проводились на определение концентраций по двум загрязняющим компонентам: нефтепродукты и взвешенные вещества (таблица 1).

Таблица 1. Результаты анализа воды

№ пробы	Взвешенные вещества, мг/м	Нефтепродукты, мг/м
1	15,2	0,04
2	31,87	0,05
ПДК	10,5	0,5

Полученные значения концентраций взвешенных веществ превышают установленные нормативами качества воды для водных объектов рыбохозяйственного значения. Содержание нефтепродуктов в воде реки на исследуемом участке соответствует нормативным требованиям.

При исследовании почвы придорожной территории были взяты точечные пробы методом конверта по диагонали [3]. Точки расположены так, чтобы мысленно соединенные прямыми линиями, давали рисунок запечатанного конверта. Глубина составляла около 20 см.

Почвы исследованы на содержание в них бенз(а)пирена и нефтепродуктов (таблица 2).

Таблица 2. Результаты исследования почвы

Определяемые показатели	Нефтепродукты, мг/кг	Бенз(а)пирен, мг/кг
	1250	0,015
ПДК	1000	0,02

Согласно результатам лабораторных исследований почвы содержание нефтепродуктов превышат ПДК (высокий уровень загрязнения). По уровню концентраций бенз(а)пиреном превышений ПДК нет (допустимый уровень).

Для защиты водного объекта от загрязнения необходимо разместить очистные сооружения, что обеспечит очистку сточных вод, и позволит сбрасывать очищенные сточные воды непосредственно в водоемы или на рельеф.

Для защиты почв и земель, прилегающих к участку автодороги, от размывов подтоплений и загрязнения поверхностными стоками необходима установить водоотвод из сборных бетонных блоков.

Библиографический список

1. Хотунцев Ю. Л. Человек, технологии, окружающая среда. – М.: Устойчивый мир, 2001. – 224 с.
2. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартинформ, 2013. – 35 с.
3. ГОСТ 28168-89 Почвы. Отбор проб. – М.: Стандартинформ, 2008. – 10 с.

СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Тигов И. М.[1], Желтов П. А.[2], Нагибина И. Ю.[2], Реховская Е. О.[2].

[1] *БОУ «Лицей № 149» (Россия, г. Омск, Заречный бульвар, 3А)*
[2] *ФГОУ ВО «Омский государственный технический университет» (Россия, г. Омск, пр-т Мира, 11)*

В Российской федерации насчитывается огромное количество нефтяных и газовых месторождений, на которых функционируют буровые установки, насосы, которые выкачивают нефть, нефтеперегонные станции. Все это работает благодаря дизель-генераторным установкам, вырабатывающим электроэнергию. В свою очередь они наносят колоссальный ущерб атмосфере, выбрасывая загрязняющие вещества.

Выброс происходит с отработавшими газами, картерными газами, а также в результате испарения топлива. Около 98 % отработавших газов составляют вещества, содержащие углерод. Оставшуюся часть составляют окислы азота. Токсичными компонентами являются оксиды углерода и азота, углеводороды, бензол, бенз(а)пирен, сера, твердые частицы, сажа, толуол, свинец, полициклические ароматические углеводороды. Все эти вещества отрицательно влияют на окружающую среду и оказывают токсический эффект на здоровье человека.

На сегодняшний день существует большое количество различных природоохранных технологий: фильтрация выхлопных газов, улучшение качества топлива, применение альтернативного экологически чистого вида топлива.

Для выбора оптимального способа очистки выхлопных газов для определенных территорий, например, труднодоступных районах, следует учитывать некоторые критерии, описанные далее. Простота в эксплуатации (фильтр должен быть прост в эксплуатации и при монтаже, демонтаже), срок службы, универсальность (оборудование должно либо поставляться для определенного вида ДГУ, либо иметь заводские переходники для включения его в выхлопную систему), эффективность (оборудование должно существенно уменьшать количество загрязняющих веществ в выхлопе ДГУ), стоимость.

Таким критериям больше всего отвечают фильтры каталитической очистки выхлопных газов. Принцип работы таких фильтров основан на глубоком окислении (дожигания) оксида углерода и углеводородов, восстановлении оксидов азота на поверхности полиметаллического катализатора до уровня установленного гигиеническими нормативами.

Особенность катализаторов нового поколения состоит в использовании интерметаллидных элементов (Ni, Co, Cr, Fe, Mn и др. без благородных металлов), которые получают с помощью самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Эффективность катализатора наглядно подтверждают кривые зависимости активности катализатора при различных температурных условиях (рисунок 1).

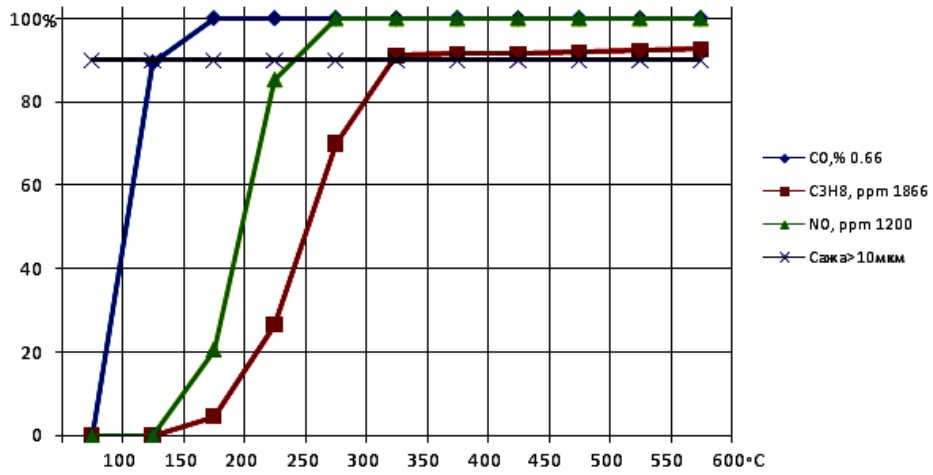


Рис. 1. Кривые зависимости активности катализатора от температуры

Учитывая высокую температуру выхлопных газов дизель-генераторной установки (порядка 450–600 ºС), эффективность работы катализатора достаточно велика для основных опасных загрязнителей.

Проблема снижения выбросов вредных веществ особенно актуальна для России, т.к. она входит в список стран лидеров по добыче нефти и газа.

Библиографический список

1. З.И. Губонина, В.Н. Крынкина, В.С. Кунин. Промышленная экология. Защита атмосферного воздуха: учебное пособие для вузов. – М.: МГОУ, 2012. – 140 с.

2. А. А. Ляпков, Е. И. Ионова. Техника защиты окружающей среды. – Изд. 2-е, перераб. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. – 317 с.

3. О.Б. Тихомирова, Д.В. Лысич, Особенности использования топлива со сверхнизким содержанием серы в дизельных двигателях // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРИД-ИОНОВ В БУТИЛИРОВАННОЙ ПРИРОДНОЙ ВОДЕ

Товма С. А.[1], [2], Нор Д. В.[2], Кашко Я. Е.[3], Нор П. Е.[4]

[1] *БОУ г. Омска СОШ № 45, Россия, г. Омск, ул. Василия Товстухо, 4А*
[2] *БОУ СОШ № 49 Россия, г. Омск, ул. Фугенфирова, 5А*
[3] *БОУ СОШ № 65 Россия, г. Омск, ул. Омская, 75*
[4] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11*

Минеральная вода является натуральным ресурсом из подземных источников и обладает лечебными свойствами, оказывает на организм человека оздоравливающе действие за счет содержания полезных биологически активных компонентов и химического состава.

Химический состав подземных вод характеризуется содержанием наиболее распространенных трех анионов – карбонат-, сульфат- и хлорид-ионов и трех катионов – кальция, магния и натрия. Соотношение этих элементов и определяет основные свойства подземных, в том числе, минеральных вод.

По анионам выделяют три типа воды: 1) гидрокарбонатные; 2) сульфатные; 3) хлоридные и ряд промежуточных – гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатно-хлоридные, хлоридно-сульфатные и более сложного состава. По соотношению с катионами они могут быть кальциевыми или магниевыми, или натриевыми, или смешанными кальциево-магниевыми, кальциево-магниево-натриевыми и др. При характеристике гидрохимических типов на первое место ставится преобладающий анион [1].

В данной работе определяли содержание хлорид-ионов в бутилированных природных/минеральных водах с помощью титриметрического метода, по методике (ПНД Ф 14.1:2:3.96-97) измерений массовой концентрации хлоридов в пробах природных и сточных вод аргентометрическим методом в диапазоне от 10 до 5000 мг/дм^3.

Метод основан на образовании труднорастворимого осадка хлорида серебра при прибавлении раствора нитрата серебра к анализируемой воде. После полного осаждения хлоридов избыток ионов серебра реагирует с индикатором – хроматом калия – с образованием красновато-оранжевого осадка хромата серебра. Титрование проводят в нейтральной или слабощелочной среде (pH 6–9), поскольку в кислой среде не образуется хромат серебра, а в сильнощелочной возможно образование оксида серебра Ag_2O.

Материалом для исследования послужили бутилированные воды следующих марок: «Чистоозерье», «Пилигрим», «Святой источник», «Сибирский бор», «Карачинская», «Омская».

Результаты проведенного исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание хлорид-ионов в природных водах

Наименование бутилированной воды	Содержание хлорид-ионов, (мг/ дм^3)
Омская	2928,75
Чистоозерье	532,5
Карачинская	426,0
Святой источник	79,9
Пилигрим	40,8
Сибирский бор	26,63

Результаты исследования показали соответствие фактического содержания хлорид-ионов в исследуемых водах, содержанию заявляемому производителем природной/минеральной питьевых вод. Все значения в мг/ дм^3 соответствуют интервалу значений указанному на этикетке.

По степени минерализации минеральные воды делят на лечебные, столовые и лечебно-столовые воды. Столовые воды обычно содержат не более 1 грамма на литр солей, и именно поэтому их можно употреблять для питься ежедневно. Лечебно-столовые воды рекомендуется употреблять для нерегулярного питья или в лечебных целях. Лечебные же минеральные воды рекомендуются применять только при назначении врача.

Многие минеральные воды оказывают лечебное воздействие на организм больных благодаря минерализации, особенностям химического состава и другим показателям. Минеральная вода лечит, но для каждого диагноза необходим определенный вид природного ресурса. Поэтому разумное употребление минеральной природной воды принесет пользу, а не вред.

Библиографический список

1. Короновский, Н. В. Основы геологии / Н. В. Короновский, А. Ф. Якушова. – М.: Высшая школа, 1991. – 416 с.

2. Нор П.Е. Экология [Электронный ресурс] / Нор П.Е., Карпова Е.О., Нагибина И.Ю., Холкин Е.Г. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013.

3. Sanatoriums.com [сайт]: Классификация минеральных вод. https://www.sanatoriums.com/ru/blog/172-klassifikatsiya-mineralnyh-vod (дата обращения: 06.01.2020 г.).

ОЦЕНКА ПЕНООБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СМАЗОЧНЫХ И МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Шкрумеляк В. А.[1], Конюхова А. Д.[2], Скоморощенко О. В.[2], Шубенкова Е. Г.[2]

[1] *БОУ ОО "МОЦРО № 117", Россия, г. Омск, ул. Андрианова, 4*
[2] *ФГБОУ ВО ОмГТУ, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11*

Смазочные масла и смазки представляют собой продукты переработки нефти и применяются в узлах трения машин и агрегатов для предотвращения и снижения износа поверхностей и уменьшения потерь при трении. Масла охлаждают трущиеся поверхности и предохраняют поверхности от срока службы машин и агрегатов. Для улучшения эксплуатационных характеристик в масла добавляют различные присадки, например, цинк диалкилдитиофосфат (ZDDP), дитиофосфат молибдена (MoDTP) и т.д. Масла могут различаться по происхождению (минеральные и синтетические), а также по предназначению (моторные,

трансмиссионные, гидравлические, индустриальные, трансформаторные и т.д.). Современные масла – это смазочные материалы сложного состава, в которых присадки могут занимать 10–15% от состава. Различные типы двигателей и агрегатов предполагают применение различных типов масла, исходя из их физико-химических показателей.

Вспениваемость масла зависит от его природы. Некоторые компоненты и присадки, которые в большинстве своем являются поверхностно-активными веществами, обычно повышают склонность масла к пенообразованию. Склонность к пенообразованию значительно увеличивается при наличии в масле воды. При повышении температуры и уменьшении плотности масла, склонность к пенообразованию увеличивается, а стабильность пены уменьшается. Моющие, вязкостные, противоизносные, антикоррозионные присадки усиливают вспениваемость масел. Вспениваемость масел снижают путем добавления к ним 0,0001 % некоторых силиконов.

Склонность масла к пенообразованию может быть серьезной проблемой в таких системах, как высокоскоростные зубчатые передачи, системах перекачки большого объема, системах смазки разбрызгиванием. Недостаточное смазывание, кавитация и потери смазочного материала при переполнении могут привести к механической поломке. Наблюдающееся иногда чрезмерное вспенивание моторного масла в двигателе препятствует нормальной работе агрегатов. Например, пена может заполнять картер и выбиваться наружу через уплотнения. Это приводит к понижению уровня масла, в результате чего смазываемый механизм может выйти из строя, иногда это сопряжено и с пожарной опасностью. Таким образом, пенообразующая способность смазочных и моторных масел является важным параметром готовой продукции.

Целью данной работы является оценка пенообразующей способности масел МС-20, МС-8П, Mobil Super 3000 5W-40.

Задачи исследования:

1. Изучить литературу по данному вопросу, подобрать методики оценки пенообразования масел;
2. Исследовать пенообразующую способность масел МС-20, МС-8П, Mobil Super 3000 5W-40;
3. Проанализировать результаты и сделать соответствующие выводы.

Для определения вспениваемости применяют аппарат, схема которого приведена на рисунке 1.

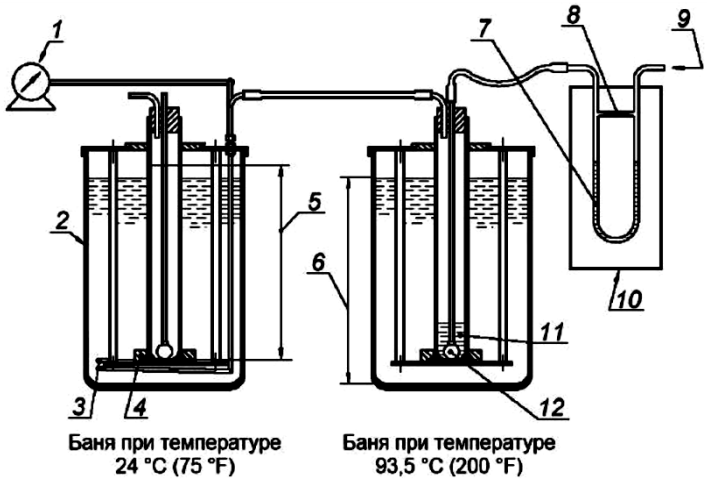


Рис. 1. Аппарат для определения вспениваемости:
1 – прибор для измерения объема; 2 – сосуд из пирекса (боросиликатного стекла) диаметром приблизительно 300 мм, высотой приблизительно 450 мм; 3 – змеевик из медной трубки, не менее одного оборота; 4 – свинцовое кольцо; 5 – высота до отметки 1000 $см^3$ *от 335 до 385 мм; 6 – необходимый минимальный уровень жидкости для погружения цилиндра до отметки 900* $см^3$*; 7 – н-бутилфталат; 8 – капилляр диаметром 0,4 мм, длиной 16 мм; 9 – поток воздуха расходом от 89 до 99* $см^3$*/мин; 10 – дифманометр-расходомер; 11 – мерный цилиндр вместимостью 1000* $см^3$*; 12 – диффузор газа*

Наливают в цилиндр вместимостью 1000 $см^3$ пробу до метки 190 $см^3$. Погружают цилиндр в баню с температурой (24,0±0,5) °С до метки 900 $см^3$. После достижения маслом температуры бани помещают в цилиндр диффузор с трубкой подачи воздуха, подсоединяют источник воздуха, устанавливают скорость потока воздуха (94±5) $см^3$/мин и нагнетают чистый сухой воздух через диффузор в течение 5 мин ± 3 с, отсчет времени начинают с образования первых воздушных пузырьков, поднимающихся от диффузора. Затем отключают поток воздуха, отсоединяют трубку от расходомера и сразу же регистрируют объем пены (объем между поверхностью масла и верхней поверхностью пены). Цилиндр с пробой выдерживают в течение 10 мин

± 10 с и снова регистрируют объем пены. Если после отключения подачи воздуха через 10 мин пена разрушается до 0 $см^3$, испытание прекращают и результат определения стабильности пены записывают как 0.

Также в литературе описана и рекомендована нестандартная методика, по которой оценивают *вспениваемость масел* для гидравлических систем автомобиля на Горьковском автозаводе. Испытуемую жидкость при заданной температуре интенсивно перемешивают со скоростью 2400–2500 об/мин в течение 15 мин. Для перемешивания в работе использовали гомогенизатор DAIHAN WiseTis HG15D (Корея). После этого с помощью секундомера фиксируют время до полного исчезновения образовавшейся пены. В данной работе мы воспользовались последней методикой, объем масел для исследования составлял 50 мл, результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики исследованных масел

Масло	$V_{кон}$, мл	Коэфф. вспенивания	Плотность масла, $кг/м^3$	Кинематич. вязкость масла, $мм^2/с$	Время исчезнов. пены, мин
МС-20	51	1,02	900	20,5	159
МС-8П	53	1,06	875	8,0	21,5
Mobil Super 3000 5W-40	51	1,02	855	14	54,5

Пенообразующая способность масел характеризуется коэффициентом вспенивания, который представляет собой отношение высоты столба пены и масла к высоте столба масла до вспенивания.

Согласно полученным результатам установлено, что меньшим коэффициентом вспенивания характеризуются масла МС-20 и Mobil Super, но у МС-20 устойчивость пены выше, чем устойчивость пены Mobil Super практически в 3 раза, а по сравнению с МС-8П в 8 раз. Это объясняется существенным различием этих марок масел по вязкости и плотности, эти параметры выше у масла МС-20. Несмотря на то, что у масла МС-8П коэффициент вспениваемости выше, устойчивость пены очень низкая и время разрушения пены невелико, как невелика и вязкость данного масла по сравнению с остальными исследованными образцами. Известно, что некоторые компоненты и присадки, которые в большинстве своем являются поверхностно-активными веществами, обычно повышают склонность масла к пенообразованию. Такое же действие оказывают следы воды.

Выводы:

1. Исследована пенообразующая способность масел МС-20, МС-8П, Mobil Super 3000 5W-40, рассчитаны коэффициенты вспенивания масел.

2. По времени исчезновения проведена оценка устойчивости пен, менее устойчивую пену дает масло МС-8П.

3. Установлена корреляция между вязкостью и плотностью масел и устойчивостью пены, с повышением вязкости и плотности масел увеличивается устойчивость пен.

Библиографический список

1. Мчедлов-Петросян, О.П. Коллоидные поверхностно-активные вещества / О.П. Мчедлов-Петросян [и др.] // Учебно-методическое пособие. – 2-е изд. – Харьков, ХНУ имени В.Н. Каразина, 2009. – 72 с.

2. Стабилизация пен. http://www.xumuk.ru/colloidchem/199.html

3. Справочник химика 21. https://www.chem21.info/info/8914/.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНВЕРСИИ УГЛЕРОДА ВОДЯНЫМ ПАРОМ
Мракин А. Н., Селиванов А. А., Пащенко Д. И., Минервина Т. В., Батраков П. А., Ермолаев Д. В. 6

К ВОПРОСУ О СТАБИЛИЗАЦИИ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛОННЫ РЕКТИФИКАЦИИ БУТАДИЕНА – СЫРЦА ОТ ВЫСОКОКИПЯЩИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПУСКОВЫЕ ПЕРИОДЫ УСТАНОВКИ ВЫДЕЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ БУТАДИЕНА – 1,3
Сутягинский М. А., Потапов Ю. А., Дубок В. Н., Суворов А. П. 7

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОРИСТОГО УГЛЕРОДА, ПОЛУЧЕННОГО ТЕМПЛАТНЫМ СИНТЕЗОМ
Горбунова О. В., Бакланова О. Н., Гуляева Т. И., Тренихин М. В. 8

СЛОИСТЫЕ ДВОЙНЫЕ ГИДРОКСИДЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ, КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ АЛЬДОЛЬНО-КРОТОНОВОЙ КОНДЕНСАЦИИ ФУРФУРОЛА С КЕТОНАМИ
Мироненко Р. М., Степанова Л. Н., Кузнецова М. К., Бельская О. Б. 9

ВЛИЯНИЕ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ НА САМОСБОРКУ И ТЕРМИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ МЕТАЛЛОРГАНИЧЕСКОГО СЛОЯ ТЕРЕФТАЛЕВОЙ КИСЛОТЫ И ЖЕЛЕЗА НА ПОВЕРХНОСТИ CU(100)
Фадеева А. И., Горбунов В. А., Стишенко П. В. 11

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПРИ ПОПАДАНИИ ТОПЛИВА
Корнеев С. В., Бакулина В. Д., Ярмович Я. В., Пашукевич С. В., Пермяков В. Б. 11

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С ЦЕТАНОПОВЫШАЮЩЕ ПРИСАДКОЙ
Бердникова А. А., Майлин М. В., Франция Е. В. 12

ИЗОМЕРИЗАЦИЯ *н*-ГЕПТАНА И *н*-ГЕКСАНА НА КАТАЛИЗАТОРАХ Pt/WO_3-ZrO_2
Шкуренок В. А., Смоликов М. Д., Кирьянов Д. И., Яблокова С. С., Доронин А. О., Белый А. С. 14

ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ В УГЛЕВОДОРОДНОЙ МАТРИЦЕ
Сальников В. С., Исаев К. А., Усова С. В. 15

ОКИСЛИТЕЛЬНОЕ ДЕГИДРИРОВАНИЕ ЭТАНА В ЭТИЛЕН НА КАРБОКАТАЛИЗАТОРЕ
Княжева О. А., Бакланова О. Н., Сигаева С. С., Лавренов А. В., Шляпин Д. А., Навесова Е. П. 16

ИССЛЕДОВАНИЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТОВ MOR И BEA В РЕАКЦИИ ИЗОМЕРИЗАЦИИ Н-ГЕКСАНА
Джикия О. В., Смоликов М. Д., Белопухов Е. А., Яблокова С. С., Доронин А. О., Белый А. С. 17

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАДИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ НАНЕСЕННЫХ НА ОКСИД АЛЮМИНИЯ $Pt/SO_4/ZrO_2$ КАТАЛИЗАТОРОВ ИЗОМЕРИЗАЦИИ Н-ГЕКСАНА
Бикметова Л. И., Казанцев К. В., Затолокина Е. В., Смоликов М. Д., Белый А. С. 18

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ДЕПРЕССОРНОЙ ПРИСАДКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ
Павлова А. А., Машнич В. В., Франция Е. В. 19

СТРОЕНИЕ, ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ В КАТАЛИЗЕ АКТИВИРОВАННЫХ БИНАРНЫХ СПЛАВОВ Al-Cu
Арбузов А. Б., Дроздов В. А. 20

РАЗРАБОТКА СОСТАВА МОЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ, С ВВЕДЕНИЕМ ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ НАГАРА С ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ
Пятанова П. А., Алексеева А. А. 21

ПРЕВРАЩЕНИЕ МЕТАНА С УГЛЕВОДОРОДАМИ РАЗНЫХ КЛАССОВ НА АЛЮМОПЛАТИНОВОМ КАТАЛИЗАТОРЕ В НЕОКИСЛИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ
Казакова О. А., Виниченко Н. В., Кроль О. В., Федоров А. Е., Белый А. С. 23

НЕОКИСЛИТЕЛЬНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ МЕТАНА НА МОДИФИЦИРОВАННОМ ЗОЛОТОМ АЛЮМОПЛАТИНОВОМ КАТАЛИЗАТОРЕ
Казакова О. А., Виниченко Н. В., Голинский Д. В., Затолокина Е. В., Гуляева Т. И., Федоров А. Е., Белый А. С. 24

ИССЛЕДОВАНИЕ Pt/In-BEA-Al_2O_3 КАТАЛИЗАТОРОВ В ИЗОМЕРИЗАЦИИ Н-ГЕПТАНА
Трегубенко В. Ю., Белопухов Е. А., Калашников И. М., Белый А. С. 25

ВОЗМОЖНОСТИ ИОНООБМЕННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЗЭ ИЗ КОНЦЕНТРАТА ПОСЛЕ ФТОРИДНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ КАТАЛИЗАТОРА КРЕКИНГА
Погодаева М. А., Богданова А. О., Горбулич Л. А., Борисов В. А., Адеева Л. Н. 25

ПОЛУЧЕНИЕ КОНЦЕНТРАТА РЗЭ ИЗ ОТРАБОТАННОГО КАТАЛИЗАТОРА КРЕКИНГА СУЛЬФАТНО-ФТОРИДНЫМ СПОСОБОМ
Лосева Е. А., Борисов В. А., Богданова А. О., Адеева Л. Н. 26

УМЕНЬШЕНИЕ ВЫМЫВАЕМОСТИ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК
Корнеев С. В., Чуденкова В. Н., Смолоногов Д. С., Пашукевич С. В. 27

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПРОЧНОСТИ АЛЮМООКСИДНЫХ НОСИТЕЛЕЙ КАТАЛИЗАТОРОВ
Белопухов Е. А., Трегубенко В. Ю. 28

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА МЕТОДОМ ГАЗОГИДРАТНОГО ОБОГАЩЕНИЯ
Николаев А. И., Портнягин А. С., Калачева Л. П., Соловьёва С. А. 29

САМОСБОРКА МОНОСЛОЕВ 1,3,5-ТРИСПИРИДИЛ-БЕНЗОЛА И ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ Au(111): РЕШЕТОЧНАЯ МОДЕЛЬ
Горбунов В. А., Соловьева О. С., Стишенко П. В., Фадеева А. И. 30

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
Канева О. Н., Райская Е. А., Шарун И. В., Кривонос О. И., Бельская О. Б. 31

ФАЗОВОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТЕРМИНИРОВАННОГО КИСЛОРОДА НА ЛИСТЕ MXENES V_2C
Каюмова Т. Р., Стишенко П. В. 32

ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ СОСТАВА ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ ОЖИЖЕНИЯ САПРОПЕЛЯ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА ЭТАНОЛОМ В СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
Кривонос О. И., Копытов М. А., Бельская О. Б. 33

УТИЛИЗАЦИЯ ИОНОВ-ХЛОРА В ВОДНОЙ ВЫТЯЖКЕ БУРОВОГО ШЛАМА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ
Белявская О. Ш., Двойникова А. В., Слуцкая К. А. 34

ПОЛУЧЕНИЕ УДОБРЕНИЙ ИЗ ОТРАБОТАННОЙ КИСЛОТНОЙ СМЕСИ ПРОИЗВОДСТВА НИТРАТОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ
Фазуллин Р. Х., Халитов Р. А., Хузиахметов Р. Х. 35

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ СИБУНИТА НА АКТИВНОСТЬ Ru-Cs/Sib КАТАЛИЗАТОРОВ СИНТЕЗА АММИАКА
Борисов В. А., Федотова П. А., Иост К. Н., Шляпин Д. А. 36

ОСНОВЫ ЗАМКНУТЫХ ХЛОРАММОНИЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ
Борисов В. А., Крайденко Р. И. 37

ГИДРОИЗОМЕРИЗАЦИЯ БЕНЗОЛСОДЕРЖАЩЕЙ БЕНЗИНОВОЙ ФРАКЦИИ
Калашников И. М., Белопухов Е. А., Смоликов М. Д., Кирьянов Д. И., Белый А. С. 38

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭТАНА С МЕТАНОМ И ПРОДУКТАМИ ЕГО ПИРОЛИЗА НА РЕЗИСТИВНОМ ФЕХРАЛЕВОМ КАТАЛИЗАТОРЕ В ПРИСУТСВИИ НЕБОЛЬШИХ КОЛИЧЕСТВ КИСЛОРОДА
Сигаева С. С., Осипов А. Р., Шляпин Д. А. 38

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ФТОРИРОВАНИЯ ОКСИДА ИТТЕРБИЯ ФТОРИДОМ АММОНИЯ
Войтов И. А., Рожков Н. Н., Мельникова В. В., Осипов А. Р., Борисов В. А., Сигаева С. С., Шляпин Д. А. 39

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОРЕАКТОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА
Сорокина И. А., Фефелов В. Ф. 40

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК БИТУМА, АРМИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ ННОТРУБКАМИ
Запороцкова И. В., Бахрачева Ю. С., Борознина Н. П. 42

РАЗРАБОТКА ФОРМАЛИЗОВАННОЙ СХЕМЫ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРОЦЕССЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО СОСТАВА ГАЗОВ
Назарова Г. Ю., Ивашкина Е. Н., Орешина А. А., Калиев Т. А., Аркенова С. Б., Антонов А. В. 43

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТАНОВКИ ВИСБРЕКИНГА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО ВЫХОДА СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ
Пантелеев А. С., Гусева Т. А., Калашникова О. В. 44

ПРОБЛЕМА БИООБРАСТАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ
Чеснокова М. Г., Шалай В. В., Шевлякова А. А., Мулькеев Е. Н., Никитин С. В. 45

Секция 2

ТОНКИЙ ОРГАНИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ

N-(3-ОКСОАЛКИЛ)- и N-(3-ОКСОАЛКЕНИЛ)АМИДЫ В СИНТЕЗЕ ПИРИДИН-2(1H)-ОНОВ И ИХ ГИДРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ
Фисюк А. С. 48

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ ЭНАНТИОМЕРНО ЧИСТЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ
Краснов В. П., Левит Г. Л. 48

СИНТЕЗ ХИНОЛИЗИДИНОНОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ 1,3,3-ТРИМЕТИЛ-3,4-ДИГИДРОИЗОХИНОЛИНОВ С АЗЛАКТОНАМИ
Шувалов В. Ю., Цыбукова Т. А., Фисюк А. С. 49

ФОТОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ 4*H*-ТИЕНО[3,2-*c*]ХРОМЕНА
Ульянкин Е. Б., Костюченко А. С., Черненко С. А., Фисюк А. С. 50

СИНТЕЗ ПИРИДО[3,4-*c*]ЦИННОЛИНОВ И ПИРИДО[3,2-*c*]ЦИННОЛИНОВ РЕАКЦИЕЙ АЗОСОЧЕТАНИЯ
Фисенко А. Ю., Шувалов В. Ю., Сагитуллина Г. П. 51

СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ ТИЕНОПИРИДИНА НА ОСНОВЕ 2-АРИЛ-3-АМИНОТИОФЕНОВ
Самсоненко А. Л., Костюченко А. С., Фисюк А. С. 52

ПЕРЕГРУППИРОВКА 5-МЕТИЛ-7-ФЕНИЛ[1,3]ОКСОЗОЛО[5,4-*B*]ПИРИДИНА
В 2-МЕТИЛБЕНЗО[*C*][1,7]НАФТЕРИДИН-4(3*H*)-ОН В ПРИСУТСТВИИ КИСЛОТ ЛЬЮИСА
Мамонова Т. Е., Шацаускас А. Л., Фисюк А. С. 53

СИНТЕЗ 2-ФЕНИЛ-*2H*-ПИРАЗОЛО[3,4-*b*]ХИНОЛИНА
Быструшкин М. О., Ульянкин Е. Б., Черненко С. А., Костюченко А. С., Фисюк А. С. 55

СИНТЕЗ 1,3-ЗАМЕЩЕННЫХ ИМИДАЗОЛИДИНДИОНОВ
Заблоцкий Ю. А., Шацаускас А. Л., Фисюк А. С. 56

СИНТЕЗ 2-ФЕНИЛ-6Н-АНТРА[1,9,8-cdef][1,7]НАФТИРИДИН-6,11(10Н)-ДИОНА
Костюченко А. С., Абайдулина Д. Р., Шацаускас А. Л., Ульянкин Е. Б., Фисюк А. С. 58

Секция 3
ХИМИЧЕСКОЕ И НЕФТЕГАЗОВОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТУПЕНИ НА ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ
ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА С КОМБИНИРОВАННОЙ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТЬЮ
Гордеева У. С., Демихов К. Е., Очков А. А. 60

ПРОГРАММНО-АППРАТАНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
ТЕПЛООБМЕНА В ТРАНСПОРТНЫХ ЕМКОСТЯХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ИЗМЕНЕНИИ
ИХ ОРИЕНТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ
Гошля Р. Ю., Юша В. Л. 61

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ХОЛОДИЛЬНОГО ВИНТОВОГО КОМПРЕССОРА
ПРИ ПОНИЖЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНДЕНСАЦИИ
Носков А. Н., Шапошникова М. 63

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ
ПРИ ТЕРМОСТАТИРОВАНИИ
Цыганков А. В., Лысёв В. И., Рубцов А. К., Шилин А. С. 64

ОПТИМИЗАЦИЯ ОСЕРАДИАЛЬНОГО РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ
СТУПЕНИ ОДНОМЕРНЫМИ, КВАЗИТРЕХМЕРНЫМИ И CFD-МЕТОДАМИ
Галеркин Ю. Б., Дроздов А. А., Соловьёва О. А. 65

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ С ПРИМЕСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ
Виниченко В. С., Михайлов А. Г., Пышный И. П., Иванова А. Е., Слободина Е. Н. 66

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОПРЯЖЕННЫХ СИСТЕМ РАЗДЕЛЕНИЯ (ОХЛАЖДЕНИЯ) ГАЗОВ
Хабибова Н. З., Москвичёв С. С., Наумочкин А. Е. 67

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА В СТЕНДОВЫХ
И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ
Ваняшов А. Д., Ермолович А. А., Толбин С. А. 69

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА «КОМПРЕССОР-СЕТЬ» ДЛЯ СИСТЕМЫ С ПОРШНЕВЫМ
КОМПРЕССОРОМ И ЛИНИЕЙ РЕЦИРКУЛЯЦИИ
Ваняшов А. Д., Крупников А. В. 72

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЯ ВИБРАЦИИ КОРПУСА
ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА
Аистов И. П., Штриплинг Л. О., Свищев А. В., Смирнов В. Д. 73

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ ДВИЖЕНИЯ ЗАПОРНОГО ОРГАНА САМОДЕЙСТВУЮЩЕГО КЛАПАНА
Бусаров И. С., Гусельников Д. В., Бурлаков Ю. А., Соломкин А. А., Иванов А. В., Синицын Н. Г. 75

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ НА ТЕПЛОВОЙ ПОТОК КОНДЕНСАТОРА АВТОНОМНОГО КОНДИЦИОНЕРА ВОЗДУХА
Карагусов В. И., Вакуленко А. С. 76

РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОЙ МАССЫ ХЛАДОНОСИТЕЛЯ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ТЕПЛОПРИТОКОВ ОБЪЕКТА И ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧИЛЛЕРА
Тимофеевский А. Л., Сулин А. Б., Рубцов А. К. 77

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЯ НАСАДОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОЙ НАСАДКИ
Мракин А. Н., Пащенко Д. И., Карпилов И. Д., Батраков П. А. 79

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ КОЛЬЦЕВОГО ПРЯМОТОЧНОГО ЭЖЕКТОРА
Демихов К. Е., Очков А. А., Кеменов В. Н., Нестеров С. Б. 80

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЗАЗОРА МЕЖДУ ПОКРЫВАЮЩИМ ДИСКОМ РАБОЧЕГО КОЛЕСА И КОРПУСОМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА НА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОРАСХОДНОЙ МОДЕЛЬНОЙ СТУПЕНИ
Яблоков А. М., Штаничев Р. А., Садовский Н. И., Кожухов Ю. В. 81

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООТДАЧИ АДДИТИВНЫХ КОЖУХОТРУБНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ
Пугачук А. С., Калашникова Е. О., Фоминых Н. К., Синкевич М. В. 83

ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ЦИКЛЫ ВНЕШНЕГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГЕЛИЯ И ОЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА
Мехрпуйя М., Гхорбани Б., Зайцев А. В., Лисовцов А. О. 84

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ И ИССЛЕДОВАНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУШНОЙ ВИНТОВОЙ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ ВКУ 400-8
Великанов Е. П., Маянков И. В. 85

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РУБАШКИ ОХЛАЖДЕНИЯ ТИХОХОДНОЙ СТУПЕНИ ДЛИННОХОДОВОГО ПОРШНЕВОГО АГРЕГАТА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИЛИНДРА
Аистов И. П., Вансович К. А., Бусаров С. С., Титов Д. С., Кузьмицкий А. А. 87

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛОРАСХОДНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ
Бураков А. В., Перминов А. С., Галеркин Ю. Б., Котлов А. А., Левихин А. А., Побелянский А. В. 88

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МИКРОКРИОГЕННОЙ СИСТЕМЫ ИНТЕГРАЛЬНОГО ТИПА
Бушуев М. А., Громов Н. А. 89

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АММИАЧНОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ЦИКЛА НА ОСНОВЕ СЖАТИЯ В ОБЛАСТИ ВЛАЖНОГО ПАРА
Юша В. Л., Чернов Г. И., Садвакасов Д. Х. 90

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МИКРООХЛАДИТЕЛЕЙ ГИФФОРДА – МАКМАГОНА И ВАКУУМНЫХ КРИОГЕННЫХ НАСОСОВ
Яловнаров В. В. 91

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ НА ПОТРЕБЛЯЕМУЮ МОЩНОСТЬ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ ОТКАЧКИ СКОРОСТНОГО ТРАНСПОРТА
Калинкин Д. А., Белова О. В., Горюнов С. В., Вульф М. Д. 93

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ, ДЕЙСТВУЮЩИХ В РАБОЧЕЙ ПОЛОСТИ ВИНТОВОГО ОДНОРОТОРНОГО КОМПРЕССОРА С ОКРУЖНЫМ ПРОФИЛЕМ ЗУБА ОТСЕКАТЕЛЯ
Пронин В. А., Кузнецов Ю. А., Жигновская Д. В., Кованов А. В. 94

СИСТЕМА РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ МОБИЛЬНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ
Юша В. Л. Чернов Г. И., Рубцов Д. В., Терентьев С. Л. 96

РАЗВИТИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТУПЕНИ МЕТОДОМ УНИВЕРСАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
Галеркин Ю. Б., Дроздов А. А., Солдатова К. В., Уцеховский А. А., Соловьёва О. А. 97

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОПАТОЧНЫХ ДИФФУЗОРОВ CFD МЕТОДАМИ
Галеркин Ю. Б., Дроздов А. А., Петухов Е. П., Семёновский В. Б., Уцеховский А. А. 98

АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТНОВОК НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ
Евдокимов И. С., Земцов А. Е., Титов И. Е., Мартемьянов Д. Б. 99

МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИИ НАПРАВЛЯЮЩИХ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ КОРОТКОГО ДИФФУЗОРА ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА
Филькин Н. Ю., Глухих А. К., Погорелов К. А., Иванова Ю. А., Ляшко В. А. 100

ВАКУУМНАЯ СУШКА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ
Копцев Н. Н., Косенков Д. В., Пальцев А. В., Аляев В. А. 102

ТИПОВОЙ РАСЧЕТ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА В СИСТЕМЕ MATHCAD
Рындин В. В., Гребенкин В. В. 103

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА ВЫСОКОНАПОРНОЙ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТУПЕНИ С ВХОДНЫМ НАПРАВЛЯЮЩИМ АППАРАТОМ МЕТОДОМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ
Карабанова В. В., Ваняшов А. Д., Юша В. Л. 104

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ КЛАПАНОВ ТИХОХОДНЫХ ДЛИННОХОДОВЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТУПЕНЕЙ
Бусаров И. С., Гусельников Д. В., Бурлаков Ю. А., Карпусь В. С., Попков Н. И., Круглей А. О. 105

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ КИПЕНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ
Фот А. Н., Титов С. А., Барков М. И. 107

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ АБСОРБЦИОННЫХ БРОМИСТОЛИТИЕВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН
Малинина О. С., Бараненко А. В. 108

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО КАВИТАЦИОННОГО ЗАПАСА ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЗАЧИСТКИ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА
Январев И. А., Ваняшов А. Д., Крупников А.В. 110

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ ТИПА РУТС, ОСНОВАННОГО НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ БАЛАНСЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТЕЛА ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ
Исаев А. А., Райков А. А., Бурмистров А. В., Саликеев С. И., Капустин Е. Н., Голоднов С. Ю. 111

СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ТРУБОПРОВОДАХ ТИХОХОДНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК
Бусаров С. С., Дёмин И. С., Кобыльский Р. Э., Зуев С. А., Кузьмицкий А. А. 112

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСКОВЫХ РАБОЧИХ КОЛЕС
В МАЛОРАСХОДНЫХ НЕФТЯНЫХ НАСОСАХ
Жарковский А. А., Иванов О. А., Клюев А. С. 114

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ
КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ
Доронина Ю. В., Маловик К. Н., Скатков А. В. 115

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РОСТА ДАВЛЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ
И СТЕПЕНИ ИЗОЛЯЦИИ ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОЖУХОТРУБНОГО
ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА НА ВЕЛИЧИНУ ЕГО ВНЕШНИХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ
Калашников А. М., Чернов Г. И., Юша В. Л., Капелюховская А. А. 116

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ ТУРБИНЫ ВНУТРИЦИКЛОВОГО СЖАТИЯ
ТОПЛИВНОГО ГАЗА В МОДЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ
Калашников Д. А., Борисов Ю. А., Чернышов А. В., Калашникова Е. О. 118

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ
В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД
Карагусов В. И. 119

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТЫ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА
НА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ
Котлов А. А., Попова Е. Ю., Кузнецов Л. Г., Бураков А. В. 120

ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ СЕТОЧНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ МАЛОРАСХОДНЫХ
ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТУПЕНЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЯЗКОГО ПОТОКА
Карташов С. В., Кожухов Ю. В. 121

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНОСТИ ТРЕНИЯ
В РОТАЦИОННО-ПЛАСТИНЧАТЫХ МАШИНАХ
Райковский Н. А., Юша В. Л., Кузнецов К. И., Коренев В. А., Карпусь В. С. 122

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ ПОДВЕСА СОСУДА
КРИОГЕННЫХ КОНТЕЙНЕРОВ-ЦИСТЕРН ДЛЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОЗАЩИТЫ
Зиновьева А. В., Насонова Е. Е., Рогальский Е. И., Царёв В. Г. 124

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРА Y+ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
КОНФУЗОРНОГО ТЕЧЕНИЯ ВО ВХОДНОМ УСТРОЙСТВЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА
Гилева Л. В., Аксенов А. А., Кожухов Ю. В., Петров А. Ю. 125

СОЗДАНИЕ ПАРАМЕТРИЗИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ОНА
ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ В ВИРТУАЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ
Галеркин Ю. Б., Рекстин А. Ф., Маренина Л. Н., Солдатова К. В. 127

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ГЕОМЕТРИИ РАДИАТОРА С ЛОКАЛЬНОЙ
ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКОЙ
Сулин А. Б., Рябова Т. В., Никитин А. А. 128

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕГО ПАТРУБКА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ
Сергаева М. Ю., Строков И. М., Сергаев А. А. 129

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНЫХ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ
И СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
Низовский А. И., Белькова С. В., Рогожников В. Н. 131

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ НА ОПОРАХ И МЕТОДЫ
ИХ СНИЖЕНИЯ
Мустафин А. Х., Сейтенова Г. Ж., Кабылкаиыр Д. Н. 133

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ В ТРУБОПРОВОДЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК
Косьмина А. О., Пугачук А. С., Мюллер Д. В., Чернышев А. В., Тухбатуллин Ф. Г. 134

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА
Попов Л. В., Царёв В. Г. 135

ВОДООХЛАЖДАЮЩАЯ ХОЛОДИЛЬНАЯ МАШИНА
Зайцев Ю. В. 136

ПОВЫШЕНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ВХОДНОГО КОЛЛЕКТОРА АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
Филькин Н. Ю., Седельников П. В., Калижников В. Ю., Финагин К. В., Кучеров А. С. 138

РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Белова О. В., Вульф М. Д. 139

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ
Петров Е. Т., Круглов А. А., Паршин В. 140

ХОЛОДИЛЬНАЯ УСТАНОВКА ОДНОВРЕМЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА И ХЛАДОНОСИТЕЛЯ
Пиндзин Л. Р. 141

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТА В ОКОЛОСВАЙНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ФУНДАМЕНТОВ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ И НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛЕЙ
Грузин А. В. 143

РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЯ В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАЗИТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ
Поташев А. В., Поташева Е. В., Хисамеев И. Г. 144

МЕТОД РАЗРАБОТКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ
Пугачук А. С. 145

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛОВОГО НАСОСА В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА
Татаренко Ю. В., Рачковский Н. О., Жилкин А. Ю., Сухов П. С. 146

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАНЖЕТНОГО УПЛОТНЕНИЯ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ РАБОЧЕЙ КАМЕРЫ
Бусаров И. С., Недовенчаный А. В., Кобыльский Р. Э., Демин И. С., Соломкин А. А. 147

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО КАВИТАТОРА В СОСТАВЕ СИСТЕМ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ
Григорьев С. В., Верещак К. А., Поляков Р. Н. 149

К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ БИОТОПЛИВА ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ СЫРЬЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ
Евдокимов Н. С., Смышляева А. А. 151

ЗАЛИВНОЙ КРИОАДСОРБЦИОННЫЙ ВАКУУМНЫЙ НАСОС С БОЛЬШИМ РЕСУРСОМ РАБОТЫ
Розанов Л. Н., Скрябнев А. Ю. 153

МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ВОЗДУШНОГО ФИЛЬТРА С КОРОТКИМ ДИФФУЗОРОМ
Филькин Н. Ю., Глухих А. К., Ляшко В. А. 153

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ И НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ РАСЧЕТЕ ВЯЗКОГО ПОТОКА В МАЛОРАСХОДНЫХ СТУПЕНЯХ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА МЕТОДАМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОДИНАМИКИ
Карташов С. В., Кожухов Ю. В. 155

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ
Серов А. А., Цыганков А. В., Хилдаяти А. 156

ВИБРОИЗОЛЯЦИОННАЯ ОПОРА С ЭФФЕКТОМ КВАЗИНУЛЕВОЙ ЖЕСТКОСТИ С КОРРЕКТОРОМ ЖЕСТКОСТИ НА БАЗЕ РЕЗИНОКОРДНОЙ ПНЕВМОПРУЖИНЫ
Бурьян Ю. А., Силков М. В. 157

ИСПЫТАНИЯ УПОРНОГО ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ МУЛЬТИПЛИКАТОРНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА
Соколов Н. В., Максимов Т. В., Хадиев М. Б., Сагбиев И. Р. 159

МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ И ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ БЕЗЛОПАТОЧНЫХ ДИФФУЗОРОВ В ВИРТУАЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ
Галеркин Ю. Б., Соловьева О. А., Уцеховский А. А. 160

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДА ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА РЕЖИМ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ХЛАДАГЕНТА
Максименко В. А., Черенко А. А. 161

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТУПЕНИ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО С УЧЕТОМ ПЕРЕТЕКАНИЙ В ЗАЗОРЕ
Иванов Д. Г., Свичкарь Е. В., Ключаров В. С., Никулин Н. К., Шемарова О. А., Кеменов В. Н., Дегтярева Т. С. 162

АНАЛИЗ ПРОФИЛЕЙ ВИНТОВЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ
Малов Д. А., Свичкарь Е. В., Ключаров В. С., Никулин Н. К., Шемарова О. А., Нестеров С. Б., Автономова И. В. 164

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕПЕСТКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСАХ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ
Ли Шенбо, Сытин А. В., Шутин Д. В., Савин Л. А. 165

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВОДЫ В ФАКЕЛЕ ПРИ РАСПЫЛЕНИИ В ВАКУУМЕ
Круглов А. А., Тазитдинов Р. Р. 166

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ С НОЧНЫМ РАДИАЦИОННЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ
Цой А. П., Бараненко А. В., Грановский А. С., Цой Д. А., Корецкий Д. А., Джамашева Р. А. 167

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЛОЖНОГО ТЕПЛООБМЕНА В КАНАЛЕ ПРИ ГОРЕНИИ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА
Теребилов С. В., Таран М. А., Лупенцов В. В. 168

ГАЛОГЕНОЗАМЕЩЕННЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ТЕХНИКЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР
Цветков О. Б., Лаптев Ю. А., Митропов В. В., Просторова А. О., Шарков А. В. 169

КОМПЛЕКСНОЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗМАСЛЯНОГО СПИРАЛЬНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА
Тюрин А. В., Райков А. А., Саликеев С. И., Бурмистров А. В., Капустин Е. Н. 170

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ПРОТОЧНОЙ ПОЛОСТИ ВИХРЕВОГО СТРУЙНОГО УСТРОЙСТВА
Усс А. Ю., Чернышев А. В., Пугачук А. С., Тухбатуллин Ф. Г. 171

ПРИМЕНЕНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РОСТА УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН ДЛЯ ТОЛСТОСТЕННЫХ СОСУДОВ
Вансович К. А., Аистов И. П., Беселия Д. С., Нахлесткин А. А. 173

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ
Проскуряков Н. Е., Лопа И. А. 174

РАЗРАБОТКА МЕТОДА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ
Максименко В. А., Евдокимов В. С., Калита В. С. 176

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА НАГНЕТАТЕЛЯ РУТС С ЭЖЕКТОРНОЙ ПРИСТАВКОЙ И ПЕРЕПУСКОМ ГАЗА ЧЕРЕЗ ТОРЦЕВЫЕ ПРОФИЛИРОВАННЫЕ ОКНА НА КОРПУСЕ
Визгалов С. В., Ибраев А. М., Волков М. В., Идиятуллин Б. Ф., Хисамеев И. Г. 177

ТЕХНОЛОГИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕДПОМПАЖНОГО СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА
Кожухов Ю. В., Лебедев А. А., Яблоков А. М., Нгуен Минь Хай 178

СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЁТА ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ РОТОРОВ ВИНТОВЫХ КОМПРЕССОРОВ
Якупов Р. Р., Мустафин Т. Н., Хамидуллин М. С., Хисамеев И. Г., Аляев В. А. 180

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗОН ВРАЩАЮЩЕГОСЯ СРЫВА И СКОРОСТИ ИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА
Кожухов Ю. В., Лебедев А. А., Янин И. С., Нгуен Минь Хай 181

ТЕПЛО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА ПРИ ВНУТРИКАНАЛЬНОМ КИПЕНИИ ХЛАДАГЕНТОВ
Зайцев А. В., Малышев А. А., Куадио К. Ф., Малинина О. С., Лисовцов А. О. 182

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА С СУЩЕСТВУЮЩИМИ ЛИНЕЙНЫМИ ПРИВОДАМИ ТИХОХОДНЫХ ОДНОСТУПЕНЧАТЫХ ПОРШНЕВЫХ АГРЕГАТОВ
Татевосян А. А., Бусаров С. С., Замиралова Т. А. 183

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ АГРЕГАТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОИЗВОДСТВА
Родичев А. Ю., Поляков Р. Н., Горин А. В., Токмакова М. А. 185

Секция 4

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АДГЕЗИОННЫХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ СКИ-3
Шишкина Н. Н., Закирова Л. Ю. 188

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ МНОГОЦИКЛОВОЙ ПРОКАТКЕ СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ AL-CU
Галкин В. И., Палтиевич А. Р., Галкин Е. В. 189

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ВЕЩЕСТВ, МИГРИРУЮЩИХ ИЗ ПРОБОК НА ОСНОВЕ БРОМ-БУТИЛКАУЧУКА В ЛЕКАРСТВЕННЫЕ СРЕДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩИХ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
Хакимуллин Ю. Н., Симонова Н. Н., Закирова Л. Ю. 190

ИЗУЧЕНИЕ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ MgAl ДВОЙНЫХ ОКСИДОВ МЕТОДАМИ ЭПР-СПЕКТРОСКОПИИ МОЛЕКУЛ-ЗОНДОВ
Юрпалов В. Л., Степанова Л. Н., Дроздов В. А., Бельская О. Б. 191

ТОЛЩИНА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ
Юров В. М., Еремин Е. Н., Гученко С. А. 192

ЭФФЕКТИВНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ Ni(Mg)AlO_x ДЛЯ РЕАКЦИИ ГИДРИРОВАНИЯ ФУРФУРОЛА
Кобзарь Е. О., Степанова Л. Н., Леонтьева Н. Н., Бельская О. Б. 193

ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ МЕМБРАНАМИ НА ОСНОВЕ КАНАЛЬНОГО КРЕМНИЯ
Болотов В. В., Ивлев К. Е., Князев Е. В., Пономарева И. В., Росликов В. Е. 194

ПОЛУЧЕНИЕ НИТРИДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ СИНТЕЗА СЖИГАНИЕМ В ВОЗДУХЕ СМЕСЕЙ НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ С ПЕНТАОКСИДАМИ ЭЛЕМЕНТОВ V ГРУППЫ
Чудинова А. О., Ильин А. П. 196

ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ РАСПЛАВА ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА
Филиппов Ю. О., Еремин Е. Н., Семко В. И., Филиппов М. Ю. 196

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
Акимов В. В., Путинцева А. Р., Сидоренко Д. Д., Руппель З. Ю., Лаврова И. Е. 198

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ
Корусенко П. М., Несов С. Н., Болотов В. В., Стенькин Ю. А., Соколов Д. В., Ивлев К. Е. 199

РАБОТА ВЫХОДА, ПОВЕРХНОСТНАЯ ЭНЕРГИЯ И СВОЙСТВА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ПОКРЫТИЙ
Еремин Е. Н., Юров В. М., Олешко В. С., Гученко С. А. 200

НОВЫЙ СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
Негров Д. А., Путинцев В. Ю., Путинцева А. Р., Сидоренко Д. Д., Руппель З. Ю., Лаврова И. Е. 201

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОГНЕВЗРЫВОПРЕГРАДИТЕЛЯ
Пантюхова К. Н., Бургонова О. Ю., Филиппов Ю. О., Уляшева Г. П. 202

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛИ 15Н8Г6М3ФТБ
Еремин Е. Н., Лосев А. С., Пономарев И. А., Бородихин С. А., Кузьмин Н. О., Филиппов М. Ю. 204

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ 10Г7М3С2АФТЮ
Еремин Е. Н., Лосев А. С., Пономарев И. А., Бородихин С. А., Семко В. И., Кузьмин Н. О. 205

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИИМИДА С РАЗНЫМИ ВИДАМИ ПТФЭ-НАПОЛНИТЕЛЯ
Панин С. В., Ло Цзянкунь, Корниенко Л. А., Буслович Д. Г., Алексенко В. О. 206

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОЙ МАТРИЦЫ ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА
Панин С. В., Нгуен Дык Ань, Корниенко Л. А., Буслович Д. Г., Лернер М. И. 207

СПОСОБ СИНТЕЗА НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ Pd/MgO КАК ФАКТОР РЕГУЛИРОВАНИЯ ЕЕ СВОЙСТВ В ПРОЦЕССЕ ГИДРИРОВАНИЯ АЦЕТИЛЕНА
Глыздова Д. В., Ильина Е. В., Карнаухов Т. М., Шляпин Д. А., Ведягин А. А. 209

МОДИФИКАЦИЯ МУНТ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕ:О ПЛАЗМЫ
Болотов В. В., Ивлев К. Е., Кан В. Е., Князев Е. В., Макушенко Р. К., Сачков В. А. 210

НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ВОДЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕМ РАСПЛАВОВ ПОЛИАМИДА-6 И ЕГО СМЕСЕЙ
Малахов С. Н., Чвалун С. Н. 211

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИКАТОРА НА СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ РЕЗИН
Жансакова К. С., Еремин Е. Н., Русских Г. С. 212

ВЛИЯНИЕ БИОМОДИФИЦИРОВАННОГО ГЛЮТЕНА НА СВОЙСТВА ГЛЮТЕНОВОЙ ПЛЕНКИ ДЛЯ ЛАМИНИРОВАНИЯ КАРТОНА
Захарова Н. Л., Канарский А. В., Захаров И. В., Файзуллин И. З., Вольфсон С. И. 213

БИОРАЗЛАГАЕМОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ГЛЮТЕНА НА ОСНОВУ ДЛЯ ПАРАФИНИРОВАННОЙ БУМАГИ
Захарова Н. Л., Канарский А. В., Захаров И. В., Файзуллин И. З., Вольфсон С. И. 214

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ, ТЕКСТУРНЫХ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПОСЛЕ ТЕРМОГАЗОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
Сырьева А. В., Суровикин Ю. В., Резанов И. В., Лавренов А. В. 215

МАТЕРИАЛ ВОДОРОДНЫХ КАРТРИДЖЕЙ НА ОСНОВЕ АКТИВИРОВАННОГО АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МОЩНОСТЬЮ 10÷100 Вт
Низовский А. И., Грибов П. А., Рогожников В. Н., Калинин Ю. В. 216

МЕТОД ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАСТЕЙ ПИТТИНГООБРАЗОВАНИЯ
Виноградова С. С., Ахметова А. Н., Тазиева Р. Ф. 217

СВОЙСТВА МАСЛОБЕНЗОСТОЙКИХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ СМЕСИ АБС-ПЛАСТИКА С СОПОЛИМЕРОМ БУТАДИЕНА И АКРИЛОНИТРИЛА
Хасанова А. Д., Вольфсон С. И., Хусаинов А. Д., Борейко Н. П., Егоров А. С. 218

АДСОРБЦИОННЫЕ КРИОГЕННО-ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ С СОРБИРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВ ЦЕОЛИТОВ И МЕДИ
Кузнецов П. А., Просторова А. О., Третьяков В. П., Яковицкая М. В. 219

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЗИН НА ОСНОВЕ ГИДРИРОВАННЫХ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ СТАРЕНИИ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ
Хорова Е. А., Мышлявцев А. В. 220

ВЛИЯНИЕ СВЕРХЭЛЕКТРОПРОВОДНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОДА СУПЕРКОНДЕНСАТОРА
Резанов И. В., Суровикин Ю. В., Лавренов А. В. 222

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ПРОЦЕССЕ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ С ТЕРМИЧЕСКИМИ ЦИКЛАМИ СВАРКИ
Сараев Ю. Н., Нестерук Д. А., Семенчук В. М., Непомнящий А. С. 223

Секция 5
МОНИТОРИНГ, ДИАГНОСТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ

АВТОМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ОБЪЕКТАХ
Васина М. В., Нор П. Е., Костыря А. Н. 226

ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД УГЛЕВОДОРОДАМИ
Вершинин В. И. 227

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТЫ УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА БЕНЗИНОВОЙ ФРАКЦИИ НА КАТАЛИЗАТОРЕ R-264 В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ
Власова Л. А., Дюсембаева А. А. 228

МОНИТОРИНГ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ
Голик В. В., Земенков Ю. Д., Гладенко А. А. 230

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК
Дёмко А. И., Семенов О. Ю. 231

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СМАЗОЧНОЙ СИСТЕМЫ И ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ
Денисов А. С., Гребенников А. С., Гребенников С. А., Снарский С. В., Носов А. О. 232

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ПРИЕМНЫХ ВАЛОВ ЭКСТРУЗИОННОЙ МАШИНЫ НА СВОЙСТВА РУКАВНЫХ ПЛЕНОК ПЭВД ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УПАКОВКИ
Ефремов Н. Ф., Будникова О. А., Канаичева А. В., Трапезникова О. В. 234

ИННОВАЦИОННЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДИКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ И РИСКАМИ В СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА
Земенкова М. Ю., Гладенко А. А., Земенков Ю. Д. 235

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ
Зуга И. М., Хомченко В. Г., Кужель А. Н., Овчинников П. А., Строев А. О. 236

МОДЕРНИЗАЦИЯ БЛОКА РЕГЕНЕРАЦИИ РАСТВОРИТЕЛЯ ИЗ РАСТВОРА ДЕАСФАЛЬТИЗАТА НА УСТАНОВКЕ 36/1 №3 ООО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-СМ» «ОЗСМ» С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ
Иващенко М. Н., Дюсембаева А. А. 237

СИСТЕМА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ УСТАНОВКИ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ
Китов. С. И., Гуровский А. И., Фарунцев С. Д. 239

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА ИМПЕДАНС ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ С ВСТРЕЧНО-ШТЫРЕВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ
Козлов А. Г., Фадина Е. А. 240

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ВВОДА СЫРЬЯ В ОТПАРНЫЕ КОЛОННЫ НА УСТАНОВКЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА
Копылова Д. В., Демин А. М., Дюсембаева А. А. 242

ОПТИМИЗАЦИЯ СКАЛЯРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ТРАНСПОТИРОВКИ НЕФТИ
Лысенко О. А., Симаков А. В. 243

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ
Митрякова О. Л., Нагорнова И. В., Варепо Л. Г. 244

МЕТОД ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИИ В ОЦЕНКЕ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРИЗУЮЩИХСЯ ПЛАСТИН И ФОРМ ФЛЕКСОГРАФСКОЙ ПЕЧАТИ
Могинов Р. Г., Ворожцов А. Л., Баблюк Е. Б. 245

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
Муромцев Д. Ю., Грибков А. Н., Залукаева Н. Ю., Белоусов О. А., Беляев В. П., Трапезников Е. В. 246

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА OPENFOAM ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УВЛАЖНЯЮЩЕГО РАСТВОРА С ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ БУМАГ
Орлова Е. Ю., Целлмер Х., Ходес А. 247

ПОИСК НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АММИАКА И ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ
Реховская Е. О., Нагибина И. Ю. 248

УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПЕЧАТАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ФЛЕКСОГРАФСКОЙ ФОРМЫ ПРИ ВНЕШНЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ
Роев Б. А., Могинов Р. Г. 250

ДИАГНОСТИКА И ОЧИСТКА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕФТЕПРОВОДОВ
Суходолов А. С. 251

СНИЖЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ ПОСРЕДСТВОМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВНЕПЛАНОВЫХ ПРОСТОЕВ СКВАЖИН С ПОМОЩЬЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
Тигнибидин А. В., Панин Ю. Н., Русанова А. Д. 253

ИНФОРМАЦИОННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ УТЕЧКИ ГАЗА В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ
Ураксеев М. А., Важдаев К. В., Сагадеев А. Р. 254

К ПРОБЛЕМЕ КООРДИНАЦИИ ЛОКАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПО МЕТОДУ ЯВНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ
Ху Вен-Цен, Беляев П. С., Варепо Л. Г., Кожабекова П. А., Усенова А. Ж. 255

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПО МЕТОДУ ЯВНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ
Ху Вен-Цен, Беляев П. С., Варепо Л. Г., Изтаев Ж. Д., Маханова З. А. 257

ОЦЕНКА УДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ФИЛЬТРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ ДЕНСИТОМЕТРИИ
Литунов С. Н., Немирова Л. Ф., Сысуев И. А., Ташпулатов С. Ш., Черунова И. В., Гребенников И. О., Колпаков З. М. 258

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Демин А. М., Горчакова А. А., Науменко А. П., Одинец А. И. 259

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Клопов В. В., Николаева Е. В. 260

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО РАСТВОРА (CDTE)0,25(ZNSE)0,75 И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ГАЗОВОМ АНАЛИЗЕ
Подгорная О. Т., Подгорный С. О., Скутин Е. Д., Муромцев И. В. 261

КВАРЦЕВЫЙ СЕНСОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР
Гошля Р. Ю., Третьяков А. В. 262

Секция 6

ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА НАКОПЛЕНИЕ СЕРЫ В ХВОЕ ЕЛИ СИБИРСКОЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ОМСКА
Архипов В. Д, Иванова Н. В., Воронцова М. А. 266

ВАЛИДАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ В ПРИЛОЖЕНИИ К ЗАДАЧАМ ВОДОРОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
Зорина И. Г., Белова О. В. 267

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ БУРОВЫХ ШЛАМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОБОВЫХ КУЛЬТУР (НА ПРИМЕРЕ КЛЕВЕРА)
Зимнухов М. А., Плотникова А. Е. 267

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕШЛАМОВ
Колот К. В., Чеснокова М. Г. 269

АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, СПОСОБСТВУЮЩИХ ВСПУХАНИЮ АКТИВНОГО ИЛА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ
Абдрахманова А. С., Самарская Ю. В., Чеснокова М. Г. 270

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФУЗОРИИ PARAMECIUM CAUDATUM НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ
Чеснокова М. Г., Самарская Ю. В., Абдрахманова А. С. 271

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА
Журавский Б. В., Квасов И. Н. 272

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ, С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕРМИКУЛЬТУР
Плеханова А. В., Михайлиди М. В., Чачина С. Б. 273

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕМБРАННЫХ БИОРЕАКТОРОВ (МБР) В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД КАК ОДИН ИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ
Гоголева Н. А., Белькова С. В. 275

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ
Заика К. А., Вагапова М. Н., Гаглоева А. Е. 276

МОНИТОРИНГ СВЕРХНОРМАТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В НАСЕЛЕННОМ ПУНКТЕ
Штриплинг Л. О., Баженов В. В., Баженова Н. С. 277

ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
Клёстер А. Е., Кучук Е. А. 279

Секция 7

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ В ТОНКОМ СЛОЕ
Кудрявцев С. А., Герценштейн И. Ш. 282

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАСОЧНОГО СЛОЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ФОРМ ТРАФАРЕТНОЙ ПЕЧАТИ СТРУЙНЫМ СПОСОБОМ УФ ОТВЕРЖДАЕМЫМИ КРАСКАМИ LH-100 НА ПРИНТЕРЕMIMAKIUJF-3042HG
Голунов А. В., Ланочкин А. С. 283

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ
Паршакова С. С., Яблонская А. А., Колбина Е. Л. 284

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВОЙ И ГИБРИДНОЙ ПЕЧАТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭТИКЕТОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ
Коновалов Е. А. Колбина Е. Л. 287

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОТДЕЛКИ ОБЛОЖЕК И ПЕРЕПЛЕТНЫХ КРЫШЕК
Корнилов И. К., Курбасова М. В., Яганова М. В. 288

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИКАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЛЮМИНОФОРОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПЕЧАТНОЙ ПРОДУКЦИИ
Паршакова С. С., Литунов С. Н., Колбина Е. Л. 291

СЛУЧАЙНО-ТОЧЕЧНАЯ АВТОСТЕРЕОГРАММА
Кузьмина П. А., Бурковская К. В., Тощакова Ю. Д. 293

Секция 8

НАУЧНЫЕ РАБОТЫ СТАРШЕКЛАССНИКОВ В ОБЛАСТИ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА РАЗВИТИЕМ ПТЕНЦА КРЯКВЫ В ДОМАШНИХ УСЛОВИЯХ
Анфиногенова Л. А., Шишковский В. Б., Дроздова Н. А. 296

ЯНТАРЬ. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАТУРАЛЬНОСТИ КАМНЯ
Бабец П. Е., Дроздова Н. А. 297

ИССЛЕДОВАНИЕ НАБУХАНИЯ ПОЛИМЕРОВ В СМАЗОЧНЫХ МАСЛАХ
Богданов А. С., Сафиулова В. Р., Сорокина Н. И., Шубенкова Е. Г. 298

КИНЕТИЧЕСКАЯ ЗАРЯДКА ДЛЯ ГАДЖЕТОВ
Гембух Э. А., Рогачев Е. А. 300

ЗАВИСИМОСТЬ ВЫХОДА ПРОДУКТА ЭЛЕКТРОЛИЗА СУЛЬФАТА МЕДИ (II) ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ
Гордеева С. В. 302

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОЭЖЕКТОРНОЙ УСТАНОВКИ
Груздев А. С., Бортникова А. А., Рогачев Е. А. 303

ЗАВИСИМОСТЬ МАССЫ СГОРЕВШЕГО САХАРА ОТ НАЛИЧИЯ СОЛЕЙ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРОВ
Гудкова В. Д., Яринская Л. Г. 304

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОТ В ФРУКТОВЫХ СОКАХ
Дубицкий К. Ю., Картавина А. С., Сорокина Н. И., Шубенкова Е. Г. 305

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЫХОДА ПРОДУКТА ЭЛЕКТРОЛИЗА СУЛЬФАТА МЕДИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ
Жигало Д. А. 308

ОСОБЕННОСТИ РАЗВЕДЕНИЯ КРОЛИКОВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОГО ЛИЧНОГО ХОЗЯЙСТВА
Зеленкин Е. М., Сергеева О. В. 309

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ РАСТВОРОВ СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ
Казанцев Н. И., Додонова А. С., Сорокина Н. И., Шубенкова Е. Г. 311

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ
Калушина Е. Д., Рогачев Е. А., Варфоломеев В. Ю. 313

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАНТНЫХ ПЕЧЕЙ
Касимова А. Б., Рогачев Е. А.,Бурнашев А. Д. 316

ОПТИЧЕСКИЙ ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ ТОЛЩИНЫ ПЛЕНКИ НЕФТЕПРОДУКТА
Комарова А. В., Архипова И. А., Холоденко В. А., Шубенкова Е. Г. 318

ЗАВИСИМОСТЬ КОЛИЧЕСТВА СГОРЕВШЕГО САХАРА ОТ РАЗЛИЧНЫХ ПО СОСТАВУ СМЕСЕЙ СОЛЕЙ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРОВ
Корикова Л. С., Яринская Л. Г. 321

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕЗАВОДА
Малий В. Ю., Рогачев Е. А., Зайнуллина Л. В. 322

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ ПЯТНОВЫВОДИТЕЛЕЙ УДАЛЯТЬ ПЯТНА С ТКАНИ
Манжалей В. Д., Фризен Ю. Б. 324

ТОМАТЫ «ВВЕРХ НОГАМИ»
Мануилова Е. Р., Кушнарь Ю. И. 325

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В НЕКОТОРЫХ РАСТВОРАХ
Нор Д. В., Ерохина В. Е. 327

ЗАВИСИМОСТИ ВЫХОДА ПРОДУКТА ЭЛЕКТРОЛИЗА СУЛЬФАТА МЕДИ ОТ pH СРЕДЫ
Олещук Я. А. 328

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УТЕПЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ И ДРУГОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Петрова С. П., Рогачев Е. А. 329

СНЕГ – ИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА
Полонская В. В., Сергеева М. В. 332

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕНООБРАЗОВАНИЯ В РАСТВОРАХ ПОВЕРХНОСТНО АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
Ремизова У. В., Матченя А. В., Скоморощенко О. В., Шубенкова Е. Г. 334

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРОВ
Решетняк А. О., Логунова Е. В., Холоденко В. А., Шубенкова Е. Г. 336

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ
Розов Д. С., Ровенских А. С., Ваняшов А. Д., Шубенкова Е. Г. 340

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПЛОТНОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ
Сивирин А. А., Карпов А. А., Скоморощенко О. В., Шубенкова Е. Г. 343

МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ПОЧВЫ
Тигов И. М., Александрова В. В., Реховская Е. О., Нагибина И. Ю. 346

СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА НЕФТЕХИМИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ
Тигов И. М., Бабичева А. С., Реховская Е. О., Нагибина И. Ю. 347

ВЛИЯНИЕ АВТОМАГИСТРАЛИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
Тигов И. М., Курбацкая М. Р., Нагибина И. Ю., Реховская Е. О. 348

СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ
Тигов И. М., Желтов П. А., Нагибина И. Ю., Реховская Е. О. 349

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРИД-ИОНОВ В БУТИЛИРОВАННОЙ ПРИРОДНОЙ ВОДЕ
Товма С. А., Нор Д. В., Кашко Я. Е., Нор П. Е. 350

ОЦЕНКА ПЕНООБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СМАЗОЧНЫХ И МОТОРНЫХ МАСЕЛ
Шкрумеляк В. А., Конюхова А. Д., Скоморощенко О. В., Шубенкова Е. Г. 351

Научное издание

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Материалы
10-й Международной научно-технической конференции
(Россия, Омск, 26–29 февраля 2020 года)

Ответственность за содержание материалов несут авторы

Печатается в авторской редакции

Компьютерная верстка *Е. В. Макарениной*

Для дизайна обложки использованы материалы
из открытых интернет-источников

Подписано в печать 06.02.2020. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Отпечатано на дупликаторе. Усл. печ. л. 23,25. Уч.-изд. л. 23,25.
Тираж 100 экз. Заказ 91.

_____

Издательство ОмГТУ. 644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12.
Типография ОмГТУ.