



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
**ГКНТ**  
ПО НАУКЕ И ТЕХНОЛОГИЯМ



# НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2022

## МАТЕРИАЛЫ

**V Международного научно-технического  
форума по химическим технологиям  
и нефтегазопереработке**

**2–4 ноября 2022 г.  
Минск, Республика Беларусь**



# PETROGASCHEMISTRY – 2022

## PROCEEDINGS

**V International Scientific and Technical  
Forum on Chemical Technologies  
and Oil and Gas Processing**

**November 2–4, 2022  
Minsk, the Republic of Belarus**



Белорусский государственный  
технологический университет



Министерство образования  
Республики Беларусь



Белорусский государственный  
концерн по нефти и химии

**ГКНТ**

Государственный комитет  
по науке и технологиям



Национальная академия наук Беларуси  
Научный совет по нефтехимии МААН



Исполнительный комитет СНГ



Постоянный Комитет  
Союзного государства



Россотрудничество

# **НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2022**

## **МАТЕРИАЛЫ**

### **V Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке**

2–4 ноября 2022 г.  
Минск, Республика Беларусь

Р е ц е н з е н т ы :

- И.В. Войтов*, профессор, д-р техн. наук;  
*Н.Р. Прокопчук*, член-кор. НАНБ, профессор, д-р хим. наук;  
*Е.И. Грушова*, профессор, д-р хим. наук;  
*Э.Т. Крутько*, профессор, д-р техн. наук;  
*В.Н. Марцуль*, профессор, канд. техн. наук;  
*А.И. Юсевич*, зав. кафедрой НГПиНХ, канд. хим. наук, доцент;  
*А.В. Касперович*, доцент, канд. техн. наук;  
*В.С. Францкевич*, зав. кафедрой МиАХиСП, канд. техн. наук, доцент;  
*К.В. Вишневский*, доцент, канд. техн. наук;  
*С.Н. Пищев*, доцент, канд. техн. наук;  
*А.В. Дернович*;  
*Д.В. Куземкин*, канд. техн. наук;  
*П.С. Гребенчук*, доцент, канд. техн. наук;  
*А.К. Болвако*

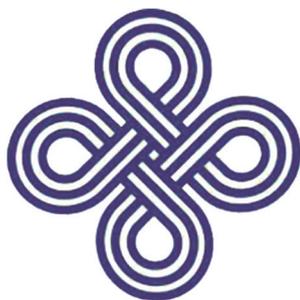
**НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2022:** материалы V Международного науч.-техн. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 2–4 ноября 2022 г. – Минск: БГТУ, 2022. – 320 с. ISBN 978-985-897-045-1.

Сборник составлен по материалам докладов V Международного научно-технического форума по химическим технологиям и по нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2022».

В представленных докладах отражены мировые тенденции нефтехимии, нефте- и газопереработки, вопросы, касающиеся модернизации предприятий концерна «Белнефтехим», изложены научные достижения в области технологий химических и нефтехимических производств, применения новых технологий и технических средств при эксплуатации месторождений углеводородов, разработки перспективных технологий и оборудования на основе полимерных композиционных материалов, освещены экологические проблемы химических и нефтехимических производств и пути их решения.

Сборник предназначен для работников различных отраслей экономики, научных сотрудников, специализирующихся в соответствующих областях знаний, аспирантов и студентов учреждений высшего образования.

## ГЕНЕРАЛЬНЫЕ ПАРТНЕРЫ



Открытое акционерное общество  
«Полоцк-Стекловолокно»



Открытое акционерное общество  
«Гродненский  
научно-исследовательский и проектный  
институт азотной промышленности  
и продуктов органического синтеза»

# ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ

## **ПОДГОТОВКА ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ И ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛОРУССКИМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ УНИВЕРСИТЕТОМ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

*Прежде всего, позвольте еще раз от себя лично и от имени Белорусского государственного технологического университета поприветствовать всех вас на V Международном научно-техническом форуме по химическим технологиям и по нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2022» и поблагодарить за участие.*



*Подготовка высококвалифицированных кадров и проведение научных исследований белорусским государственным технологическим университетом для предприятий нефтегазохимического комплекса*

Слайд 1



НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2022

*Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (далее – БГТУ) на протяжении всей своей более чем 90-летней истории занимает ведущие позиции в образовательной и научной сферах. Сегодня он является уникальным, динамично развивающимся инновационным и научным центром. Университет имеет высокий международный авторитет, сертифицировал свою систему менеджмента качества (СМК) в национальной и немецкой системах аккредитации DGA. Уверенно реализуется*

программа «Университет 3.0», при которой сочетаются образование, наука инновации и практико-ориентированная подготовка кадров.

В настоящее время в состав университета входят: Институт повышения квалификации и переподготовки, 8 факультетов, 48 кафедр, филиал БГТУ «Негорельский учебно-опытный лесхоз», 2 учебно-методических объединения в сфере высшего образования, 5 филиалов по подготовке специалистов со средним специальным и профессионально-техническим образованием (колледжей), 25 филиалов кафедр на предприятиях и в организациях республики, в том числе филиалы кафедр с предприятиями химической промышленности: ОАО «Гродно Азот», ОАО «Полоцкстекловолокно», ОАО «Белшина». В состав университета также входят 6 испытательных лабораторий и центров, 2 аккредитованных научных подразделения, 8 отраслевых лабораторий, а также субъекты инновационной инфраструктуры, в их числе Республиканский научно-практический центр нефтехимических технологий и производств, центр «Научно-технологический парк БГТУ», Международный информационно-аналитический центр трансфера технологий и Центр поддержки технологий и инноваций.



## БГТУ сегодня



8 факультетов



48 кафедр



2 учебно-методических объединения  
5 филиалов (колледжей)



25 филиалов кафедр на предприятиях и в  
организациях республики  
8 отраслевых лабораторий



филиал БГТУ  
«Негорельский опытный лесхоз»

Слайд 2

Подготовка специалистов в БГТУ осуществляется по 31 специальности I ступени высшего образования и 32 специальностям II ступени высшего образования (магистратуры), по 26 специальностям послевузовского образования, 24 специальностям среднего специального образования, 11 специальностям профессионально-технического образования, 5 специальностям переподготовки руководящих работников и специалистов, имеющих высшее

образование. Остепененность профессорско-преподавательского состава в БГТУ самая высокая в системе высшего образования республики – более 70%.

Для обеспечения подготовки высококвалифицированных кадров для нефтехимического комплекса и IT-сектора за последние три года созданы специализированные кафедры «Нефтегазопереработка и нефтехимия» и «Программная инженерия».

Сегодня технологический университет невозможно представить без уникальной материально-технической базы, фундаментальной науки и прикладных исследований.



**БГТУ ведет подготовку, переподготовку и повышение квалификации специалистов предприятий нефтегазохимического комплекса Республики Беларусь**

Слайд 3



БГТУ планомерно реализует планы по подготовке кадров по новой для Республики Беларусь специальности «Промышленная водоподготовка и водоочистка» – инженеров-химиков-технологов. Главное внимание при подготовке специалистов уделено вопросам выбора способа и обоснованию технологических параметров обработки воды, экспериментального апробирования оборудования и технологии очистки в промышленных условиях, разработке нормативно-технической документации.

БГТУ на протяжении длительного времени успешно осуществляет подготовку, переподготовку и повышение квалификации руководящих работников и специалистов для ведущих предприятий нефтегазохимического комплекса Республики Беларусь по следующим специальностям:

- «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий»;

- «Химическая технология вяжущих веществ и строительных материалов на их основе»;
- «Технология переработки эластомеров»;
- «Производство изделий из композиционных материалов»;
- «Промышленная экология и рациональное использование природных ресурсов».



**БГТУ ведет подготовку, переподготовку и повышение квалификации специалистов предприятий нефтегазохимического комплекса Республики Беларусь**

**Слайд 4**



Переподготовку по указанным выше специальностям проходят руководящие работники и специалисты ведущих организаций нефтегазохимического комплекса (ОАО «Гродно Азот», ОАО «Беларуськалий», ОАО «Гомельский химический завод», ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод» и др.).

В настоящее время БГТУ имеет положительный опыт организации образовательного процесса переподготовки и повышения квалификации руководящих работников и специалистов на базе ведущих предприятий отрасли.

В марте 2021 года БГТУ осуществил выпуск слушателей (25 человек) из числа руководящих работников и специалистов ОАО «Гродно Азот» по специальности переподготовки «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий». Особенностью организации образовательного процесса явилось то, что в значительном объеме обучение было организовано ведущими преподавателями БГТУ на базе отдела подготовки кадров ОАО «Гродно Азот».

**БГТУ ведет переподготовку специалистов предприятий нефтегазохимического комплекса РБ по следующим специальностям:**



- ✓ 9-09-0711-01 «Технология неорганических веществ»;
- ✓ 9-09-0711-04 «Производство и переработка полимерных материалов»;
- ✓ 9-09-0711-08 «Инженерная экология»;
- ✓ 9-09-0722-02 «Производство строительных материалов на основе вяжущих веществ»;
- ✓ 9-09-0722-03 «Производство изделий из композиционных материалов».

**Слайд 5**

Переподготовку по указанным выше специальностям проходят руководящие работники и специалисты:  
ОАО «Гродно Азот», ОАО «Белшина»  
ОАО «Беларуськалий»,  
ОАО «Гомельский химический завод»,  
ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод» другие).



*Преимуществами такой формы организации обучения являлись:*  
– возможность согласования учебных программ и календарного графика обучения;

– привлечение в качестве преподавателей ведущих специалистов-практиков ОАО «Гродно Азот» и других организаций;  
– возможность направления на обучение большего количества специалистов и снижение затрат на их командирование.

*На протяжении обучения слушатели получили новые знания в области разработки технологических схем процессов и их аппаратного оформления; расчета материальных и тепловых балансов процессов и определения расходных коэффициентов по сырью, материалам и энергии; расчета и подбора основного и вспомогательного оборудования; решения экологических проблем, возникающих в химическом производстве.*

*БГТУ считает необходимым распространять опыт организации образовательных программ дополнительного образования на другие предприятия нефтегазохимического комплекса страны, что позволит:*

– повысить уровень профессиональных компетенций руководящих работников и специалистов;

– наладить постоянное научно-техническое сотрудничество между специалистами ведущих организаций с профессорско-преподавательским составом и научными сотрудниками различных кафедр и структурных подразделений БГТУ;

– определить направления взаимовыгодного сотрудничества в области выполнения совместных научно-исследовательских работ, дипломных проектов по тематикам предприятия, прохождения производственных практик студентов и др.

– развивать деятельность филиалов выпускающих кафедр и отраслевых лабораторий, которые функционируют на ведущих предприятиях.

Развитие международного сотрудничества является одним из приоритетных направлений деятельности университета. Динамичное развитие международных контактов, академического сотрудничества с зарубежными партнерами способствует качественной подготовке высококвалифицированных специалистов.

Университет активно развивает связи с зарубежными партнерами в области нефтехимии и химических технологий по широкому ряду направлений: академические обмены и обмен специалистами с целью чтения лекций; проведение обучающих курсов; повышение квалификации и переподготовки кадров; проведение международных конференций и иных научно-технических мероприятий; совместное участие в конкурсах и грантах по международным проектам; реализация совместных научных исследований, подготовка совместных публикаций.



## Международная деятельность

Университет сотрудничает с более 160 учреждениями образования и науки из более 35 стран мира.

Слайд 6



Среди наших партнеров более 180 вузов, научных центров и предприятий из разных стран мира, включая такие университеты и организации как Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Тюменский индустриальный университет, Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Южно-Казахстанский университет имени М.О. Ауэзова, Лоянский институт науки и технологий (КНР), Даляньский технологический университет (КНР), Международный университет нефти и газа, Ташкентский химико-технологический институт, Ферганский политехнический институт, фонд «Сколково», ООО «Абирой», АО «Еврохим», компания KBR и др.*

*В университете проводится активная работа по привлечению иностранных специалистов к осуществлению образовательного процесса (чтению лекций). Преподаватели таких зарубежных вузов, как Казанский национальный исследовательский технологический университет, Вятский государственный университет, Волгоградский государственный технический университет, Рудненский индустриальный институт, Карагандинский государственный индустриальный университет, Лиссабонский университет, Королевский технологический институт, Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, Санкт-Петербургский государственный технологический институт, компания SV Engineering, читают курсы лекций по современным направлениям развития нефтехимических технологий для студентов, магистрантов, аспирантов и преподавателей БГТУ.*

*Одним из активно развивающихся направлений международного сотрудничества является организация программ дополнительного образования взрослых (переподготовка, повышение квалификации, стажировки, обучающие курсы) для специалистов зарубежных организаций. Так, на базе ИПКиП и других структурных подразделений университета реализованы программы повышения квалификации и стажировок в области химического и нефтехимического комплекса для таких организаций как Ташкентский химико-технологический институт, Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Казахстанско-Британский университет, Южно-Казахстанский университет имени Ауэзова, ООО «Абирой», ПАО «Акрон» и др.*

*За последние два года ученые университета принимали участие во многих международных конференциях и научно-технических мероприятиях по вопросам химических технологий и нефтегазохимии, среди которых Международный научный симпозиум «Неделя Горняка» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва), Международная конференция «Sk Regions. Новая карта инновационной инфраструктуры»,*

конференция «Переработка и управления отходами: call-to-action» (Технопарк «Сколково», г. Москва), Международная выставка-конгресс «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (HI-TECH 2021) (г. Санкт-Петербург), Международная специализированная выставка «Машиностроение. Металлообработка. Сварка. Казань» (г. Казань), Международная выставка-конгресс «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (HI-TECH 2022) (г. Санкт-Петербург).

В сотрудничестве с Казанским национальным исследовательским технологическим университетом ученые БГТУ принимают участие в подготовке концепции программ Союзного государства «Разработка композиционных материалов с повышенной устойчивостью к энергетическим воздействиям и агрессивным средам» и «Синтез и разработка технологии получения ингредиентов вулканизирующих и стабилизирующих систем для резиновой промышленности».

Университет готовит специалистов химического и нефтехимического профиля не только для Республики Беларусь, но и для ряда иностранных государств, таких как Республика Ирак, Ливанская Республика, Исламская Республика Иран, Федеративная Республика Нигерия, Китайская Народная Республика, Туркменистан, Кот д'Ивуар, Демократическая Республика Конго, Республика Камерун, Российская Федерация. На I и II ступенях высшего образования в 2020–2022 гг. подготовлено более 50 специалистов, в 2021 г. дипломы кандидата технических наук получили двое граждан Республики Ирак, которые проходили подготовку на кафедре нефтегазопереработки и нефтехимии БГТУ.

К наиболее значимым результатам, полученным в 2021–2022 гг., относятся следующие:

– университетом успешно выполнен проект по выпуску отечественных спортивных беговых лыж, отвечающих современным мировым стандартам, ведутся разработки по проектированию высокоскоростных композиционных лыж;

– на базе отраслевой лаборатории шинной промышленности решен ряд совместных научно-технических задач, что позволило ОАО «Белшина» за не полный год работы достигнуть экономического эффекта порядка 1,5 млн руб.;

– подписан меморандум между университетом и ООО «Инновационный центр Бирюч-Новые Технологии», в соответствии с которым реализуются 2 НИОК(Т)Р биотехнологического направления инновационной деятельности;

– на базе профильной кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии создана именная учебная лаборатория калийных удобрений ИООО «Славкалий», а также разработаны композиты для использования в бассейнах флотации.

## К наиболее значимым результатам, полученным в 2021–2022 гг., относятся:



### Слайд 7

- университетом успешно выполнен проект по выпуску отечественных беговых лыж, отвечающих современным мировым стандартам;
- ведутся разработки по проектированию высокоскоростных композиционных лыж;
- на базе отраслевой лаборатории шинной промышленности решен ряд совместных научно-технических задач, что позволило ОАО «Белшина» за неполный год работы достигнуть экономического эффекта порядка 1,5 млн. руб.;
- на базе профильной кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии создана именная учебная лаборатория калийных удобрений ИООО «Славкалий» а также разработаны композиты для использования в бассейнах флотации.

В числе перспективных направлений научных исследований на 2022–2025 гг. определены следующие.

1. Разрабатывается технология и регламенты применения средств защиты растений с использованием агродронов, которая может применяться для проведения мероприятий по отслеживанию экологической обстановки в близи химических промпредприятий.

### Слайд 9

## Перспективные направления научных исследований на 2022–2025 гг.:

- Ведется разработка рецептур и ресурсосберегающей технологии получения силикатных материалов строительного назначения на основе глауконитсодержащих песков и алевритов месторождений базальта и мела юго-запада Беларуси для ОАО «Полоцк-Стекловолокно»
- Ведется разработка антикоррозионных материалов и ингибиторов коррозии различного назначения.
- Ведется разработка материалов и технологии для изготовления композитной упаковки для низко- и среднеактивных радиоактивных отходов с использованием невостребованных опасных отходов от разделки аккумуляторных батарей.
- Начата реализация научного проекта по внедрению технологии утилизации образующихся многотоннажных серно-кислотных отходов на ОАО «СветлогорскХимволокно».

2. Ведется разработка рецептур и ресурсосберегающей технологии получения силикатных материалов строительного назначения на основе глауконитсодержащих песков и алевритов месторождений базальта и мела юго-запада Беларуси для ОАО «Полоцк-Стекловолокно»

3. Ведется разработка антикоррозионных материалов и ингибиторов коррозии различного назначения.

4. Ведется разработка материалов и технологии для изготовления композитной упаковки для низко- и среднеактивных радиоактивных отходов с использованием невостробованных опасных отходов от разделки аккумуляторных батарей.

5. Начата реализация научного проекта по внедрению технологии утилизации образующихся многотоннажных серно-кислотных отходов на ОАО «СветлогорскХимволокно».

6. Кроме того, продолжается активное проведение научно-исследовательских работ по следующим направлениям:

– разработка биотоплива 2-го поколения из растительных масел на НПЗ с использованием водорода, вакуумных газолей, нефтяных остатков;

– разработка составов пропиточных растворов для повышения устойчивости древесины на основе нефтехимических реагентов;

– разработка технологии очистки нефтяных коксов в электротермическом кипящем слое;

– использование гранитных отсеков для производства коротких волокон и создания изделий строительного назначения на ОАО «Полоцк-Стекловолокно».

### Перспективные направления научных исследований на 2022–2025 гг.:

– разработка биотоплива 2-го поколения из растительных масел на НПЗ с использованием водорода, вакуумных газолей, нефтяных остатков;

– разработка составов пропиточных растворов для повышения устойчивости древесины на основе нефтехимических реагентов;

– разработка технологии очистки нефтяных коксов в электротермическом кипящем слое;

– использование гранитных отсеков для производства коротких волокон и создания изделий строительного назначения на

ОАО «Полоцк-Стекловолокно».

Слайд 9



9

Республика Беларусь последние годы находится под воздействием санкций со стороны не только Евросоюза, но и ряда других стран. Ограничения

затрагивают многие сферы развития нашей страны: от оборонной промышленности до сельского хозяйства. В связи со сложившейся ситуацией в экономике страны в настоящее время изучение основных направлений взаимодействия науки и производства является актуальной задачей. С учетом сложившейся санкционной политики университет еще активнее включился в разработку новых импортозамещающих технологий и производств.



### Исследования в области новых импортозамещающих технологий и производств:



Слайд 10

- Разработка импортозамещающей технологии производства в Республике Беларусь катионного поверхностно-активного вещества (КПАВ);



- Разработка клеевых композиций для производства табачных изделий;



- Производство углеродных тонкодисперсных частиц;



- Производство тонкодисперсного диоксида кремния (белая сажа).



В 2022 г. университет приступил к выполнению проектов в области создания ряда новых импортозамещающих технологий и производств:

– получения катионного поверхностно-активного вещества, которое может найти применение в составе замасливателей при производстве ровингов и текстильных нитей в ОАО «Полоцк-Стекловолокно»;

– исследований по разработке технологии получения углеродных частиц размером до 1 мкм на основе углеродных волокон, выпускаемых ОАО «СветлогорскХимволокно», исследований по получению композиционных материалов с этими частицами для создания новых ассортиментов материалов – перчаток технического назначения;

После измельчения существует заметный разброс в гранулометрическом составе. Хотя размер основной массы частиц не превышает 10 микрон, наличие волокон длиной 20–50 микронов затрудняет использование такой смеси для производства композиционного слоя латексной перчатки.

Для уменьшения разброса гранулометрического состава проводятся исследования по оптимизации технологического режима измельчения, включая двухстадийную технологию предварительной подготовки.

Кроме того, проведены предварительные работы по определению физических свойств полученного латекса, а также по подбору ПАВ для первоначальной обработки наноразмерных частиц углерода и возможности их равномерного распределения по объему без их седиментации.

**Исследования в области новых импортозамещающих технологий и производств:**

Исследование технологической возможности производства углеродных частиц размером до 1 мкм на имеющемся оборудовании путем измельчения углеродных волокон, используемых для производства композиционных материалов

**СДЕЛАНО В БЕЛАРУСИ**

ОАО «Синтезпрокс»

Слайд 11

– разработки клеевых композиций (клеи для приклейки бумаги ободка и клеи для сигаретного шва, проклейки фильтропалочки, пачки) для использования их при производстве табачных изделий на высокоскоростных сигаретно-упаковочных линиях в табачной промышленности на основе продуктов нефтехимической промышленности;

– разработки импортозамещающей технологии получения белой сажи на основе активированного кремнегеля и серной кислоты производства ОАО «Гомельский химический завод» на ОАО «Домановский производственно-торговый комбинат».

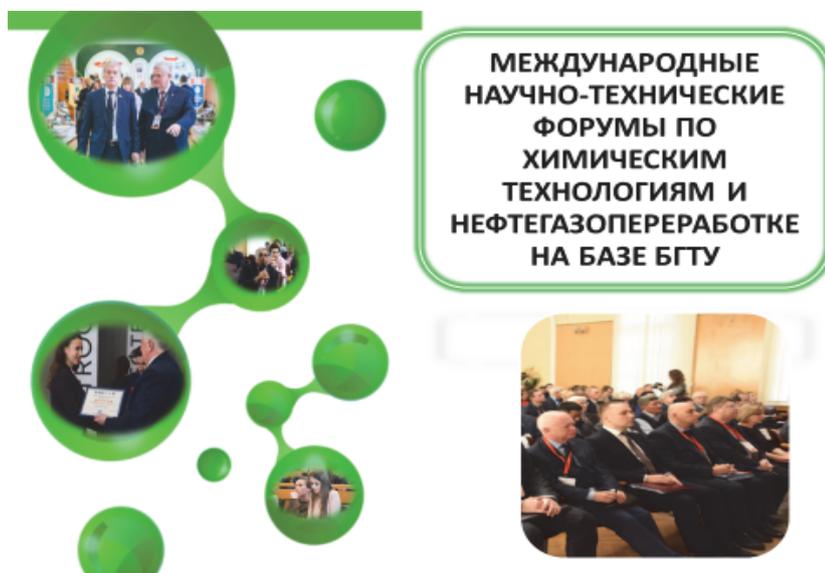
Совершенно новым и перспективным направлением для университета является использование энергонакопителей для энергетической безопасности системы, и в частности Белорусской атомной электростанции. Мы сейчас участвуем в разработке научной концепции внедрения энергонакопителей совместно с РУП «Минскэнерго», ГПО «Белэнерго», РУП «БелТЭИ» и Департаментом по энергоэффективности. Проводим с Департаментом по энергоэффективности экспресс-анализы эффективности внедрения энергонакопителей для крупных промышленных предприятий, гражданских объектов и учреждений социальной сферы.

Университет подготовил перспективные предложения по созданию нового завода на 2 млн. тонн переработки сырой нефти на базе ОАО «Нафтан» с целью производства алифатических мономеров (этилена, пропилена, бутилена) химической промышленности. Проект обсуждался в т.ч. с крупнейшими научными центрами РФ, в частности с Новосибирским технологическим кластером по вопросу синтеза перспективных катализаторов. Необходимо отметить, что для развития научных исследований в данном направлении Университету необходимы опытно-промышленные установки, а также считаем целесообразным инициировать разработку союзных программ в данном направлении.

В рамках деятельности совместной научно-исследовательской лаборатории фосфатного сырья завершается разработка Исходных данных на реконструкцию цеха сложно-смешанных удобрений ОАО «Гомельский химический завод», реализация которых обеспечит существенное увеличение мощности и расширение ассортимента выпускаемых минеральных удобрений. По заказу данного предприятия выполнена работа по изучению состава и свойств комплексных удобрений на стадиях транспортировки и хранения, по результатам которой подготовлено ряд технических решений по повышению качества выпускаемых удобрений.

Учеными университета в рамках реализации государственной научно-технической программы разрабатывается новая технология очистки экстракционной фосфорной кислоты ОАО «Гомельский химический завод» с получением кормовых фосфатов.

Слайд 12



По заказу ОАО «Беларуськалий» ученые университета в настоящее время выполняют цикл исследований по разработке новых видов флотореагентов, а также повышению качества выпускаемой продукции.

Подготовлен и подписан договор о научно-техническом и образовательном сотрудничестве с ведущим отраслевым проектным институтом ОАО «Белгорхимпром», целью которого является активизация работ по научному и научно-техническому обеспечению в интересах предприятий химического и нефтехимического комплекса, а также подготовке высококвалифицированных кадров.

БГТУ принимает активное участие в подпрограмме «Недра Беларуси» в рамках Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2021–2025 годы с проектом, направленным на технологические исследования мела белорусских месторождений с подготовкой рекомендаций по использованию в производстве лакокрасочных материалов и других химических продуктов.

В завершение хотел бы отметить, что проведение форума, способствующего расширению взаимодействия предприятий, науки и образования Республики Беларусь, стало доброй традицией.

Слайд 13



Уверен, что в ближайшие годы наша совместная работа с предприятиями и совершенствование отраслевых лабораторий внесет достойный вклад в успешное инновационное развитие химического и нефтехимического комплекса страны, в решение актуальных текущих и стратегических задач отрасли, позволит повысить качество и конкурентоспособность отечественной продукции.

Ректор УО «Белорусский государственный  
технологический университет»

И.В. Войтов

## **Уважаемые участники форума!**

*От имени Министерства образования Республики Беларусь поздравляю вас с началом работы V Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2022» и приветствую всех собравшихся.*

*Проведение форума в стенах Белорусского государственного технологического университета стало уже доброй традицией. На форуме обсуждаются актуальные проблемы нефтехимии, переработки полимерных композиционных материалов, внедрения цифровых технологий, рассматриваются вопросы подготовки кадров для нефтехимического комплекса.*

*Важная роль в данном контексте принадлежит белорусским университетам. Для предприятий нефтехимического комплекса университеты выполняют научные исследования в рамках государственных программ и прямых хозяйственных договоров. Так, Министерство образования является государственным заказчиком подпрограммы «Малотоннажная химия» государственной научно-технической программы «Перспективные химические и биологические технологии». В рамках подпрограммы осуществляется разработка и освоение наукоемких ресурсосберегающих технологий производства широкого спектра новых экспорториентированных синтетических и композиционных материалов; биотехнологической продукции для пищевой промышленности и сельского хозяйства; экологически чистых удобрений и другой продукции малотоннажной химии. Реализация заданий подпрограммы будет способствовать импортозамещению, повышению экспортного потенциала, снижению зависимости внутреннего рынка от влияния зарубежных компаний, повышению экономической и национальной безопасности страны. По результатам выполненных разработок организовано 20 производств по выпуску 27 инновационных продуктов малотоннажной химии.*

*С целью повышения эффективности научных исследований и качества подготовки инженерных кадров, а также рационального использования дорогостоящего и уникального оборудования созданы отраслевые лаборатории, работа которых организована, в частности, на ОАО «Белшина» и ОАО «Полоцстекловолокно».*

*Для нужд химической отрасли и нефтегазопереработки осуществляется подготовка специалистов с высшим образованием по 17-ти специальностям в 3-х учреждениях высшего образования: Белорусском государственном технологическом университете, Полоцком государственном университете*

имени Евфросинии Полоцкой, Гомельском государственном техническом университете имени П.О.Сухого. С 2020 года БГТУ готовит инженерные кадры по новой специальности «Промышленная водоподготовка и водоочистка».

В 2022 году на специальности для химических технологий и нефтегазопереработки в соответствии с заявками организаций-заказчиков кадров в УВО принято на подготовку 485 абитуриентов. Выпуск специалистов в 2022 году составил 622 человека. Практику в ведущих организациях нефтехимического комплекса в 2021/2022 учебном году прошли 973 студента. Предприятия концерна «Белнефтехим» составляют основную базу учебных и производственных практик будущих инженеров-химиков-технологов, что позволяет им приобрести уникальный производственный опыт еще во время учебы.

В целях увеличения практической составляющей в подготовке специалистов учреждения высшего образования постоянно расширяют сотрудничество с организациями-заказчиками кадров. В настоящее время действует 17 договоров о взаимодействии университетов с организациями-заказчиками кадров (ОАО «Белшина»; РУП ПО «Белоруснефть»; ОАО «Гомельский химический завод»; ОАО «Гродно Азот»; ОАО «Завод горного воска»; ОАО «Полоцк-Стекловолокно» и др.); в организациях-заказчиках кадров функционирует 9 филиалов кафедр учреждений высшего образования.

Специалисты организаций концерна «Белнефтехим» принимают участие в проведении лекций, практических занятий, курсового и дипломного проектирования, в работе государственных экзаменационных комиссий в университетах. Преподаватели вузов проходят стажировку и повышение квалификации на предприятиях концерна.

Считаю, что форум «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2022» будет способствовать увеличению вклада науки, производства, высшей школы в решение социально-экономических задач, стоящих перед Республикой Беларусь. Хочу отметить, что рассматриваемая в рамках форума проблематика является чрезвычайно актуальной для современного сообщества, а сам форум – мероприятием, в рамках которого существует возможность для выработки конкретных решений на стыке науки, образования и производства.

Желаю участникам форума интересных и плодотворных дискуссий, творческого поиска, успехов в реализации своих идей, новых научных достижений!

Министр образования  
Республики Беларусь

**А.И. Иванец**

**Уважаемый Игорь Витальевич!**  
**Уважаемые коллеги!**

*От имени Белорусского государственного концерна по нефти и химии приветствую участников V Международного научно-технического форума «Нефтегазохимия-2022». Искреннюю признательность выражаю Белорусскому государственному технологическому университету за организацию этого собрания.*

*Приятно отметить, что форум стал традиционным: участники готовы делиться своими знаниями и идеями, демонстрировать собственные успехи и разработки, изучать опыт экспертов.*

*Последние годы стали периодом испытаний для многих отраслей экономики. Давление на Республику Беларусь и нефтехимическую отрасль в частности беспрецедентное. Уверен, что наши предприятия справятся с этой ситуацией. Наступает время возможностей, использовать которые нужно с максимальной пользой.*

*Тесное и конструктивное сотрудничество предприятий нефтехимической отрасли с научно-исследовательскими институтами и ведущими вузами вносит значительный вклад в научно-технический прогресс и способствует в конечном итоге укреплению энергетической и экономической безопасности нашей страны.*

*Желаю участникам форума плодотворной работы, результативных дискуссий, укрепления деловых связей и достижения поставленных целей.*

Председатель Белорусского  
государственного концерна  
по нефти и химии

**Андрей Рыбаков**

**Участникам V Международного  
научно-технического форума «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2022»**

*От имени Исполнительного комитета СНГ приветствую участников и гостей V Международного научно-технического форума «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2022», собравшихся для обсуждения актуальных вопросов международного промышленного и научно-технического сотрудничества.*

*Нефтегазохимическая отрасль занимает одно из ведущих мест в современной социально-экономической модели развития государств и имеет ключевое значение для поддержания устойчивого экономического роста.*

*На площадке Белорусского государственного технологического университета, являющегося базовой организацией СНГ, создана атмосфера для плодотворного обмена мнениями по актуальной тематике форума, включающей анализ перспектив развития нефтегазохимических производств, экологические проблемы и пути их решения, вопросы внедрения цифровых технологий, подготовку и переподготовку кадров для отрасли.*

*Позвольте выразить надежду, что озвученные на форуме новые идеи и рекомендации внесут вклад в расширение и углубление сотрудничества государственных, научных и образовательных учреждений стран Содружества в целях повышения конкурентоспособности и инновационного развития энергетического и промышленного комплексов государств – участников СНГ.*

*Желаю вам, уважаемые участники форума, успешной работы, неисчерпаемого вдохновения, новых научных открытий и свершений на благо наших стран и Содружества Независимых Государств в целом.*

Председатель Исполнительного комитета –  
Исполнительный секретарь СНГ

**С.Н. Лебедев**

## **Уважаемые коллеги!**

Поздравляю Вас с открытием V Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке "Нефтегазохимия – 2022".

В целях формирования отраслевого образовательно-научно-производственного пространства, на площадях ЦЗЛ ИТЦ создана и в настоящее время функционирует отраслевая лаборатория шинной промышленности УО «БГТУ» (далее – ОЛШП). Совместное взаимодействие наших организаций осуществляется в рамках Плана совместных работ ОЛШП с ОАО «Белшина» путем заключения договоров.

Планом совместных работ предусмотрено выполнение работ по следующим направлениям:

- выполнение научно-исследовательских работ и разработок;
- разработка высокоэффективных технологий и совершенствование действующих производств ОАО «Белшина»;
- промышленная апробация и внедрение в ОАО «Белшина» результатов выполненных научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ;
- обеспечение реализации образовательных программ;
- развитие материально-технической базы ОЛШП.

Реализуемые научно-исследовательские работы за период деятельности ОЛШП позволили расширить перечень проводимых исследований, досконально изучить поступающее на одобрение в ОАО «Белшина» сырье, проводить детальный анализ резин конкурентов, а также фундаментальные исследования в области разработки новых рецептур резиновых смесей, внедряемых в процесс производства шин. Суммарный фактический экономический эффект за период совместной с ОЛШП работы составил уже 3,8 млн.рублей.

В 2022 году ОАО «Белшина» и БГТУ реализуются 7 (семь) договоров на выполнение НИР на общую сумму 439,9 тыс.руб.

В рамках системы подготовки специалистов для ОАО «Белшина» за последние 5 лет УО «БГТУ» подготовлено 69 специалистов, из них 34 инженера-технолога и 14 инженеров-конструкторов. Ведется подготовка специалистов высшей квалификации - Чилек М.С., Люштыка А.Ю. 27 мая 2022 года

*состоялась защита диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук Перфильевой С.А. по теме: «Улучшение свойств шинных композиций нефтеполимерными смолами».*

*Желаю всем участникам и организаторам форума успехов в научно-исследовательской работе и практической деятельности, плодотворной работы, конструктивного диалога и эффективного взаимодействия!*

*Кандидат технических наук,  
начальник инженерно-технического  
центра ОАО «Белшина»*

**С.Н. Каюшников**

**Прушак В.Я.**

(ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения  
с Опытным производством»)

**ЗАО «СОЛИГОРСКИЙ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ С ОПЫТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ»  
НА ПУТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ**

Образованное в 1991 году ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» является крупным научно-производственным предприятием, ведущим национальным разработчиком и поставщиком импортозамещающего горнодобывающего, горно-шахтного, горно-химического, обогащительного, подъемно-транспортного, землеройного, бурового и специального оборудования, складских и погрузочно-разгрузочных комплексов, а также ресурсосберегающих систем разработки калийных месторождений и проведения геологоразведочных работ. Кроме изготовления оборудования предприятие занимается строительно-монтажными работами.

Удовлетворение потребителей, повышение конкурентоспособности организации и получение устойчивой прибыли, а также обеспечение высокого уровня безопасности машиностроительных, строительно-монтажных и ремонтных работ – основные цели деятельности ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством».

Основные задачи Общества – предупреждение и предотвращение выпуска продукции неудовлетворительного качества на всех этапах от проектирования и производства до эксплуатации; увеличение объема производства и реализации выпускаемой продукции; повышение квалификации и профессиональной подготовки и переподготовки персонала и специалистов.

Основные направления производственной деятельности:

- проходческое оборудование (комбайны проходческие с роторным исполнительным органом, комбайны проходческие избирательного действия, комбайны проходческо-очистные, запасные части для проходческих комбайнов, устройства для перегона горных машин);
- очистные комбайны (очистные комбайны для пластов малой и средней мощности, режущие органы и инструменты, кабелеукладчики);
- подъемно-транспортное оборудование (конвейеры забойные, конвейеры штрековые, конвейеры ленточные, конвейеры скребковые, конвейеры скребковые специальные, конвейеры винтовые, конвейеры междурядные, элеваторы ковшовые, скипы шахтные, шкивы копровые, подвесные устройства, противовесы, клетки, кратцер-краны, лебедки для

замены проводников, подъемные машины, подъемники шахтные лифтовые, опрокидыватели вагонные, машины породопогрузочные стволовые);

- буровое оборудование (вышки буровые, мобильные буровые установки, буровые насосы, блоки насосные, агрегаты ремонтные);
- оборудование для получения, гранулирования, сушки и фасовки НРК-удобрений (установка сушильная, барабан-гранулятор, линия НРК);
- оборудование для комплексов по перезагрузке сыпучих материалов (станции разгрузки сыпучих материалов из вагонов – минераловозов и зерновозов, складские комплексы для сыпучих продуктов, морские и речные комплексы по перезагрузке сыпучих материалов);
- технологическое обогатительное оборудование (смесители, сгустители-отстойники, дробилки, питатели, вальц-прессы, роторы расформовщики, мельницы стержневые и шаровые, вакуум-фильтры);
- оборудование для метрополитенов (эскалаторы, траволаторы);
- оборудование горной автоматики (пневмоприводы системы контроля и управления на базе микропроцессорной техники, электротехнические устройства для горного оборудования);
- композиционные и теплозвукоизоляционные материалы для транспортных средств;
- клееные деревянные конструкции.

В ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» осуществляется полный цикл создания горных машин: от научных исследований до опытно-конструкторских разработок и серийного производства, а также разработка ресурсосберегающих технологий подземной и открытой добычи полезного ископаемого и ведения буровых работ.

Предприятие является крупным научно-производственным центром горного машиностроения, располагающим собственной исследовательской, экспериментальной и крупной производственной базой, включающей металлообрабатывающие, деревообрабатывающие и сборочные цехи.

Основной упор на предприятии делается на повышение надежности и технологичности оборудования, снижение его веса, удобства монтажа и демонтажа в стесненных условиях горных выработок.

В процессе работы предприятия внедряются оригинальные технические решения, в том числе защищенные патентами, которых получено более 400.

Руководство предприятия высоко ценит качество выпускаемой продукции; новаторство в производстве; сотрудников, задействованных в производственном процессе; потребителей и партнеров.

Ежегодно, начиная с 2016 года, продукция предприятия удостоивается звания победителя конкурса «Лучшие товары Республики Беларусь» в номинации «Продукция производственно-техническая». В 2016 году – за комбайн проходческо-очистной КПО-10,5; в 2017-м – за комбайн роторный проходческий КРП-3-660/1140; 2018-м – за машину врубтовую баровую; 2019-м – за пресс валковый; 2020-м – за мельницу стержневую с центральной разгрузкой; 2021-м – за кратцер-кран М порталный.

В 1999 году коллектив авторов Общества представил работу «Разработка и освоение производства подъемно-транспортного оборудования для горнодобывающей промышленности Республики Беларусь», которая удостоена государственной премией Республики Беларусь в области техники.

В 2020 году Государственная премия Республики Беларусь в области науки и техники присуждена команде авторов ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» в области науки и техники за работу «Инновационные технологии разработки месторождений калийных солей, развитие высокотехнологических и наукоемких производств и создание современной импортозамещающей высокопроизводительной техники для их добычи и переработки».

По итогам 2021 года за достижение значительных результатов в области качества и конкурентоспособности производимой продукции, внедрение инновационных технологий и современных методов менеджмента ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» получило Премию Правительства Республики Беларусь за достижения в области качества.

Руководство ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» всесторонне поддерживает инициативу сотрудников предприятия в отношении повышения квалификации, получения высшего образования, а также получения второй степени послевузовского образования. В настоящее время в аспирантуре обучается 11 человек. В Обществе работает 3 доктора технических наук, 9 кандидатов технических наук, 6 Лауреатов государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники.

Оборудование ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» отличается превосходным качеством и получило высокую оценку не только на территории Республики Беларусь, но и в странах ближнего и дальнего зарубежья.

Практика показывает, что в результате использования высокопроизводительной горной техники можно добиться существенного роста показателей работы горнодобывающего предприятия.

ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» придерживается принципов, что сегодня лидером в отрасли может быть только тот, кто идёт в ногу со временем – изобретает что-то новое, востребованное на рынке и остаётся верным качеству.

В будущем ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» планирует расширять номенклатуру продукции, увеличивать объёмы производства и повышать качество выпускаемого оборудования.

Предприятие придерживается девиза: «Качество – это когда возвращается потребитель, а не продукция!»

С целью более полного и широкого информирования потребителей, клиентов и партнёров о предприятии, направлениях сфер деятельности, выпускаемой продукции на предприятии, создан и функционирует интернет-сайт [www.sipr.by](http://www.sipr.by).

Негматов С.С., Абед Н.С., Негматова К.С.  
(ГУП «Фан ва тараккиет» при ТГТУ им. И. Каримова)

## **РОЛЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ В НЕФТЕГАЗОВЫХ И ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

В данной работе приведены исследования в различных направлениях, проведенные ГУП «Фан ва тараккиет» при ТГТУ им. И. Каримова.

Разработаны импортозамещающие и экспортоориентированные многофункциональные композиционные химические реагенты и буровые растворы на их основе с использованием местного сырья и отходов различных производств и получены облегченные, усредненные и утяжеленные буровые растворы, применяемые в процессе бурения нефтегазовых скважин в осложненных горно-геологических условиях в нефтегазоносных площадях НКК «Узбекнефтегаз» Республики Узбекистан и сопредельных стран Центральной Азии.

Разработанный многофункциональный композиционный химический реагент (КХР-БР) предотвращает сальникообразование, обволакивает глинистые породы ствола скважин, обеспечивает высокую стабильность буровых растворов, что приводит к повышению механической скорости породоразрушающего инструмента, увеличивает вскрытия продуктивных горизонтов нефти и газа, хорошо промывает скважины. Кроме того, отличается доступностью, низкой себестоимостью, экономичностью и экологической безопасностью.

Разработана технология получения импортозамещающих и экспортоориентированных композиционных полимерных порошкообразных водорастворимых модифицированных поверхностно-активных веществ (ПАВ-Композит) путем переработки вязкотекучей массы нерастворимой в воде госсиполовой смолы, являющейся отходом масложировых производств, с органоминеральными ингредиентами из отходов химических, пищевых и металлургических промышленности для применения в нефтегазовой промышленности и других отраслях экономики.

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики разработанного и существующих ПАВ.

Как видно из таблицы 1, разработанный ПАВ-композит по поверхностно-активным свойствам не уступает существующим ПАВ «Сульфанол».

Также разработан новый состав модифицированного композиционного деэмульгатора марки «МК-ДЭМ-4» для обессоливания и обезвоживания нефти.

Таблица 1

**Сравнение значений поверхностного натяжения разработанного  
и существующих ПАВ**

Концентрация	Поверхностное натяжение, Н/м		
	ПАВ-КОМПОЗИТ (Узбекистан)	Сульфанола (Россия)	ОП-10 (Россия)
0,01	60,7	61,2	50,9
0,05	42,1	42,6	41,6
0,10	38,0	38,6	41,0
0,25	36,2	36,9	36,1
0,5	35,9	36,2	35,6
1,0	34,8	35,1	35,5

Разработанные модифицированные композиционные деэмульгаторы способны заменить одновременно ряд импортируемых деэмульгаторов и более эффективно эксплуатироваться в процессе обессоливания и обезвоживания нефтяных эмульсий.

Основные характеристики:

Физико-химические показатели «МК-ДЭМ-4»

Цвет - светло желтая жидкость

Массовая доля нелетучих веществ-  $50 \pm 2\%$ ;

Вязкость кинематическая при  $20\text{C}^\circ$ , не более – 50–60 с;

Температура застывания, не выше – Минус  $50\text{C}^\circ$ .

Разработаны составы и освоена технология производства эффективных экологически безвредных композиционных химических препаратов КПМ-КОМПОЗИТ для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур, способствующих повышению их урожайности.

Как видно из таблицы 2, лучшая всхожесть хлопчатника наблюдаются у хлопковых семян, обработанных композиционным химическим препаратом КПМ-Дармон-2. При этом урожайность хлопка увеличивается на 5,8-6,2 ц/г.

Таблица 2

**Биологическая эффективность препаратов**

Наименование	Бронополь	КПМ-Дармон -1	КПМ-Дармон -1
Расход, кг.т	6	2,5	3
Всхожесть, %	75,4–75,5	88,6	88,9
Корневая гниль, %	14,7	8,2	6,0
Гоммоз (повреждаемость)	0,0	0,0	0,0
Биологический эффект, %	100	100	100

Экономическая эффективность кроме увеличения урожайности хлопка от использования 10 тонн разработанного композиционного химического препарата (стоимость 1 тонны 20 млн.сум) по сравнению с широко известным препаратом Бронотак (стоимость 1 тонны 150 млн. сум) составляет 1,3 млрд. сум.

Одним из значимых достижений являются разработанные импортозамещающие композиционные химические флотореагенты – вспениватели на основе неорганических ингредиентов из местного сырья и отходов производств с высокой эксплуатационной характеристикой и низкой стоимостью.

Таблица 3

**Результаты проведения опытно-промышленных испытаний разработанных композиционных химических флотореагентов – вспенивателей в условиях АО «Алмалыкский ГМК»**

Наименование продукта	Выход, %	Содержание,	Извлечение,	Примечание
		Cu	Cu	
Концентрат основн.	4,5	8,0	82,34	Стандартный Т-92 56 g/t
Концентрат контр.	2,5	1,6	9,15	
Концентрат чернов.	<b>7,0</b>	<b>5,71</b>	<b>91,49</b>	
Хвосты отвал.	93,0	0,04	8,51	
Исходная руда	100	0,44	100	
Концентрат основн.	4,5	8,0	82,34	Экспериментальный образец КХФ-ВС 56 g/t
Концентрат контр.	2,5	1,6	9,15	
Концентрат чернов.	<b>7,2</b>	<b>5,44</b>	<b>91,79</b>	
Хвосты отвал.	93,0	0,04	8,51	
Исходная руда	100	0,44	100	

**Результаты опытов в открытом цикле на расход вспенивателей**  
 Постоянные условия опытов: измельчение: 21 min. до содерж. кл. – 0,071 mm 69%; в/м–9g/t; CaO до pH 10,5–11,0. Основная фл.: 5 min; kst.-17g/t; контрольная фл.: 7 min; kst. – 7g/t.

Как видно из результатов проведенных опытно-промышленных испытаний, экспериментальным образцом КХФ-ВС извлечение меди в черновом концентрате составило 91,79 % при качестве 5,44%, со стандартным Т-92 составило 91,49% при качестве 5,71%. Суммарная экономическая эффективность при общем расходе флотореагента-вспенивателя типа КХФ-ВС в среднем 2500 м<sup>3</sup> только за счет замены флотореагента Т-92 на флотореагент-вспениватель типа КХФ-ВС составит 350.000 \$ США или 3.853.500.000 сум.

**Секция I**  
**ПЕРСПЕКТИВЫ, СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ**  
**И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКИХ**  
**И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

---

УДК 66.094.3.097:536.4

**Ахмедьянова Р.А., Фам Тхэ Шон, Васильева Э.А.,**  
**Сандугей С., Гильмутдинов И.И., Сабирзянов А.Н.**  
(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

**МАРГАНЕЦ-ОКСИДНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ОКИСЛЕНИЯ**  
**ИЗОПЕНТАНА, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ПРОПИТКИ**  
**НОСИТЕЛЯ В СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ФЛЮИДАХ**

В последнее время наблюдается стремительный рост интереса к использованию сверхкритических сред для синтеза гетерогенных катализаторов с заданными свойствами. Это связано с тем, что получаемые катализаторы отличаются более высокой селективностью и активностью в ряде процессов, по сравнению с катализаторами, полученными с использованием традиционных методов.

Одним из направлений использования сверхкритических состояний в каталитической химии является пропитка пористого носителя соответствующими металлами, представленными в том или ином виде и предварительно растворенными в сверхкритическом флюиде;

Пропитка пористых структур, а также утилизация отработанных катализаторов в целях выделения редких и дорогостоящих металлов основаны на высоких способностях сверхкритических флюидов растворять и проникать в пористые структуры [1].

В настоящей работе для приготовления гетерогенных марганец-оксидных катализаторов, проявивших высокую активность в процессе окисления изопентана [2–4], в качестве сверхкритического флюида была использована вода, в которой хорошо растворялись соли марганца, используемые для пропитки носителя.

Для получения катализаторов методом пропитки в сверхкритических условиях в качестве носителя использовали оксид алюминия:  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , в качестве пропиточного раствора – 2,5-5,0 % водные растворы солей хлорида марганца (II).

Определенное количество алюмооксидного носителя, и раствор соли в дистиллированной воде, концентрация которого рассчитывается,

исходя из 5% масс. концентрации  $Mn^{2+}$  в получаемом катализаторе, загружаются в реактор, для работы со сверхкритическими флюидами, снабженный перемешивающим устройством. При достижении заданных условий носитель пропитывают в течение часа

Приготовленный катализатор помещают в сушильный шкаф и высушивают при температуре 200 °С до остаточной влажности не более 5 % масс., определяемой с помощью влагомера.

Пропитанный раствором соли и высушенный катализатор выгружают, помещают в термоустойчивый тигель и переносят в камеру муфельной печи. Катализатор нагревают в муфельной печи до 650°С, выдерживают при данной температуре в течение 2,5 часов. Затем камеру муфельной печи охлаждают, выгружают готовый катализатор.

Определение текстурных характеристик синтезированных катализаторов выполнено на основании изотерм низкотемпературной адсорбции-десорбции азота при температуре – 196°С, полученных на анализаторе размера пор и площади поверхности NOVA 1200 (QUANTACHROME). Для оценки распределения объема и поверхности мезопор по размерам использовался метод ВЛН. Удельная поверхность образцов рассчитана по методу БЭТ.

Массовая доля  $Mn^{2+}$  определена с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра Rigaku ZSX Primus.

Физико-химические характеристики полученных катализаторов представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Физико-химические характеристики марганец-оксидных катализаторов, полученных пропиткой в сверхкритических условиях**

№ п/п	Шифр образца	Условия пропитки		Удельная поверхность по БЭТ, м <sup>2</sup> /г	Общий объем пор, см <sup>3</sup> /г	Средний диаметр пор, нм	[Mn], % масс.
		Температура, °С	Давление, МПа				
1	СК 1	330	130,8	53,315	0,453	23,414	8,66
2	СК 2	350	171,1	59,721	0,287	3,469	8,26
3	СК 3	360	196,4	42,362	0,121	3,285	7,43
4	СК 4	н. у.	н. у.	176,354	0,732	11,63	7,67

Полученные данные свидетельствуют о том, что сверхкритические условия пропиточной фазы оказывает влияние на текстурные характеристики катализаторов (табл. 1).

С повышением температуры и давления пропитки носителя в сверхкритических флюидах падает концентрация Mn в получаемом катализаторе (табл.1). Можно отметить пропорциональную зависимость между площадью удельной поверхности и концентрацией марганца в катализаторе. Катализаторы, полученные в сверхкритических

флюидах, характеризуются значительно меньшей удельной поверхностью и общим объемом пор, что свидетельствует о более глубоком проникновении марганца в поры носителя, что связано с отсутствием межфазной границы раздела фаз, низкой вязкостью сред – на 1-2 порядка меньшей, нежели у органических растворителей, и высокой диффузионностью сверхкритических флюидов [1]. При этом при температуре нанесения 330 и 350°C концентрация марганца в катализаторе выше по сравнению с образцом, полученном при Н.У. и при температуре 360°C.

Наблюдаемое снижение общего объема пор при пропитке в сверхкритических условиях может быть связано с деформацией носителя с увеличением давления в реакторе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации из федерального бюджета субсидии на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг №075-01261-22-00 от 28.12.2021 г. «Катализ в нефтепереработке и нефтегазохимии».

Исследование проведено с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологии» Казанского национального исследовательского технологического университета при финансовой поддержке проекта Минобрнауки России в рамках гранта №075-15-2021-699.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цихмейстр, Е. В. Применение суб- и сверхкритических флюидов в экстракционных процессах / Е.В.Цихмейстер., Ф.М.Гумеров// Вестник Казанского технологического университета. 2012. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sub-i-sverhkriticheskikh-flyuidov-v-ekstraktsionnyh-protsessah>.

2. Васильева, Э.А. Структура и каталитические свойства марганец-оксидных катализаторов окисления изопентана/Э.А.Васильева., Р.А.Ахмедьянова, К.А. Мишагин, И.Д. Твердов, Т.Ш. Фам //Бутлеровские сообщения. – 2021. – Т.65. – №2. – С. 125–129. ROI: jbc-01/21-65-2-125.

3. Ахмедьянова, Р.А. Влияние ультразвука на физико-химические характеристики марганец-оксидных катализаторов окисления углеводородов/Р.А.Ахмедьянова, Э. А. Васильева, Т. М. Кутузова, Р. Р. Мухамедзянов, Фам Тхэ Шон, З.Р. Музипов //Вестник технологического университета. – 2022. – №7. – С. 20–23.

4. Ахмедьянова, Р.А. Закономерности жидкофазного окисления изопентана в присутствии марганец-оксидных катализаторов, полученных с использованием ультразвука/ Э.А. Васильева, Т.М. Кутузова, Р.Р. Мухамедзянов, Фам Тхэ Шон, З.Р. Музипов //Бутлеровские сообщения. – 2022. Т. 71. №7. С. 94–101. ROI: jbc-01/22-71-7-94.

**Цыганов А.Р.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**Панасюгин А.С., Машерова Н.П., Курило И.И.**

(Белорусский национальный технический университет)

**Павловский Н.Д.**

(Гродненский государственный медицинский университет)

**ПАРЫ РАСТВОРИТЕЛЕЙ СЕРИИ Р645 - 650  
КАК ТЕСТОВЫЕ ОБЪЕКТЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СМЕСЕВЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ  
АДСОРБЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Низкотемпературное осуществление процесса окисления, отсутствие трудоемких стадий регенерации, а также особенности технологического процесса, позволяющие минимизировать образование продуктов неполного сгорания соединений углерода, являются несомненными достоинствами адсорбционно-каталитического метода очистки газовых выбросов [1].

В предыдущих работах приведены результаты исследований по нейтрализации паров производных бензола, предельных углеводородов нормального и циклического строения, пропилен гликолей, ацетатов, одноатомных спиртов [2–5].

Ранее было показано [2–4], что при низких концентрациях органических газовых выбросов рациональнее использовать адсорбционно-каталитический метод, сущность которого состоит в концентрировании веществ на сорбенте с последующим периодическим беспламенным каталитическим окислением накопленных органических веществ до диоксида углерода и воды. Низкотемпературное осуществление процесса окисления, отсутствие трудоемких стадий регенерации, а также особенности технологического процесса, позволяющие минимизировать образование продуктов неполного сгорания соединений углерода, являются несомненными достоинствами адсорбционно-каталитического метода очистки газовых выбросов.

Назначение смесевых растворителей серии Р 645–650.

Р645. Растворитель марки Р645 для разбавления нитроэмалей, нитролаков и нитрошпатлевок специального назначения, нитролаков, шпатлевок общего назначения и др. химический составов.

Р646. Наиболее широко распространенный (универсальный) смесевой растворитель, который применяется в качестве обезжиривателя, разбавителя, растворителя, компонента лаков, красок, клеев и окрасочных систем.

Р647. На сегодняшний день растворитель Р647 входит в перечень самых популярных и распространенных составов. Его особенность заключается в том, что в составе отсутствует этилцеллозольв и ацетон, благодаря чему раствор считается более щадящим и его можно использовать при очистке пластиковых поверхностей. Р-647 выбирают, когда на первом месте осторожное отношение к обрабатываемой поверхности. Растворитель Р647 широко используют при окрашивании автомобильного транспорта, поскольку его можно применять совместно и с нитролаками, и с нитроэмалью. Он также применяется для увеличения вязкости веществ, в составе которых присутствует нитроцеллюлоза. Данный разбавитель не влияет разрушающе на материалы, которые не переносят активного воздействия химических компонентов, среди них и изделия из пластика. В связи с этим применяется, как обезжиривающее и очищающее средство от лакокрасочных материалов. При этом после использования его, на поверхности не остаётся белых пятен, а мелкие изъяны становятся более гладкими. Работа с растворителем Р647 требует соблюдения определенных мер предосторожности – защита органов дыхания и кожи и должна проводиться в помещениях с хорошей вентиляцией, так как при распылении в воздухе легко образуются огне- и взрывоопасные смеси. Широкомасштабное применение растворителя Р647 в технологических процессах промышленной окраски автотракторной техники ставит задачу по очистке газовых выбросов от компонентов растворителя.

Р648. Растворитель марки Р-648 является одним из самых популярных мультикомпонентных растворителей, который применяется в достаточно обширном спектре строительных и ремонтных работ. Данный растворитель – это самый лучший вариант для разбавления лакокрасочных материалов, произведенных на основе нитроцеллюлозы, полиакрилата, а также бутилметакрилата. Кроме разбавления, а также образования быстросохнущей пленки, Р-648 используется с целью сглаживания штрихов и царапин путем распыления на рабочую поверхность, выполненной на основании нитроэмалей, после проведения работ по шлифованию. Также с использованием растворителя 648 можно производить подготовку поверхностей под окрашивание. В данном случае он применяется для удаления следов старой краски и жировых пятен.

Р649. Используются в промышленности для разбавления нитратцеллюлозных и нитратцеллюлозно-глифталевых эмалирующих покрытий (НЦ-132К, НЦ – 11, ГФ – 570Р К) до необходимой вязкости.

Р650. Введение скрытых растворителей (например, спиртов) и разбавителей снижает стоимость растворителя и позволяет использовать в качестве пленкообразующего смесь двух и более типов различных по природе полимеров, так как разбавитель для одного типа полимера может быть активным растворителем для другого.

**Таблица 1 – Химический состав растворителей Р645 – Р650**

№, п.п.	Компонент, масс.%	Марка смесового растворителя					
		Р645	Р646	647	648	649	650
1.	Этилацетат	9	0	0	0	0	0
2.	Ацетон	3	7	0	0	0	0
3.	Толуол	50	50	41,3	20	0	0
4.	Бутилацетат	18	10	29,8	50	0	0
5.	Этанол	10	10	0	10	0	0
6.	Н-бутанол	10	15	7,7	20	20	30
7.	Этилцеллозольв	0	8	21,2	0	30	20
8.	Ксилол	0	0	0	0	50	50

**Таблица 2 – Физико-химические свойства компонентов растворителей Р645 – 650**

№, п.п.	Адсорбат	Брутто формула	$T_{\text{кип}},$ °С	Молярная масса, М.	Посадочная площадка $\omega,$ нм <sup>2</sup>
1.	ацетон	$C_3H_6O$	56,1	58,08	0,277
2.	этилацетат	$CH_3COOC_2H_5$	77,1	88,10	0,325
3.	бутилацетат	$C_8H_{12}O_2$	126,0	116,16	0,413
4.	толуол	$C_7H_8$	110,6	92,14	0,355
5.	Ксилол (смесь изомеров)	$(CH_3)_2C_6H_4$	106,16	0,38841	1,97
6.	этанол	$C_2H_6O$	78,3	46,07	0,238
7.	н-бутанол	$C_4H_{10}O$	117,7	74,12	0,322
8.	этилцеллозольв	$C_4H_{10}O_2$	135,6	90,12	0,335

Широкое применение в качестве одного из компонентов смесевых растворителей нашел этилцеллозольв. Он является компонентом таких растворителей как Р-649, Р-650, Р-40, РМЛ, РМЛ-315, РЭ-3, входит в состав разбавителя Р-197 и многих других. Такое широкое использование этилцеллозольва получило благодаря своей исключительной растворяющей способности, так как с ним смешиваются практически все известные органические растворители (спирты, гликоли, диэтиловый эфир, ацетон, хлороформ, ксилолы) даже при комнатной температуре и в то же время он хорошо растворим в воде и обеспечивает смешение с водой неспособных к этому веществ. Этилцеллозольв используют для растворения старых покрытий (краска, нагар), химической чистки одежды, для обезжиривания, растворения лакокрасочных материалов любого типа, включая полиэфирные, эпоксидные, мочевиноформальдегидные, винифлекс, используется в производстве фото- и киноплёнок. Способность этилцеллозольва образовывать гомогенные растворы с водой и органическими растворителями применяется в его использовании в качестве присадки для авиационного топлива. Этилцеллозольв повышает растворимость воды в нефтепродуктах за счет образования

гомогенной тройной системы нефтепродукт-вода-этилцеллозольв, что предотвращает образование кристаллов льда при низких температурах.

Целью работы было изучение процесса нейтрализации паров смесевых растворителей серии 645–650 адсорбционно-каталитическим методом.

Для решения поставленной задачи в качестве сорбента был выбран синтетический цеолит марки NaX, представляющий собой сферические гранулы диаметром 2,5-3,5 мм. В качестве катализатора глубокого окисления использовали пористые материалы с высокоразвитой модифицированной поверхностью на основе пенокерамики состава  $Al_2O_3/SiO_2$  с нанесенной активной каталитической фазой, имеющие на поверхности пенокерамики сформированный буферный слой, содержащий 11,1 мас. %  $\gamma-Al_2O_3$  и обладающие удельной поверхностью  $15,6 \text{ м}^2/\text{г}$  [1, 5].

Схема модельной установки нейтрализации паров адсорбционно-каталитическим методом, принцип ее работы детально описаны в работе [1]. Алгоритм работы установки основан на полициклическом принципе:

- 1 – цикл адсорбции паров органических соединений на поверхности сорбента;
- 2 – цикл термической десорбции паров органических соединений в адсорбционном реакторе;
- 3 – цикл глубокого каталитического окисления паров органических веществ.

Для измерения скорости движения газового потока использовали дифференциальный манометр Testo 512 и датчик скорости движения воздуха Testo 425 производства Германии.

Определение концентрации органических веществ осуществлялось с помощью газового хроматографа «Цвет–106», оснащенного пламенно-ионизационным детектором (ПИД). Интерпретацию полученных хроматограмм производили с использованием программы «Мультихром 1.39».

Порядок выхода компонентов смесевых растворителей серии 645–650 и степень конверсии определяли на основании дискретных значений, полученных при анализе газовых проб, которые отбирали с интервалом в 1 минуту.

Полноту каталитического окисления органических соединений оценивали по показателям газоанализатора Dräger MSI 150 EURO, который оснащен датчиками, позволяющими оценить количественное и качественное содержание в составе газовых выбросов CO и CO<sub>2</sub>.

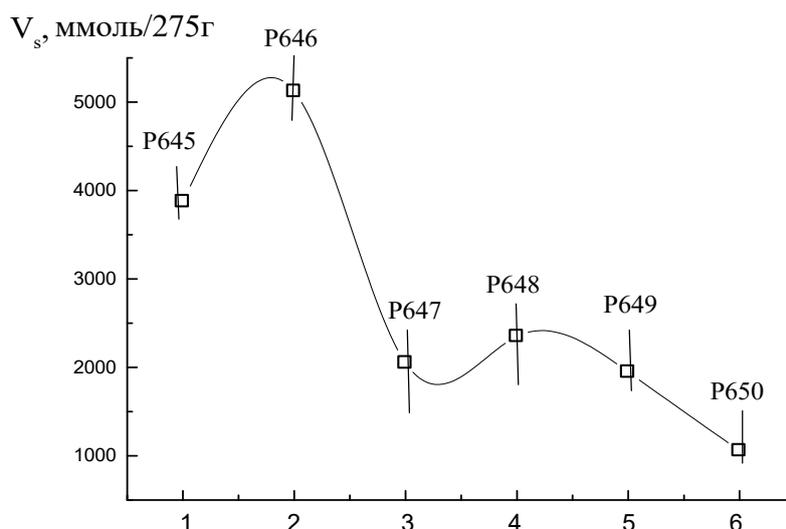
Ранее было установлено, что оптимальными условиями проведения сорбционного процесса является высота слоя сорбента не более 20 см, при загрузке в реактор с диаметром 40 мм и высотой 250 мм 275-ти граммов цеолита NaX.

Сорбционные характеристики цеолита NaX по отношению к компонентам растворителей P645 – P650 приведены на рис.1., из которых видно, что компонентный состав представлен различными классами органических веществ кетоны, спирты нормального строения, производные бензола, эфирами уксусной кислоты и др. табл. 2.

На основании вышеприведенных данных можно сделать определенные заключения о том, что на степень адсорбции изученной органической смеси оказывают влияние одновременно несколько факторов.

Вероятно, в данном случае решающую роль играет как размер посадочной площадки, так и затруднения, возникающие при пространственной ориентации более длинноцепочечных молекул относительно сорбционных центров NaX.

Для производных бензола значение величин сорбционного объема  $V_s$  наибольшее влияние оказывает количество метильных групп в составе молекул. Увеличение размеров посадочных площадок соединений сопровождается уменьшением сорбционного объема ( $V_s$ ), при этом введение в бензольное кольцо очередной метильной группы приводит к более существенному уменьшению сорбционного объема.



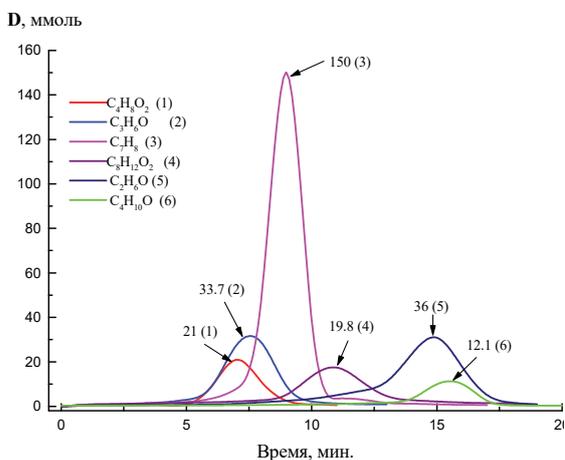
**Рисунок 1 – Суммарное поглощение паров смесевых растворителей серии P645-P650**

Поскольку десорбция паров и процесс каталитического окисления протекают практически одновременно, их нейтрализация происходит в интервале 3–18 минут рис. 2 и 3.

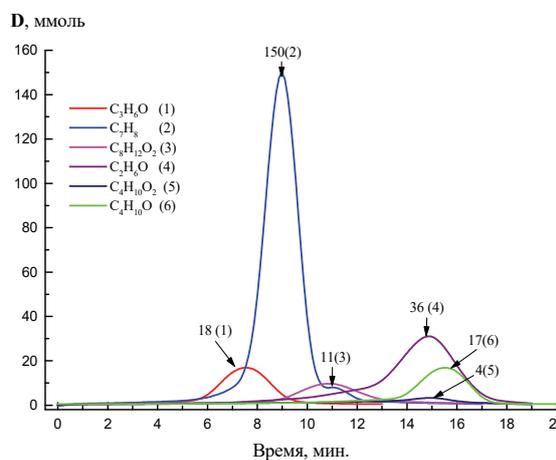
В результате проведенных исследований установлено следующее: на величину сорбционного объема ( $V_s$ ) цеолита марки NaX для каждого класса рассмотренных соединений оказывают влияние свои лимитирующие параметры: для спиртов – длина углеродного скелета и положение гидроксильной группы, для производных бензола – количество метильных

групп в составе молекул, для эфиров уксусной кислоты – увеличение длины углеводородного радикала на метиленовую группу  $\text{CH}_2$  и конформация углеводородного радикала спирта, для этилцеллозольва определяющее влияние оказывает строение углеродного скелета и положение гидроксильной группы.

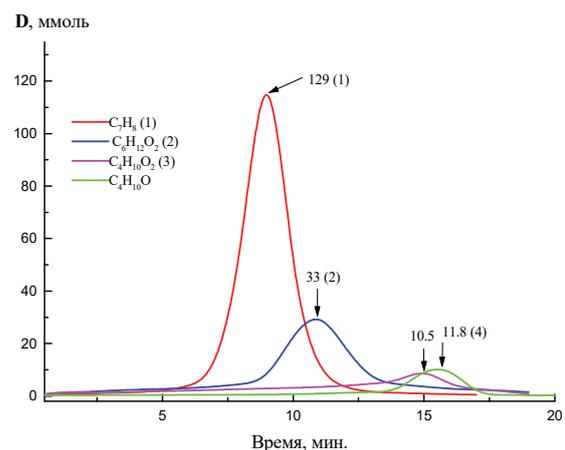
**P645**



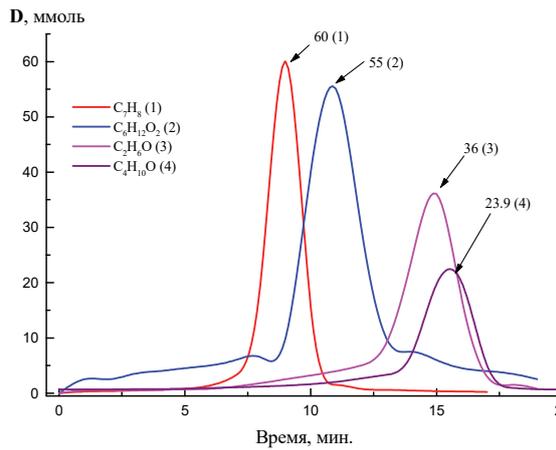
**P646**



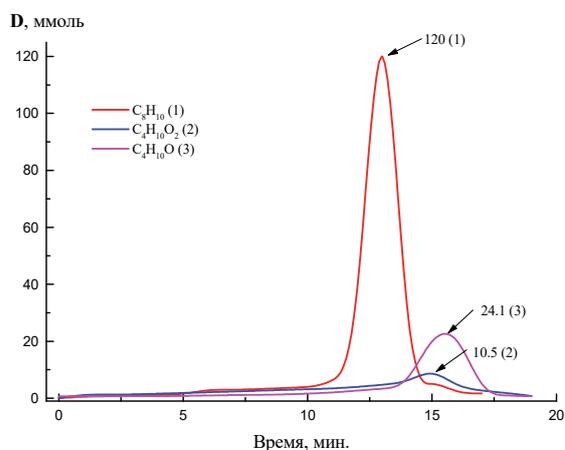
**P647**



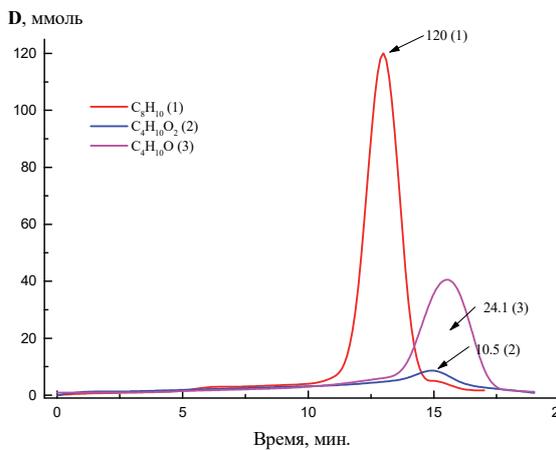
**P648**



**P649**

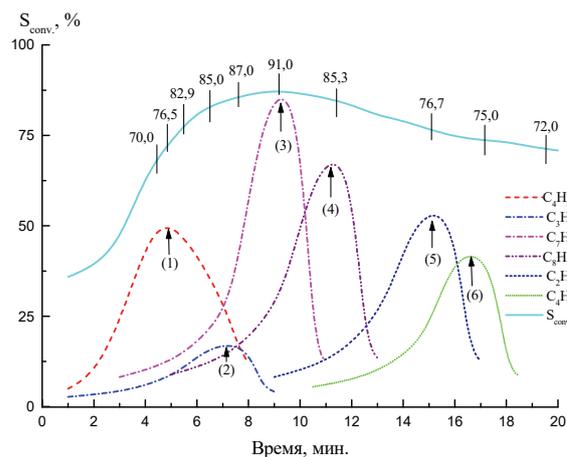


**P650**

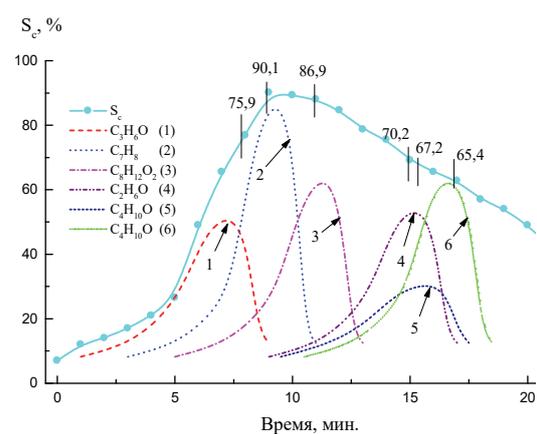


**Рисунок 2 – Графики десорбции паров смесевых растворителей серии 645-650**

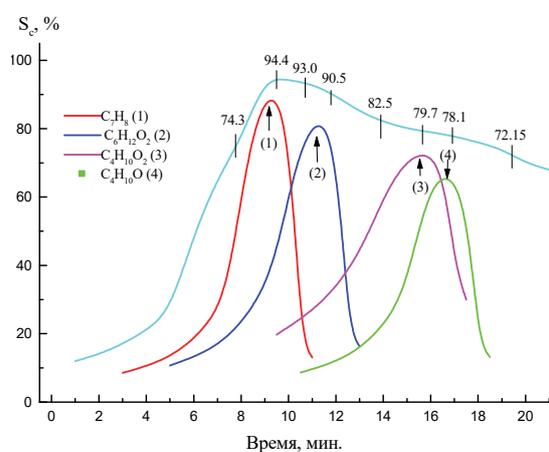
P645



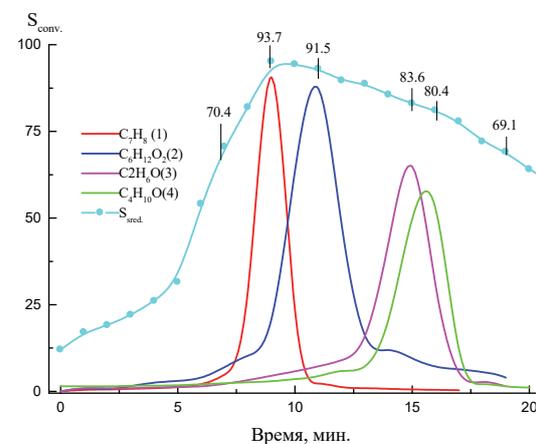
P646



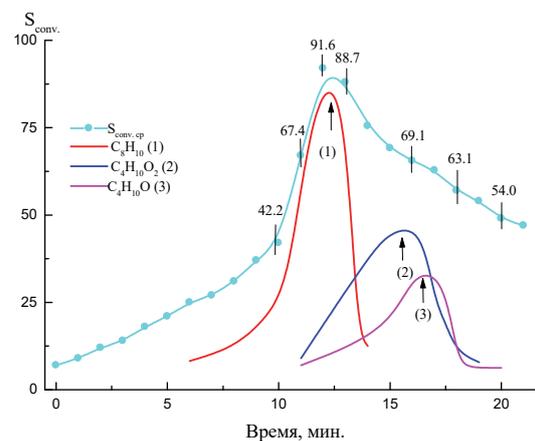
P647



P648



P649



P650

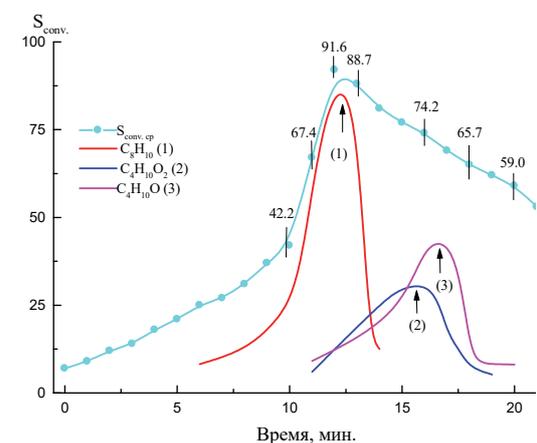


Рисунок 3 – Графики конверсии паров смесевых растворителей серии 645-650

Степень конверсии компонентов смесевых растворителей составляет 65,5–94,4 %, несмотря на то, что концентрации веществ, поступающих в каталитический реактор на заключительной стадии термодесорбции, имеют относительно низкие значения.

За счет инерционности процесса разогрева в объеме катализатора создается зона высокотемпературного горения, где в автокаталитическом режиме реализуется процесс каталитического разложения паров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lomonosov V.A., Panasyugin A.S., Smorygo O.L. et al. Pd/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts on cellular supports for VOC vapor neutralization// Catalysis in Industry, 2010, Vol. 2, No 4, pp. 387 – 392

2. Панасюгин А.С., Ломоносов В.А., Смoryго О.Л. Использование адсорбционно-каталитического метода для очистки вентвыбросов формовочных участков литейных цехов от паров фенола и формальдегида// Литье и металлургия”2014., № 2, с. 19-25.

3. Цыганов А.Р., Панасюгин А.С., Павловский Н.Д. и др/ Обезвреживание паров производных бензола адсорбционно-каталитическим методом// Литье Украины, 2019, № 6, с. 2-5.

4. Панасюгин А.С., Ломоносов В.А., Смoryго О.Л. Использование адсорбционно-каталитического метода для очистки выбросов в атмосферу, образующихся при использовании антипригарных покрытий, содержащих этиловый спирт // Литье и металлургия 2014, №4, с.44-46.

5. Панасюгин А.С., Цыганов А.Р., Григорьев С.В. и др./ Обезвреживание паров пропанола и изопропанола адсорбционно-каталитическим методом // Литье Украины 2017, №3, с.2-5.

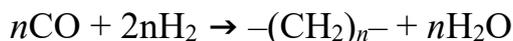
УДК 665.7

**Фейгин Е.С., Елисеев О.Л.**

(РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина)

### **ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА КАРБОНИЗАЦИИ НОСИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА КАТАЛИЗАТОРА FE/MGAL<sub>2</sub>O<sub>4</sub> СИНТЕЗА УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ СО И Н<sub>2</sub>**

Каталитическое гидрирование монооксида углерода (синтез Фишера – Тропша) — перспективный метод получения экологически-чистых моторных топлив, масел и полупродуктов органического синтеза на базе нефтяного сырья — угля, природного и попутного газов, биомассы [1, 2]:



Железные катализаторы для этого процесса выгодно отличаются низкой стоимостью, широким температурным интервалом работы,

низкой селективностью метанообразования. Однако недостатком нанесенных на традиционные оксидные носители (глинозем, силикагель) катализаторов синтеза Фишера–Тропша является сильное взаимодействие металл-носитель, приводящее к формированию смешанных оксидных фаз, не восстанавливаемых в ходе активации катализатора и не активных в гидрировании СО. Активной фазой железных катализаторов являются, по современным представлениям, карбиды железа, которые образуются в процессе активации или в ходе самого синтеза, при взаимодействии оксидов железа с СО [3, 4].

В настоящей работе нами предложено карбонизировать поверхность носителя (Mg-Al шпинели) путем термического разложения предварительно нанесенной глюкозы. Полученный композит использован для нанесения активной фазы — железа и калия (промотор) путем совместной пропитки из водного раствора  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{KNO}_3$ . Такой метод приготовления катализатора, как мы показали, способствует формированию поверхностного карбида Хэгга и его большей дисперсности. В результате удельная активность резко возрастает, повышается селективность по целевым высшим углеводородам и доля олефинов в продуктах синтеза.

Содержание Fe в готовых катализаторах по данным атомно-абсорбционной спектроскопии составляло 12,5–13%, содержание калия 2%. Нанесение этих компонентов на чистую шпинель оказало незначительное влияние на текстурные свойства материала: удельная площадь поверхности по БЭТ и средний диаметр пор практически не изменились. Однако предварительная карбонизация носителя привела к резкому росту удельной поверхности, особенно для не содержащего калий образца. Характеристика катализатора представлена в таблице 1.

Магнитные свойства соединений железа (ферримагнетик магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , антиферромагнетик гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ферромагнетики Fe и  $\chi\text{-Fe}_5\text{C}_2$  с различными точками Кюри) позволяют различать и количественно характеризовать эти соединения в катализаторах.

**Таблица 1 – Характеристики полученных катализаторов по данным низкотемпературной адсорбции азота**

Образец	$S_{\text{уд}}, \text{ м}^2/\text{г}$	D, нм
$\text{MgAl}_2\text{O}_4$	14,8	32,3
$\text{FeK}/\text{MgAl}_2\text{O}_4$	13,0	32,3
$\text{Fe}/\text{C}/\text{MgAl}_2\text{O}_4$	59,5	31,6
$\text{FeK}/\text{C}/\text{MgAl}_2\text{O}_4$	29,9	10,3

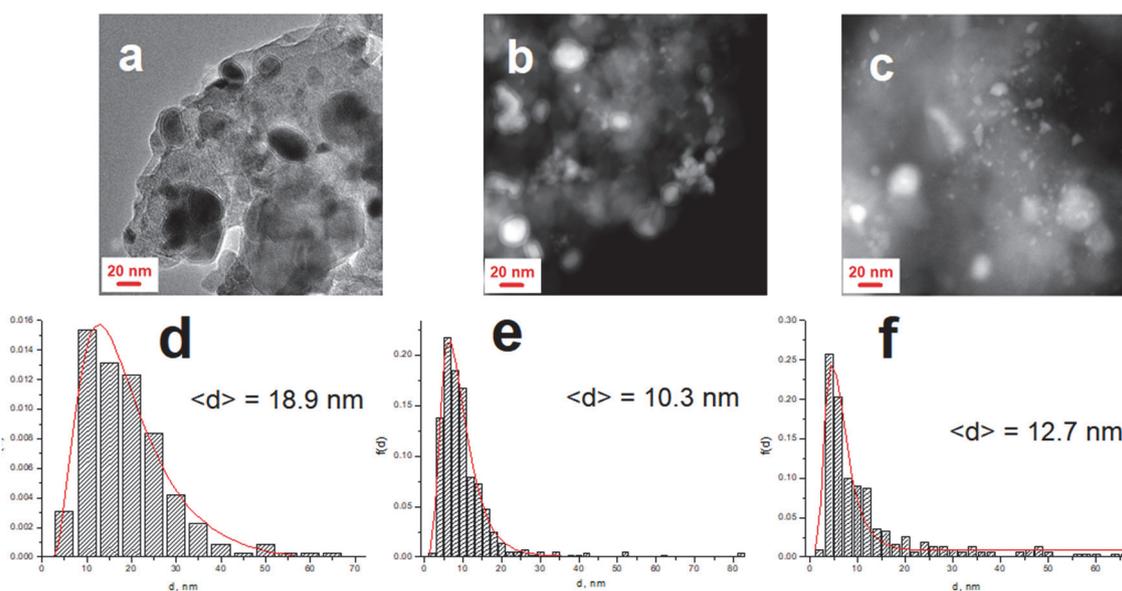
В прокаленном  $\text{FeK}/\text{MgAl}_2\text{O}_4$  железо находится в виде гематита. Напротив, в  $\text{Fe}/\text{C}/\text{MgAl}_2\text{O}_4$  обнаруживается магнетит, что говорит о частичном

восстановлении  $\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Fe}^{+2}$  поверхностным углеродом в ходе прокаливания прекурсора. Активация образцов в синтез-газе  $\text{CO}:\text{H}_2 = 1:1$  при  $450^\circ\text{C}$  в течение 1 часа привела к образованию единственной карбидной фазы — карбида Хэгга  $\chi\text{-Fe}_5\text{C}_2$ . Его содержание в разных образцах было измерено, на основании чего была вычислена степень восстановления Fe в активированных катализаторах. Выяснилось, что карбидизация протекает практически полностью на предварительно карбонизированной поверхности, в отличие от образца сравнения FeK/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, не содержащего углерода. Результаты сравнения представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Содержание Fe в прокаленных катализаторах и степень его превращения в  $\chi\text{-Fe}_5\text{C}_2$  при активации в  $\text{CO}:\text{H}_2 = 1:1$  при  $450^\circ\text{C}$ .**

Образец	Содержание Fe, %	Конверсия Fe в $\chi\text{-Fe}_5\text{C}_2$ , %
FeK/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	12,5	59
Fe/C/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	12,5	100
FeK/C/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	13,0	100

По данным просвечивающей электронной микроскопии отработанных катализаторов, карбонизация носителя приводит к повышению дисперсности активной фазы. Для FeK/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> характерно широкое распределение частиц карбида со средним размером 18,9 нм, а у карбонизированных Fe/C/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> и FeK/C/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> средний размер частиц составляет 10,3 и 12,7 нм соответственно, при этом распределение более узкое, что представлено на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Микрофотографии и гистограммы распределения частиц FeK/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (a, d), Fe/C/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (b, e), FeK/C/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (c, f)**

Каталитические испытания в течение 60 часов при температуре 210°C, давлении 2 МПа и соотношении CO:H<sub>2</sub> = 1:1 показали, что карбонизированный катализатор FeK/C/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> обладает почти вдвое более высокой активностью по сравнению с референсным образцом FeK/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. По-видимому, объяснением является большая дисперсность активной фазы в карбонизированном катализаторе. Также у него выше селективность по целевым углеводородам C<sub>5+</sub> и выше содержание олефинов в продуктах. Результаты испытаний в таблице 3.

**Таблица 3 – Показатели каталитической активности**

Катализатор	FeK/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Fe/C/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	FeK/C/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Конверсия CO, %	44	97	83
Удельная активность, ммоль/сольFe <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup>	5,6	12,4	10,1
Селективность по углеводородам, %			
CH <sub>4</sub>	5,2	13,7	3,1
C <sub>2</sub> –C <sub>4</sub>	12,6	17,0	10,8
C <sub>5+</sub>	82,2	69,3	86,1
Олефины, %			
в C <sub>2</sub> –C <sub>4</sub>	79,3	20,8	89,0
в C <sub>5+</sub>	43,7	5,5	53,2

Сравнение каталитических свойств Fe/C/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> и FeK/C/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> показывает, что промотирующее влияние калия выражается в резком снижении метанирования, росте выхода высших углеводородов и содержания в них олефинов. Однако, активность подщелоченного катализатора немного ниже.

Таким образом, промотированный калием Fe-катализатор на носителе — карбонизированной Mg-Al шпинели — демонстрирует высокие показатели в синтезе углеводородов из CO и H<sub>2</sub>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. O.L. Eliseev, A.P. Savost'yanov, S.I. Sulima, A.L. Lapidus, Mendeleev Communication, – 2018. P. 28, 345–351.
2. A.Y. Khodakov, W. Chu, P. Fongarl, Chemical Reviews, – 2007, P. 107, 1692–1744.
3. H.M.T. Galvis, A.C. Koeken, J.H. Bitter, T. Davidian, M. Ruitenbeek, A.I. Dugulan, K.P. de Jong, J. Catalizator, – 2013, P. 303, 22–30.
4. P.P. Paalanen, S.H. van Vreeswijk, Bert M. Weckhuysen ACS Catalizator, – 2020, P. 10, 9837–9855.

## **РАЗРАБОТКА ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

На нефтеперерабатывающих заводах России вырабатывается огромное количество нефтепродуктов, в том числе, дизельных топлив (ДТ). Объем производства летних сортов дизельных топлив составляет порядка 90% от общего производства ДТ. Потребность в низкозастывающих нефтепродуктах растет с каждым годом. Наиболее рациональный способ улучшения низкотемпературных свойств топлив – использование химических реагентов, таких как депрессорные присадки (ДП).

В связи с этим актуальной задачей является разработка и подбор химических реагентов - присадок для получения низкозастывающих дизельных топлив.

Целью работы являлась разработка поликонденсационных депрессорных присадок для дизельных топлив с использованием в качестве исходных веществ высших жирных спиртов (ВЖС), пиромеллитового диангида (ПДА) и этиленгликоля (ЭГ).

Практическая часть. В процессе работы проводились разработки присадок и экспериментальные исследования

низкотемпературных свойств на компонентах дизельных топлив.

В результате проведения исследований разработаны поликонденсационные депрессорные присадки различного химического строения, отличающиеся простой и безотходной технологией. Определены основные параметры синтеза: температура, продолжительность синтеза и соотношение исходных реагентов.

Показано, что разработанные поликонденсационные присадки по депрессии температуры застывания и минимальному расходу на примере компонента дизельного топлива Сургутского завода стабилизации конденсата имеют высокий депрессорный эффект.

Установлено, что по депрессии температуры застывания при одинаковом расходе, полиэфирные присадки на основе ПДА находятся на одном уровне или несколько превосходят известные сополимеры алкилметакрилата с винилацетатом.

Конденсацией высших жирных спиртов, пиромеллитового диангида и этиленгликоля синтезированы полиэфирные депрессорные присадки к компоненту дизельного топлива Сургутского завода стабилизации конденсата.

Изучено влияние мольного соотношения исходных реагентов, температуры и продолжительности синтеза на эффективность синтезированных присадок-реагентов.

Установлено, что при уменьшении мольного отношения ВЖС к ПДА от 3,0 до 1,5 и одновременном увеличении мольного отношения ЭГ к ПДА от 0,6 до 2,0 наблюдается заметное улучшение депрессорных свойств присадок проходящее через максимум при соотношении ВЖС: ПДА : ЭГ = 2,0 : 1,0 : 2,0.

Определены оптимальные условия синтеза сложноэфирных присадок: 1-ая стадия – температура 198°C, продолжительность синтеза 4 ч; 2-ая стадия – 198°C, продолжительность синтеза 4 – 7ч.

Показано, что при оптимальном мольном соотношении ВЖС : ПДА : ЭГ = 2,0 : 1,0 : (1,0–2,0) достигнуто понижение температуры застывания компонента дизельного топлива с минус 16°C до минус 20°C при концентрации присадки 0,005%масс и до минус 41–44°C при содержании ДП 0,05–0,1%масс.

С учетом простоты технологии, безотходности производства и достаточно высокой эффективности синтезированные в работе присадки – реагенты могут быть рекомендованы для снижения температуры застывания дизельных топлив.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.М. Глазунов, А.Г. Мозырев, С.П. Семухин, Е.О. Землянский Поликонденсационные депрессорные присадки для нефтяных продуктов с использованием высших жирных спиртов // Нефть и газ. Изв. ВУЗ. – 2019. – № 5. С. 125–131.

УДК 665.777.4, 544.723.21

Юхно Д.С., Ермак А.А.  
(ПГУ имени Евфросинии Полоцкой)

#### **ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НЕФТЯНОГО КОКСА В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ НА ЕГО СВОЙСТВА**

В промышленности в качестве базового процесса для улучшения свойств нефтяного кокса наиболее широкое применение нашел процесс его прокалики. В процессе термообработки изменяется структура кокса, в т.ч. его пористость. Пористость нефтяного кокса оказывает существенное влияние на его удельную поверхность и сорбционные свойства. Однако, несмотря на устоявшееся применение в промышленности,

термообработка в атмосфере инертных газов является достаточно энергозатратной. В связи с этим, представляет интерес термическая обработка сернистого кокса в окислительной атмосфере при более низких температурах с целью улучшения его сорбционных свойств [1-3].

Исходный образец сырого нефтяного кокса, полученный из гудрона, представляет собой гранулы неправильной формы черного цвета с металлическим блеском. Данный образец кокса является высокоуглеродным соединением с высоким содержанием серы и имеет следующий элементный состав: содержание углерода – 90,24 % масс., водорода – 3,94 % масс., серы – 4,1 % масс., азот – 1,48 % масс., металлы – 0,24 % масс. Микроструктура образцов кокса, согласно ГОСТ 26132-84, оценивается, 3-4 баллами, что соответствует мелко- и средневолокнистой структуре соответственно с размером волокон от 10 до 30 мкм. Насыпная плотность исследуемого кокса составляет 782,25 кг/м<sup>3</sup>. Содержание влаги – 9,2% масс. Содержание летучих соединений в исходном образце кокса по ГОСТ ISO 562-2012 составляет 8,5 % масс.

Для изучения сорбционных характеристик сырого кокса проводилась адсорбция азота при температуре 77 К и паров воды при температуре 293 К. Образцы перед испытанием подвергались предварительной подготовке путем термообработки при 180 °С под вакуумом в течение 2-х часов для дегазации и удаления адсорбированной воды. По полученным изотермам адсорбции/десорбции жидкого азота и паров воды проводился расчет характеристик сырого кокса.

Удельная площадь поверхности методом BET у исходного кокса составляет 13,702 м<sup>2</sup>/г при адсорбции азота и 7,4314 м<sup>2</sup>/г при адсорбции паров воды. Общий объем пор, определенный по методу BET, – 3,1481 см<sup>3</sup>(STP)/г при адсорбции азота и 2,2128 см<sup>3</sup>(STP)/г при адсорбции паров воды. Средний диаметр пор кокса по методу BET составляет 2,2477 нм при адсорбции азота и 2,7367 нм при адсорбции паров воды.

Средний диаметр микропор, определенный по методу НК, при адсорбции азота равен 1,1108 нм. При адсорбции паров воды величина данного показателя ниже и составляет 0,8282 нм. Удельная поверхность микропор по методу НК при адсорбции паров воды выше, чем при адсорбции азота и равна соответственно 7,8057 м<sup>2</sup>/г и 7,1017 м<sup>2</sup>/г.

Основное количество мезопор, определенных по методу ВЖ, в исследуемом образце нефтяного кокса имеют размер от 2 до 3 нм. Мезопор с размером более 10 нм в образце нефтяного кокса не обнаружено. Средний диаметр мезопор составляет 2,9207 нм. Удельная поверхность мезопор по методу ВЖ составила 3,7255 м<sup>2</sup>/г. Суммарный объем мезопор в нефтяном коксе равен 2,7202 мм<sup>3</sup>/г.

Энергия адсорбции азота на поверхности нефтяного кокса, определенная по методу DA, выше по сравнению с энергией адсорбции паров

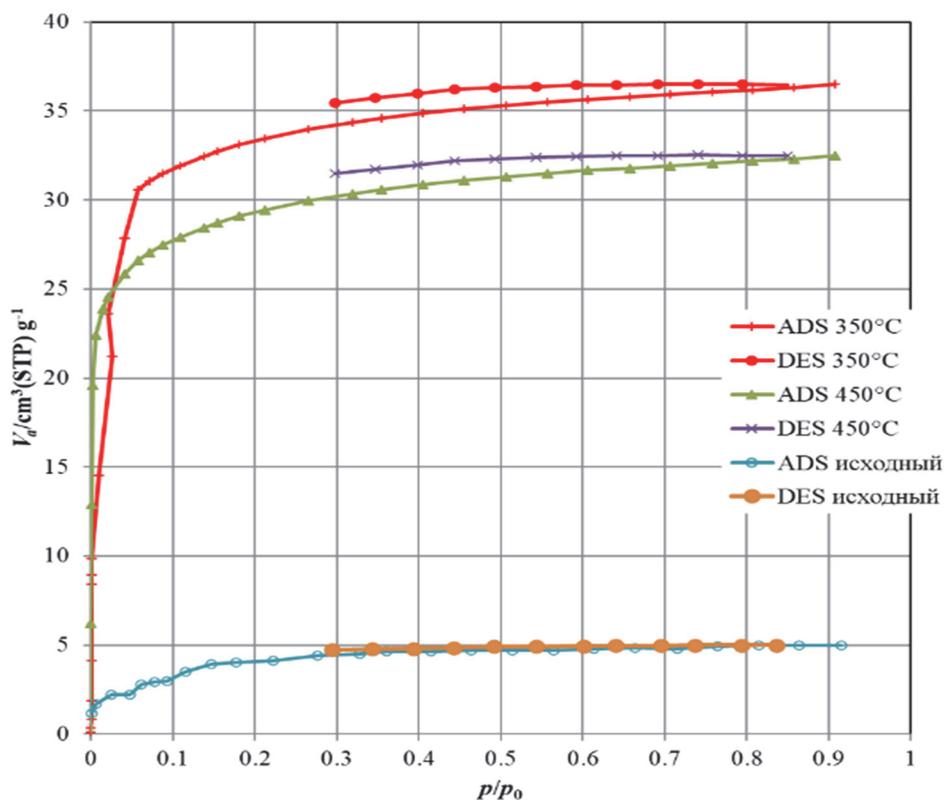
воды в 1,6 раза, что свидетельствует о низкой полярности поверхности нефтяного кокса.

На основании проведенных исследований можно сделать следующий вывод – исследуемый образец нефтяного кокса имеет низкую пористость и неразвитую поверхность. При этом поверхность кокса обладает низкой полярностью. Следовательно, исследуемый нефтяной кокс малопригоден для использования в качестве адсорбента.

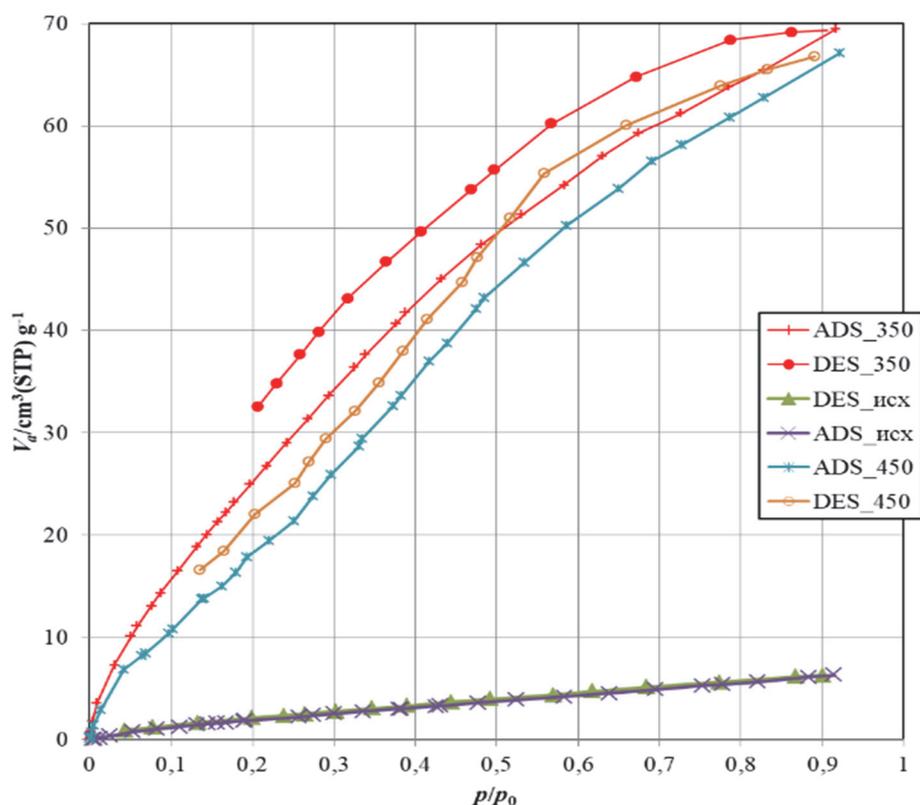
Затем для увеличения пористости и удельной поверхности образцы исходного кокса предварительно просушили при температуре 105°C до постоянной массы и прокалили в муфельной печи при температурах 250°C, 350 °C и 450°C в течении 2 часов, где окислительной атмосферой являлся воздух. После прокалики определялись сорбционные характеристики полученных образцов термообработанного нефтяного кокса.

В процессе обработки образцов при температуре 250°C свойства кокса не изменяются.

После обработки кокса в окислительной атмосфере при температуре 350°C потеря массы составила 16,44 % масс., при этом также увеличился примерно в 1,7 раза показатель истинной плотности, что, вероятно, связано с выгоранием части кокса.



**Рисунок 1 – Влияние термообработки кокса на изотермы адсорбции/десорбции азота**



**Рисунок 2 – Влияние термообработки кокса на изотермы адсорбции/десорбции паров воды**

Как при адсорбции азота, так и при адсорбции паров воды удельная площадь поверхности по методу ВЕТ увеличилась до значений выше  $100 \text{ м}^2/\text{г}$ , а общий объём пор по методу ВЕТ составил около  $30 \text{ см}^3(\text{STP})/\text{г}$ . Также увеличивается соотношение констант скорости адсорбции/десорбции, а средний диаметр пор при этом уменьшается, что обусловлено образованием микропор в процессе термической обработки.

Суммарный объём микропор, определенный по методу НК, увеличился в 13,5 раз до  $53,302 \text{ мм}^3/\text{г}$  при использовании азота в качестве адсорбтива. При этом, образовавшиеся микропоры имеют средний размер меньше, чем у исходного кокса.

В ходе термической обработки кокса также увеличивается объём и средний размер мезопор. Суммарный объём мезопор в коксе, определенный по методу ВЖН, после термообработки в 3,5 раза больше, чем в исходном коксе, и составляет  $9,3851 \text{ мм}^3/\text{г}$  при адсорбции азота. При этом, основной объём мезопор в прокаленном коксе сосредоточен в диапазоне пор с размером  $2,1\text{--}2,5 \text{ нм}$ .

С увеличением температуры прокалки кокса выше  $350 \text{ °C}$  наблюдается усиленная окислительная термическая деструкция нефтяного

кокса. При 450°C интенсифицируется процесс выгорания, и потеря массы кокса составила более 50 % масс. Это также косвенно подтверждает сведения о повышении хрупкости коксов при термообработке. Незначительное увеличение истинной плотности и снижение удельной поверхности при увеличении температуры обработки образцов вероятно связано с протеканием процессов уплотнения слоев у кокса и увеличения степени анизотропии.

С увеличением температуры обработки вместе со снижением удельной площади поверхности снижается и общий объем пор по методу ВЕТ, (в т.ч. микропор по методу НК) как при адсорбции азота, так и при адсорбции паров воды.

Таким образом, при термической обработке формируются преимущественно микропоры различного размера и объема. Наиболее оптимальная температура обработки кокса в воздушной среде составляет 350 °С. Путем такой термической обработки нефтяного кокса, полученного из гудрона в процессе замедленного коксования нефтяных остатков может быть получен неполярный пористый адсорбент с удельной поверхностью более 100 м<sup>2</sup>/г, содержащий как микро, так и мезопоры. Выход сорбента на исходный нефтяной кокс составляет около 80% масс.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметов, М.М. Получение малосернистых коксов из сернистых нефтей. – Уфа: Изд-во ГУП ИНХП РБ, 2010. – 180 с. Гуль В. Е. Структура и прочность полимеров. — М.: Химия. — 1971
2. Meyers, R.A., Coal Desulfurization, Marcel Dekker, New York, NY, 1977. – 254 p.
3. Al-Haj Ibrahim, H. Desulfurization of Petroleum Coke: A Review / H. Al-Haj Ibrahim, B. Morsi // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 1992. – Vol. 31, Iss.8. – p.1835-1840.

УДК 622.691

**Бердашкевич В.В.**

(ПГУ имени Ефросинии Полоцкой)

### **ОЦЕНКА ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

Фактический срок эксплуатации части газопроводов превысил нормативный срок службы, который составляет 40 лет. После достижения данного срока требуется выполнение мероприятий по техническому обследованию. [1]

В отличие от магистральных трубопроводов в распределительных сетях низкого давления избыточное давление не вызывает таких значительных напряжений в металле труб, что снижает скорость деградации их служебных свойств. Таким образом, встает вопрос об обоснованности 40-летнего нормативного срока службы распределительных газопроводов и возможности его изменения в сторону его увеличения для уменьшения вреда экологии.

Научные основы определения технического состояния включают:

– обоснование параметров, с помощью которых оценивается его техническое состояние;

– определение критериев достижения предельного состояния;

– оценку напряженно-деформированного состояния конструкций;

– установление механизма деградации материала.

Классический подход к анализу материала конструкций газопроводов предусматривает оценку во взаимосвязи изменений во времени его химического состава, структуры и механических свойств в зависимости от влияния внешних факторов (температуры, давления и воздействия агрессивных сред) [2].

Для оценки состояния материала труб распределительных газопроводов нами была разработана программа испытаний и проведена серия экспериментов. Испытаниям подвергался основной металл и сварные соединения сетевых газопроводов, которые эксплуатируются более 30 лет. Определено 49 мест для вырезки участков газопроводов. Минимальная толщина стенки составляла 4°мм, диаметр – не менее 89°мм. По возможности для исследований выбирали трубы, которые эксплуатировались в наихудших условиях: с малым радиусом изгиба, что ведет к повышенным напряжениям в металле труб в процессе эксплуатации, и в грунтах с высокой коррозионной активностью.

Отбор проб для испытаний на растяжение и ударный изгиб проводился по ГОСТ 7564 [3]. Из объектов исследования изготавливались стандартные образцы.

Испытания на растяжение проводились на разрывной машине ZD 10/90 №55/72 (свидетельство о калибровке ВУ 01 №3096-41 от 08.09.2020 г. Объем испытаний составлял не менее 2 образцов для определения значений на каждую исследуемую точку. Для испытания на ударный изгиб по ГОСТ 9454 [4] изготавливались образцы длиной 55 мм, шириной 8 мм, с V-образным концентратором напряжений

Химический состав трубных сталей определяли спектроскопическими методами.

Результаты исследований наносили на временную шкалу. После чего устанавливали наличие деградации механических свойств и анализировали

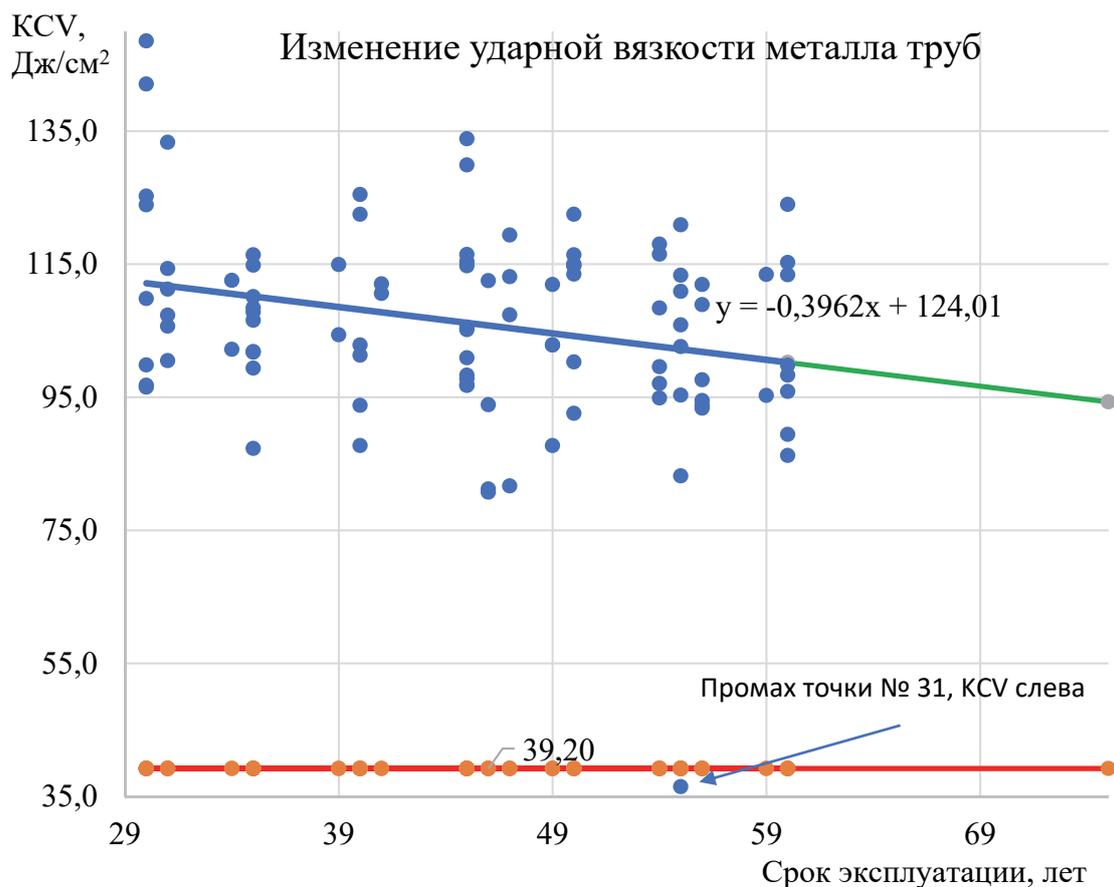
изменения, происходящие в материале. По каждому из выбранных критериев проводили статистическую обработку экспериментальных данных согласно [5], их аппроксимацию и последующую экстраполяцию (выбор функции экстраполяции определялся наиболее быстрым снижением свойств при высоком коэффициенте возможной корреляции) с целью оценки возможности эксплуатации в течение не менее 15 лет. В качестве предельных значений принимались минимальные нормативные значения исследуемых параметров.

**Таблица 1 — Результаты статистической обработки изменений свойств металла труб**

№	Статистический параметр	Ударная вязкость, КСV, Дж/см <sup>2</sup> ,	Относительное удлинение $\delta_5$ , %,	Предел текучести $\sigma_{02}$ , МПа,	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Предел прочности сварного шва $\sigma_b$ , МПа
2	Среднее значение от шва ( $X_{ср}$ )	105,8	32,4	347,3	445,0	441,3
3	Стандартное отклонение S по генеральной совокупности	17,025	4,070	37,516	33,668	37,282
4	Стандартное отклонение среднего $S_{ср}$	2,4321	0,5814	5,3594	4,8097	6,6960
6	Доверительный интервал ДИ = $t \cdot S_{ср}$	4,890	1,169	10,776	9,671	13,675
7	Относительная ошибка $\delta$ , %	4,6221	3,6082	3,1026	2,1731	3,0985
9	Предельная остаточная погрешность первичных измерений данной серии	43,787	10,467	96,491	86,594	89,513

Промахом считается любой отслеживаемый параметр  $x_i$ , для которого  $|\Delta x_i| > f_{np.n}$ . Это условие выполняется для одной точки №31, поэтому все измерения в данной серии принимаются действительными для дальнейшего анализа.

Нормативный срок службы распределительных газопроводов может быть увеличен с 40 до 55 лет при условии сохранения текущей политики эксплуатации. Увеличение срока службы только до 55 лет обусловлено тем, что сохраняется достаточный срок до исчерпания остаточного ресурса по критерию ударной вязкости, а также увеличением дисперсии значений контролируемых параметров.



**Рисунок 2 – Аппроксимация изменения ударной вязкости металла труб КCV слева от шва (синяя линия) по сроку эксплуатации, лет, и её экстраполяция (зелёная линия). Красная линия – нормативное значение КCV**

При увеличении срока службы газопровода, мы уменьшаем количество проводимых работ по замене трубопровода и следовательно уменьшаем влияние в ухудшение экологической ситуации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Газораспределение и газопотребление: СН 4.03.01-2019. – Введ. 21.09.2020 (с отменой ТКП 45-4.03-267-2012 (02250), ТКП 45-4.03-257-2012 (02250) (в части проектирования газопроводов из полиэтиленовых труб)). – Минск: Стройтехнорм, 2020. – 113 с.

2. РД 03-421-01. Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного ресурса службы сосудов и аппаратов, СПб.: ЦОТПБСП, 2003, р. 136 с

3. ГОСТ 7564. Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний, Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997, р. 15 с.

4. ГОСТ 9454-78. Металлы. Методы испытаний на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах, М.: Издательство стандартов, 2008.

5. Камкина, Л.В., Надточий, А.А., Гришин, А.М., Стогний, Ю.Д., Основы научных исследований: Учебное пособие, Днепропетровск: НМетАУ, 2013, 88 с.

УДК 665.7

**Сивцова Е.Ю., Скрипаль Н.С.**

(Институт органической химии им. Н.Д.Зелинского РАН (ИОХ РАН)

**Агафонов Ю.А.**

(РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина)

### **ДЕГИДРИРОВАНИЕ НИЗШИХ АЛКАНОВ НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОКСИДНО-ХРОМОВЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ**

В настоящее время, каталитическое дегидрирование низших алканов в присутствии диоксида углерода активно изучается в различных институтах мира, поскольку присутствие  $\text{CO}_2$  позволяет повысить стабильность работы систем и, в ряде случаев, повысить выход целевых олефинов. Реализованные в промышленности процессы дегидрирования ограничены низкими выходами олефинов (не более 30–35 % за один проход). Одной из причин низкой эффективности используемых катализаторов является применение оксида алюминия в качестве носителя, который в свою очередь имеет высокую кислотность и чувствительность к присутствию воды в реакционной зоне. В настоящей работе предлагается использовать в качестве носителя промышленный КСКГ, который отличается низкой кислотностью, а катализаторы на его основе устойчивы к влиянию воды. Такой подход позволяет существенно повысить эффективность дегидрирования, увеличивая выход олефинов и время непрерывной работы. [1, 2] Однако, у оксидно-хромовых катализаторов есть и другая проблема – потеря активности в процессе работы вследствие агломерации активной фазы.

Настоящая работа посвящена изучению возможности повышения активности и стабильности оксидно-хромовых катализаторов дегидрирования пропана и изобутана в присутствии  $\text{CO}_2$ , нанесенных на силикагель, введением модифицирующих добавок кальция.

Объектом исследований был выбран катализатор с содержанием хрома 3% масс. Такая система обладает высокой активностью близкой

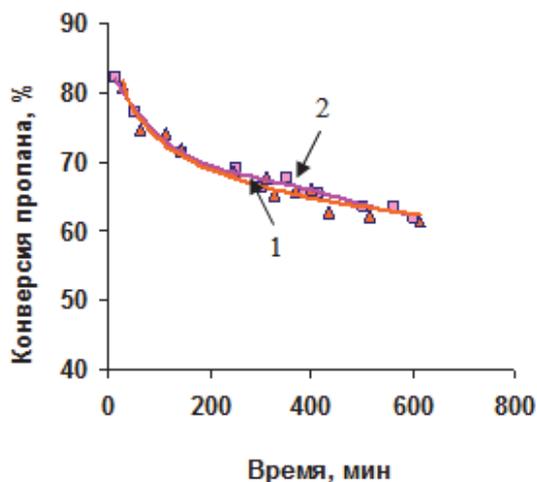
к максимуму для этих систем, при этом эффект агломерации активной фазы выражен заметнее, чем при более низких содержаниях хрома [1, 2]. С целью повышения эффективности  $\text{Cr}(3\%)\text{O}_x/\text{KCKГ}$  было решено модифицировать носитель (KCKГ) нанесением кальция из водного раствора соответствующего нитрата перед нанесением оксидно-хромовой фазы.

При этом нанесение кальция производилось методом равновесной адсорбции, т.е. на носитель переносился только тот кальций, которому было выгодно перейти из раствора на поверхность. Количество кальция в растворе было из расчёта 10 % масс. % при его полном осаждении. После кальцинации модифицированного кальцием носителя производилось нанесение хрома методом осаждения из водного раствора нитрата.

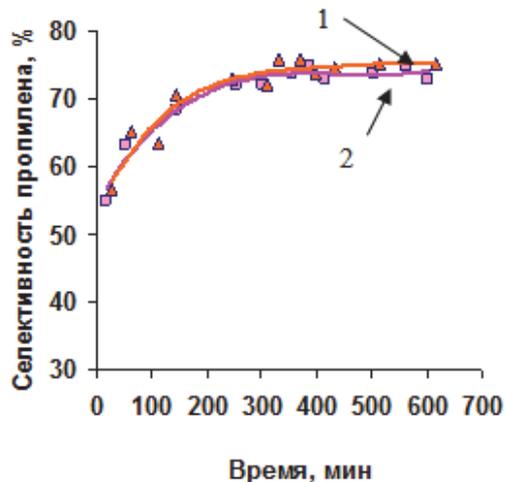
Исследования активности катализаторов для реакций дегидрирования пропана и изобутана в присутствии  $\text{CO}_2$  осуществлялся на проточной установке при атмосферном давлении и температуре  $600^\circ\text{C}$ , скорость подачи реакционной смеси составляла  $200\text{ ч}^{-1}$ . (Исходная смесь имела следующий состав:  $\text{C}_3\text{H}_8:\text{CO}_2:\text{N}_2 = 15:30:65$ ) В ходе работы периодически отбирались пробы на хроматографический анализ состава результирующей смеси. После окончания эксперимента отработанный катализатор отправляли на регенерацию в токе воздуха при температуре  $600^\circ\text{C}$  в течении 6ч.

На первом этапе была изучена активность модифицированного катализатора –  $\text{Cr}(3\%)\text{O}_x/\text{PA}(10)\text{Ca}/\text{KCKГ}$  в дегидрирования пропана в присутствии  $\text{CO}_2$ .

Результаты изучения активности этого катализатора приведены на рисунках 1 и 2.



**Рисунок 1 – Зависимость конверсии пропана от времени работы катализатора  $\text{Cr}(3\%)\text{O}_x/\text{PA}(10)\text{Ca}/\text{KCKГ}$ :  
1 – свежий катализатор;  
2 – после регенерации**

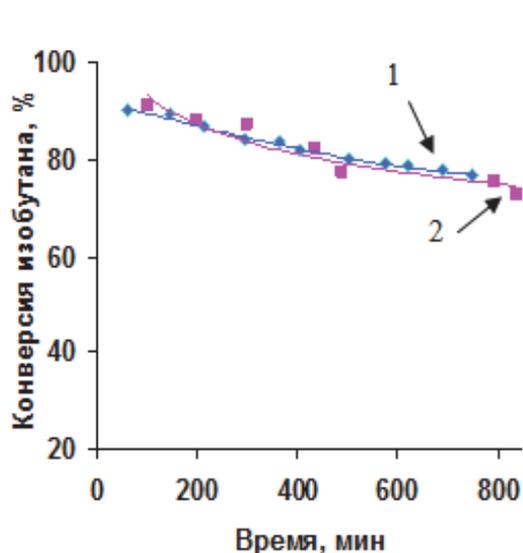


**Рисунок 2 – Зависимость селективности пропилена от времени работы катализатора  $\text{Cr}(3\%)\text{O}_x/\text{PA}(10)\text{Ca}/\text{KCKГ}$ :  
1 – свежий катализатор;  
2 – после регенерации**

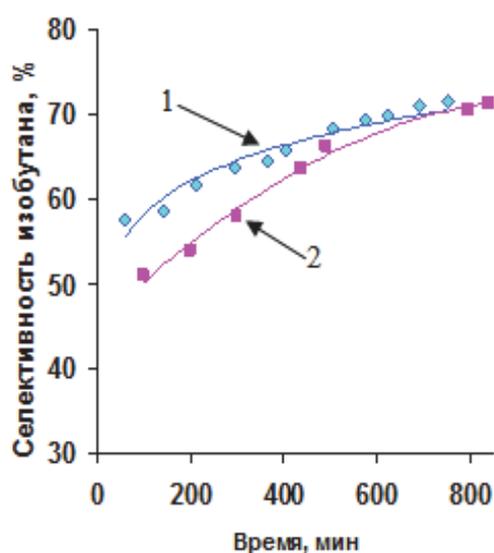
Результаты показывают, что в ходе работы катализатор теряет свою активность, при этом выход по пропилену растёт. Необходимо отметить, ход зависимостей активности и селективности свежего образца практически полностью воспроизводится после регенерации.

На следующем этапе была изучена активность катализатора  $\text{Cr}(3\%)\text{O}_x/\text{PA}(10)\text{Ca}/\text{KCKГ}$  для процесса дегидрирования изобутана в присутствии  $\text{CO}_2$  (Исходная смесь имела следующий состав:  $i\text{-C}_4\text{H}_{10}:\text{CO}_2:\text{N}_2 = 15:30:65$ ). Основные результаты представлены на рисунках 3 и 4.

Результаты показывают, что в ходе работы катализатор теряет свою активность, при этом выход по изобутену растёт, как и в случае дегидрирования пропана. Несмотря на то, что ход зависимости селективности по изобутену после регенерации меняется (рис.4), видно, что спустя 600–700 мин работы показатели выравниваются.



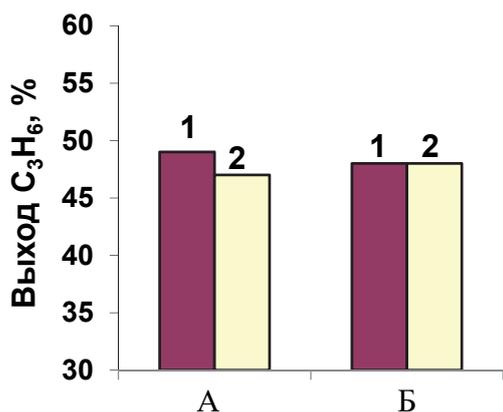
**Рисунок 3 – Зависимость конверсии изобутана от времени работы катализатора  $\text{Cr}(3\%)\text{O}_x/\text{PA}(10)\text{Ca}/\text{KCKГ}$ :**  
1 – свежий катализатор;  
2 – после регенерации



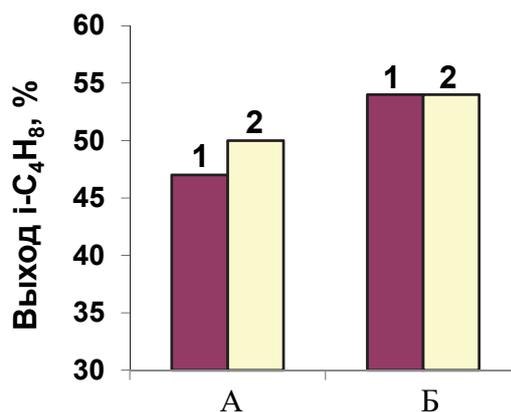
**Рисунок 4 – Зависимость селективности про изобутену от времени работы катализатора  $\text{Cr}(3\%)\text{O}_x/\text{PA}(10)\text{Ca}/\text{KCKГ}$ :**  
1 – свежий катализатор;  
2 – после регенерации

На гистограмме, представленной на рисунке 5 и 6, приведено сравнение выхода пропилена и изобутена на свежем и регенерированном образцах через 10 часов от начала работы модифицированного кальцием и немодифицированного образца  $\text{Cr}(3\%)\text{O}_x/\text{KCKГ}$ .

В ходе исследований было показано, что введение модифицирующих добавок кальция в оксидно-хромовый катализатор на основе силикагеля приводит к стабилизации их работы в дегидрировании в присутствии  $\text{CO}_2$  как пропана, так и изобутана.



**Рисунок 5 – Гистограмма сравнения выхода пропилена после 600 минут работы модифицированного и немодифицированного катализаторов;**  
 А – Cr(3%)O<sub>x</sub>/КСКГ;  
 Б – Cr(3%)O<sub>x</sub>/РА(10)Са/КСКГ;  
 1 – свежий катализатор;  
 2 – после регенерации



**Рисунок 6 – Гистограмма сравнения выхода изобутана после 600 минут работы модифицированного и немодифицированного катализаторов;**  
 А – Cr(3%)O<sub>x</sub>/КСКГ;  
 Б – Cr(3%)O<sub>x</sub>/РА(10)Са/КСКГ;  
 1 – свежий катализатор;  
 2 – после регенерации

В последнем случае также наблюдается рост выхода целевого продукта. Полученный эффект может быть связан с тем, что введенный модификатор препятствует диффузии и агломерации оксидно-хромовой фазы на поверхности носителя при высокой температуре проведения процесса [1, 2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.А.Агафонов, Н.А.Гайдай, А.Л.Лapidус. Известия Академии наук. Серия химическая, 2014, № 2. С. 381–388.
2. Ю.А.Агафонов, Н.А.Гайдай, А.Л.Лapidус. Кинетика и катализ. 2018. Т.59. №6. С.704–714

УДК: 66.023.23

**Жагфаров Ф.Г., Гайдукова Д.Д.**  
 (РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина)

### **ПРИМЕНЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ ДИСТИЛЛЯЦИИ В ПРОЦЕССЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОЛУЧЕНИЯ МТБЭ**

Развитие отечественной нефтегазовой сферы как никогда актуально, особенно в период затруднений поставок зарубежных технологий. Модернизация производства в первую очередь связана

с энерготехнологическим аспектом, позволяющим разрабатывать высокоэффективные комплексы с минимизацией промышленных и энергетических затрат.

В производственных процессах, связанных с химическими превращениями, проведение реакций и разделение продуктов обычно осуществляются в отдельных устройствах. Во многих случаях возможна более простая конструкция, объединяющая реакционную зону и разделение экстракции в одном и том же блоке оборудования – установке реактивной дистилляции. К преимуществам реактивной дистилляции можно отнести экономию капитальных и эксплуатационных затрат на ректификационную колонну, увеличение конверсии реагентов почти до 100%, что сводит к минимуму затраты на переработку. Данная технология получила широкое распространение в производстве метилтрет-бутилового эфира – антидетонационной присадки, используемой при компаундировании бензинов.

В работе спроектирована инженерная модель аппарата для процессов непрерывной реакционной дистилляции бутенов и метанола с получением МТБЭ с использованием программного обеспечения Aspen Plus. Полученные результаты сравниваются с данными по работе действующей установки с использованием реакторного блока из двух последовательно расположенных аппаратов.

Реакционно-ректификационная колонна МТБЭ разделена на три секции: ректификации, реакции и отпарки. Это позволяет дополнительно использовать тепло экзотермической реакции получения МТБЭ для последующего разделения продуктов. В конкретном случае колонна имеет общее количество теоретических ступеней 16, включая конденсатор и ребойлер [1]. Сырье подается двумя потоками: в верхнюю часть реакционной зоны поступает метанол (5 тарелка), в нижнюю (11 тарелка) – бутан-бутиленовая фракция, состоящая преимущественно из и-бутилена и бутена-1. Параметры моделирования приведены в таблице 1.

Катализатором процесса является сильнокислотная катионообменная смола. Кинетика реакции получения МТБЭ для данного типа каталитической системы воспроизведена в модели исходя из публикации [2]:

$$r = k_f \left( \frac{C_{\text{МЕОН}} \cdot C_{\text{IC4}}^{0.5} - \frac{1}{K_{eq}} \cdot C_{\text{МТБЭ}}^{1.5}}{1 + 5,1 \cdot 10^{-13} \cdot e^{\frac{97500}{RT}} \cdot C_{\text{МЕОН}} + 1,6 \cdot 10^{-16} \cdot e^{\frac{119000}{RT}} \cdot C_{\text{МТБЭ}}} \right)$$

**Таблица 1 – Данные для создания модели в ПО Aspen Plus**

Показатель	Единицы измерения	Значение
Поток ББФ		
Давление на входе	МПа	1,013
Тарелка ввода	–	11
Расход	Кмоль/ч	367,5
Поток метанола		
Давление на входе	МПа	1,014
Тарелка ввода	–	5
Расход	Кмоль/ч	132,0
Колонна реактивной дистилляции		
Давление верха (2 тарелка)	МПа	0,99
Давление низа (15 тарелка)	МПа	1,041
Температура верха (2 тарелка)	°С	68,35
Температура низа (15 тарелка)	°С	136,25
Флегмовое число	–	6,8
Паровое число	–	4,5

Полученные результаты расчета модели реактивной дистилляции сравниваются с рабочими параметрами установки получения МТБЭ, состоящей из двух последовательно включенных реакторов синтеза эфира и разрезной колонны разделения продуктов реакторного блока при одинаковом катализаторе, составе и расходах сырьевых потоков.

**Таблица 2 – Сравнение факта работы установки с предложенной моделью**

Параметр сравнения	Действующая установка	Модель в Aspen Plus
Концентрация МТБЭ в готовом продукте, % масс.	97,56	99,1
Массогабаритные характеристики:		
Высота реактора, м	20 (на два реактора)	–
Высота колонны, м	102 м (на две колонны)	–
Высота колонны реактивной ректификации	–	65
Потребление энергии, кДж/ч	20669713	27569871

По сводным данным таблицы 2 видно, что применение реактивной дистилляции в процессе получения МТБЭ способствует лучшему качеству целевого продукта, при этом данная конструкция позволяет оптимизировать расположение аппаратуры внутри цеха, а также уменьшить металлоемкость целого блока комплексной установки получения МТБЭ. По предварительным расчетам энергетическое потребление при проведении процесса с использованием реактивной дистилляции выше,

чем у стандартных установок в реакторно-ректификационном блоке. Дальнейшая оптимизация рекуперации тепловых потоков с переобвязкой оборудования позволит сократить потребление высокопотенциальной энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Panda D., Kannan A. Equilibrium and Rate Based Simulation of MTBE Reactive Distillation Column // International Journal of Chemical and Molecular Engineering. – 2014. – Т. 8. – №. 10. – С. 1073-1079.

2. Panneman H. J., Beenackers A. A. C. M. Synthesis of methyl tert-butyl ether catalyzed by acidic ion-exchange resins. Influence of the proton activity // Industrial & engineering chemistry research. – 1995. – Т. 34. – №. 12. – С. 4318-4325.

УДК 665.7

**Орлов А.А., Жагфаров Ф.Г.**

(РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина)

### **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АМИНОВОЙ ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА**

Наличие серосодержащих соединений в углеводородном сырье и товарной продукции интенсифицирует коррозию применяемого оборудования, может вызывать отравление катализаторов в процессах нефтехимического синтеза. Продукты сгорания серосодержащих соединений оказывают вредное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. Поэтому содержание серосодержащих соединений в углеводородах нормируется в виде содержания сероводорода, меркаптановой серы и общей серы.

Основное количество серосодержащих соединений из природного газа удаляется на газоперерабатывающих заводах перед подачей в магистральные трубопроводы для предотвращения коррозии труб и получения товарной серы. Согласно действующим нормативам максимальное содержание сероводорода в нем не должно превышать 0,02 г/м<sup>3</sup>. Снижение содержания сернистых веществ до требуемого уровня обеспечивает узел тонкой сероочистки, находящийся в головной части агрегатов.

Абсорбция является наиболее удобным методом для удаления примесей, поскольку сорбционная емкость поглотителей не зависит от таких величин, как расход очищаемого сырья, изначальное содержание в нем нежелательных компонентов. К тому же, наличие капельной влаги является серьезным препятствием для применения для удаления сероводорода твердых поглотителей таких как различные марки силикагелей. Существуют различные процессы абсорбции в зависимости от ее механизма,

однако применение аминов наиболее распространено вследствие их доступности, а также минимальных потерях очищаемого сырья в связи с уносом углеводородов.

Моноэтаноламин (МЭА) более реакционноспособен к  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$ , имеет наименьшую молекулярную массу из-за чего может использоваться при меньших концентрациях в растворе, а также дешевле прочих применяющихся аминов. Однако при использовании МЭА высоки потери абсорбента при его испарении за счет высокого давления насыщенного пара. Помимо этого, МЭА образует химические соединения с  $\text{COS}$ ,  $\text{CS}_2$  и  $\text{O}_2$ , обладает низкой эффективностью по меркаптанам, вспенивается в присутствии жидких углеводородов, ингибиторов коррозии и механических примесей. Также МЭА неселективен к  $\text{H}_2\text{S}$  в присутствии углекислого газа.

Диэтаноламин (ДЭА) обладает несколькими серьезными преимуществами над моноэтаноламином, а именно:

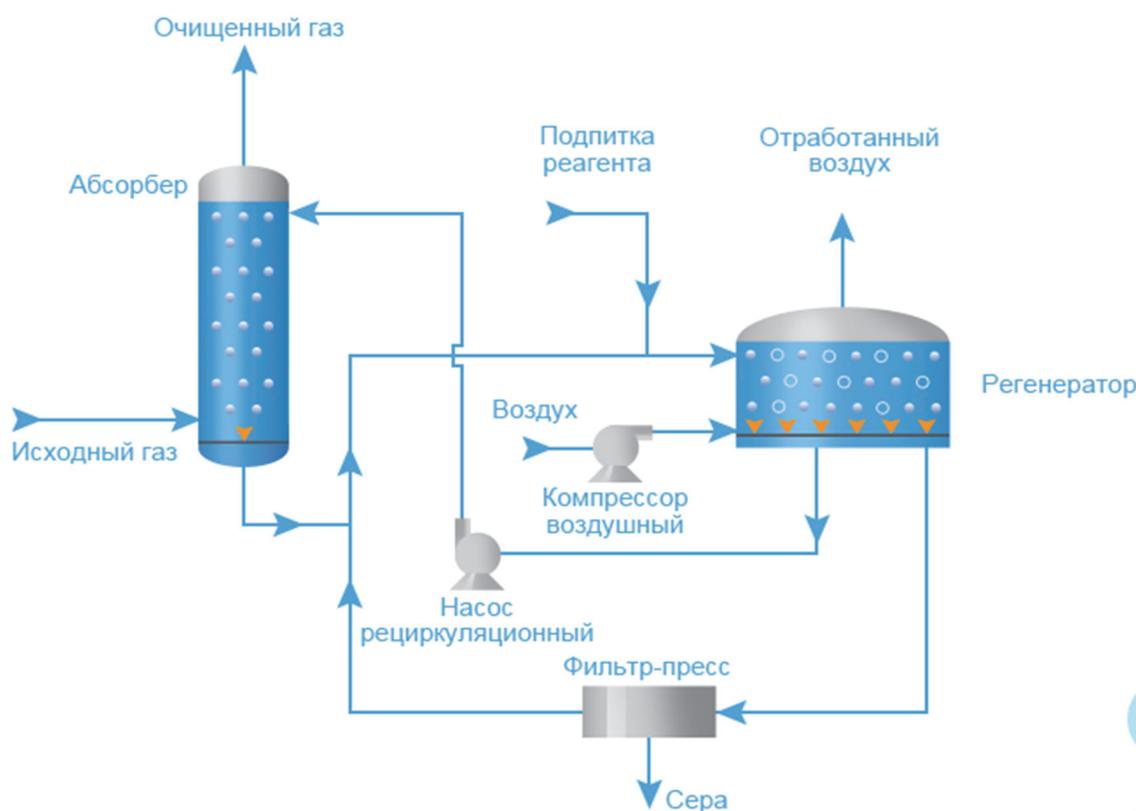
- обеспечение тонкой очистки газов в присутствии  $\text{COS}$ ,  $\text{CS}_2$  и тяжелых углеводородов;
- более легкая регенерация абсорбента, благодаря меньшей прочности образующихся при хемосорбции соединений;
- меньшая вспениваемость при очистке газа с повышенным содержанием тяжелых углеводородов, так как абсорбция проводится при температурах на  $10\text{-}20^\circ\text{C}$  выше, чем в МЭА-процессе.

Помимо МЭА и ДЭА, в качестве селективных абсорбентов для  $\text{H}_2\text{S}$  также используются метилдиэтаноламин (МДЭА), дигликольамин (ДГА) и диизопропаноламин (ДИПА). Первые три абсорбента более устойчивы к действию  $\text{COS}$ ,  $\text{CS}_2$  и  $\text{CO}_2$ , меньше подвергаются уносу. Недостатками являются меньшая химическая активность и поглощающая способность. ДИПА обеспечивает тонкую очистку газа и, несмотря на высокую стоимость, получил широкое распространение за рубежом для очистки газов от сероводорода.

Также известен метод жидкофазного окисления сероводорода в элементарную серу, описанный на рисунке 1.

На первой стадии сырьевой газ проходит через водный раствор катализатора на основе хелатов железа, в котором сероводород взаимодействует с ионами железа, с образованием мелкодисперсной элементарной серы и раствора с ионами железа. Взаимодействия ионов железа с остальными компонентами газа практически не происходит, так как катализатор избирательно действует на сероводород.

Отработанный раствор направляется на вторую стадию окисления, в ходе которой ионы железа  $2\text{Fe}^{+2}$  регенерируются кислородом воздуха. Регенерированный раствор возвращается на первую стадию.



**Рисунок 1 – Технологическая схема жидкофазного окисления сероводорода**

Основной химический процесс технически несложный и абсолютно экологически безопасен. Данная технология позволяет Гарантированное снижение содержания сероводорода в сотни и тысячи раз при широком диапазоне давления процесса от 0,1 МПа до 10 МПа. В технологическом процессе не используются и не производятся токсичные вещества. Установки сероочистки преобразовывают  $H_2S$  в элементарную утилизируемую безвредную серу (сера используется в качестве добавки при производстве сероасфальтобетона, либо подвергается захоронению).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Просочкина Т.Р., Никитина А.П., Кантор Е.А. Извлечение сероводорода из углеводородных газовых смесей диэтаноломином (компьютерное моделирование) // Нефтехимия. – 2016. Том 56. – №4. – С.384–391.
2. Аджиев А.Ю., Пуртов П.А. Подготовка и переработка попутного нефтяного газа в России: в 2 ч. Ч. 2 / А. Ю. Аджиев, П. А. Пуртов. - Краснодар: ЭДВИ, 2014. – 504 с.
3. Кривенко Е.С., Шорохов А.Д., Мирхайдарова К.А., Щербакова А.В. Перспективные варианты улучшения процесса удаления сернистых соединений из природного газа // Техника и технологии. – 2019. – № 02 (02). – С. 14–17.

**Жолнеркевич В.И., Грушова Е.И., Кротова О.А.,  
Богданович Д.А., Горащук Ю.А.**  
(Белорусский государственный технологический университет)

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАСЕЛ**

Производство шинных резин, резинотехнических изделий различного назначения не представляется возможным без использования в составе резиновых рецептур мягчителей, пластификаторов, к которым относятся и ароматические технологические масла. Последние непосредственно участвуют в формировании в каучуках и резиновых смесях протекторного типа важных характеристик: сцепление с поверхностью, долговечность, стабильность, способность диспергировать высокомолекулярные соединения и другие компоненты, используемые при изготовлении шин и др. [1]. Поскольку доля ароматического технологического масла в протекторе велика и составляет 25-30%, то масла должны быть доступны в больших количествах.

Основным источником ароматических технологических масел является традиционное производство нефтяных минеральных масел, в котором важным этапом является процесс селективной очистки масляных дистиллятов или деасфальтизата полярным растворителем. Целевым продуктом на данном этапе производства является рафинат, из которого в последующем получают базовое масло, а побочным продуктом – экстракт, используемый в качестве ароматического технологического масла ПН-6. В составе экстракта может присутствовать более 70 мас. % ароматических углеводородов, включая и канцерогенные полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – бенз(а)пирена, бенз(е)пирена, бенз(а)антрацена, хризена, бенз(б)флуорантена, бенз(д)флуорантена, бенз(к)флуорантена и дибенз(а,и)антрацена [2]. Однако чтобы обеспечить экологическую безопасность современных автомобильных шин и соответствовать основным тенденциям в международном законодательстве по охране окружающей среды содержание канцерогенных ПАУ в технологическом масле не должно превышать 3 мас. %.

В настоящее время для решения этой проблемы используют различные методы, но наиболее распространенной технологией очистки мягчителей (пластификаторов) от соединений, проявляющую канцерогенную активность является экстракционная очистка полярными растворителями [3].

Учитывая ограниченность базы доступных полярных растворителей для селективной очистки масляного сырья (в основном это N-метилпирролидон, фенол, гликоли, фурфурол) от нежелательных компонентов, в данной работе рассмотрена возможность интенсификации процесса экстракционной очистки масляного сырья за счет подготовки ароматических экстрактов, полученных на первом-основном этапе экстракционной очистки, по второй стадии очистки.

На основе анализа литературных данных были выбраны два способа воздействия на ароматический экстракт: физический – обработка сырья СВЧ-излучением [4] и химический, состоящий в окислении экстракта пероксидом водорода [5]. В таблице 1 приведены результаты очистки ароматического экстракта после его обработки СВЧ-облучением и после его окисления

**Таблица 1 – Результаты селективной очистки первичного экстракта без обработки и, после обработки СВЧ-лучами и окисления**

Показатель	Рафинат			
	получен из сырья I		получен из сырья II	
	без обработки сырья	после СВЧ-облучения	без обработки сырья	после окисления при 60 °С
Выход, мас. %	49,86	49,63	50,43	55,00
Показатель преломления при 20°С, $n_D^{20}$	1,5325	1,5334	1,5324	1,5354
Показатель преломления при 50°С, $n_D^{50}$	1,5198	1,5214	1,5209	1,5240
Содержание серы, ppm	31779	32332	32516	31067
Молекулярная масса	314,53	361,38	332,37	303,91
Йодное число, г I <sub>2</sub> /100 г	18,11	13,05	17,63	14,83
Вязкостно-температурная характеристика, $\nu_{50}/\nu_{70}$	2,99	3,04	3,07	3,23

Оба вида воздействия на первичный ароматический экстракт влияют на состав рафинатов, т.е. очищенного ароматического технологического масла, и это должно отразиться на свойствах мягчителя и, соответственно, на характеристики резиновых смесей.

Полученные рафинаты из экстракта ВД-4 вводились в эластомерные композиции на основе каучуков общего и специального назначения в различных дозировках.

Результаты исследования вязкостных свойств резиновых смесей показали, что использование рафинатов приводит к снижению их вязкости по Муни, что свидетельствует о возможности применения полученных ингредиентов в качестве пластифицирующих добавок эластомерных композиций.

В дальнейшем будут проведены исследования по установлению влияния очищенных масел на комплекс технологических и технических свойств эластомерных композиций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Радбиль, А.Б. Новая концепция канцерогенной безопасности для современных шин / А.Б. Радбиль [и др.] // Каучук и резина. – 2013. – № 2. – С. 62–67.

2. Круглов, Э.А. Изучение структурно-группового углеводородного состава ароматических масел-мягчителей резины, получаемых в процессе экстракционной очистки нефтяного сырья / Э.А. Круглов [и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2010. – № 10. – С. 11–14.

3. Заглядова, С.В. Технология производства экологически безопасных масел-пластификаторов / С.В. Заглядова [и др.] // Нефтехимия. – 2017. – Т.57. – № 16. – С. 726–736.

4. Грушова, Е.И. Влияние тяжелой смолы пиролиза на процесс окисления нефтяного гудрона / Е.И. Грушова, М.В. Станько, И.Н. Хатько // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2021. № 1 (241). С. 57–62.

5. Мухаметова, Р.Р. Влияние окисления масляных дистиллятов на качество рафинатов селективной очистки N-метилпирролидоном / Р.Р. Мухаметова, В.Р. Нигматулин // Нефтегазовое дело – 2006. – №2. – С. 33.

УДК 66.021

**Жагфаров Ф.Г., Аршинов И.С.**  
(РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина)

### **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПУТИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАНА**

Необходимость развития газохимии на сегодняшний день имеет важное значение для укрепления экономики России. Метан, используемый в энергетических целях, а также направляемый на экспорт, представляет собой ценное сырье, посредством переработки которого можно получить целый ассортимент продуктов с высокой добавленной стоимостью. Представленный в работе методологический подход к выбору пути переработки  $\text{CH}_4$  учитывает множество факторов, которые могли бы обеспечить эффективную и оптимальную организацию этого производства. Системный подход к организации технологических мощностей нефтегазовой отрасли России является необходимым, так

как учитывает не только географическое и климатическое разнообразие, но и технологические и экономические особенности внедряемых процессов.

Для снижения зависимости российской экономики от экспорта углеводородного сырья, устойчивого роста и развития высокотехнологичных отраслей промышленности и проведения эффективной политики импортозамещения необходима ускоренная реализация новых проектов по производству дефицитной газохимической продукции, имеющей устойчивый спрос на внутреннем и мировом рынках.

Вопрос о наиболее предпочтительном и эффективном пути превращения метана в химические продукты остается открытым. Прежде всего это связано с высокими энергетическими затратами, необходимыми для получения химической продукции из природного газа, что обусловлено термодинамическими характеристиками молекулы  $\text{CH}_4$ . Однако это далеко не единственный критерий, от которого зависит возможность внедрения процессов метановой химии в нефтегазовую промышленность. Большое количество факторов, влияющих на оптимальность и эффективность всевозможных производственных цепочек, определяют системный подход к решению данного вопроса.

В условиях высокого уровня развития науки и техники, большого объема информации, требующей осознания и использования ее в теоретической и практической деятельности человека, эффективным методом научного познания проблемного вопроса является системный подход, который определяется методологией познания объектов, как целостной взаимосвязанной системы и определением критериев, согласно которым будет достигнута раннее поставленная цель.

Одним из критериев является логистическая цепочка поставок продукции, которая должна формироваться на стадии рассмотрения возможных площадок размещения. В сложных климатических условиях и при значительной удаленности большинства российских добывающих регионов от основных рынков сбыта продукции, данный фактор может стать во многом определяющим для эффективности проекта [1].

Условия проведения процесса, виды необходимого технологического оборудования, потребность в использовании узлов для очистки и разделения образующейся продуктовой смеси - все это входит в перечень основных технологических критериев выбора наиболее эффективной технологии. Основные процессы переработки метана первого передела и их характеристики приведены в таблице 1.

Резюмируя результаты технологических характеристик первого передела переработки метанового сырья, можно сделать вывод, что увеличение мощностей процесса паровой конверсии метана в синтез-

газ позволит решить проблему газохимической переработки. Последняя технология не только позволяет получать водород в количестве 0,38 кг с 1 кг CH<sub>4</sub>, но и открывает доступ к широкому спектру процессов органического синтеза, сырьем в которых может выступать смесь CO и H<sub>2</sub>. Вышеупомянутый процесс также является достаточно отработанным промышленным вариантом переработки метанового сырья, что обеспечивает большую привлекательность для его финансирования компаниями нефтегазового сектора по сравнению с иными технологиями, приведенными в таблице 1.

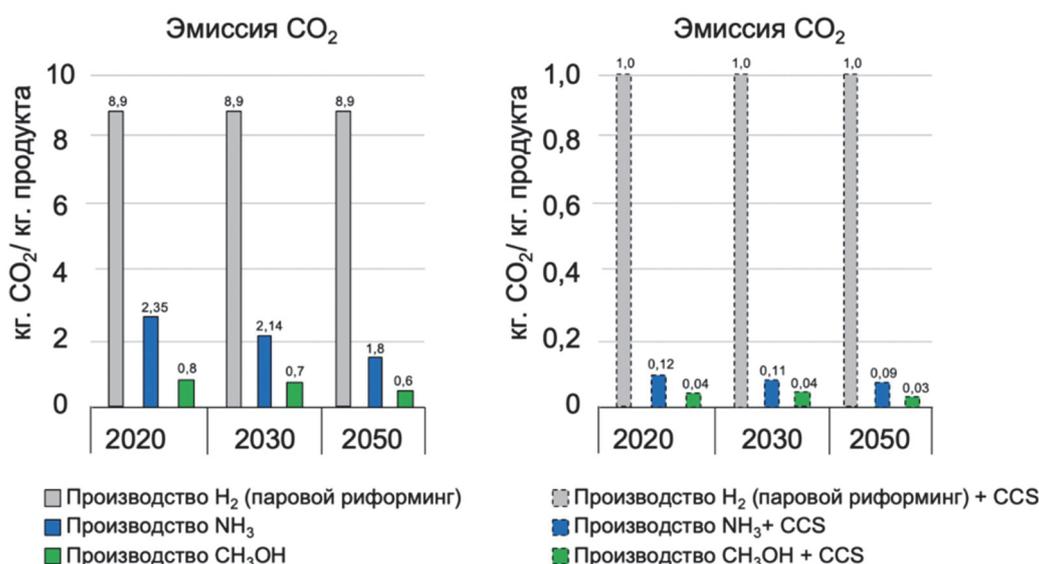
**Таблица 1 – Технологические критерии процессов переработки метана**

Наименование процесса переработки метана	Уравнение реакции	$\Delta H_{298}$ , кДж/моль	Количество выделяемого водорода кг H <sub>2</sub> / кг CH <sub>4</sub>	Условия процесса	Катализатор/инициатор	Выход продукта, %
Пиролиз	$CH_4 \rightarrow C + 2H_2$	74,87	0,25	>1000°C		95
Пиролиз	$2CH_4 \rightarrow C_2H_2 + 3H_2$	376,48	0,19	1500°C		8-12
Паровая конверсия	$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$	206,17	0,38	850°C, 25-35 атм.	Ni-содержащий	
Углекислотная конверсия	$CH_4 + CO_2 \rightarrow 2CO + 2H_2$	248,30	0,25	1000-1100°C	Rh/Pt/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Парциальное окисление	$CH_4 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO + 2H_2$	-35,60	0,25	1100-1300°C		
Парциальное окисление	$CH_4 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CH_3OH$	163,00	0,00	200-500°C, 30-90 атм	Соли Cu <sup>2+</sup> и Fe <sup>2+</sup>	5-10
Хлорирование	$CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl$	105,00	0,00	325-427°C		95
Окислительный аммонолиз	$CH_4 + NH_3 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow HCN + 3H_2O$	-474,62	0,00	1000°C, 2 атм.	Pt/Rh/Ir (сплав)	48
Нитрование	$CH_4 + HNO_3 \rightarrow CH_3NO_2 + H_2O$	126,00	0,00	350-500°C, 5-10 атм.		90
Взаимодействие с серой	$CH_4 + 4S \rightarrow CS_2 + 2H_2S$	150,00	0,00	650°C	Селикагель	96
Взаимодействие с сероводородом	$CH_4 + 2H_2S \rightarrow CS_2 + 4H_2$	98,30	0,50	>900 °C		90
Димеризация в этилен	$2CH_4 \rightarrow C_2H_4 + 2H_2$	101,00	0,13	700-800°C	Оксидные марганцовые (NaMnO <sub>4</sub> )	8-12

Рассматривая дальнейшую переработку синтез-газа в продукцию с высокой добавленной стоимостью наибольшей промышленной

привлекательностью обладает технология получения метанола. Ее крупнотоннажная реализация позволит получать стратегически важные химические продукты (ДМЭ, уксусная кислота, формальдегид), в перспективе увеличить мощности по производству низших олефинов, используя альтернативный термическому пиролизу процесс МТО и МТР.

Боле того в условиях мирового стремления к климатической углеродной нейтральности в долгосрочной перспективе промышленные технологии производства метанола наиболее привлекательны относительно альтернативных путей переработки синтез-газа – получения аммиака и водорода (см. рисунок 1).



**Рисунок 1 – Фактические и прогнозные средние значения выбросов диоксида углерода, сопровождающие процессы метановой химии [2]**

Значительное многообразие процессов переработки природного газа и разновидность доступных технологических решений ставит серьезную задачу для построения технологической линии, отвечающей требованиям оптимальности и эффективности производства. В свою очередь газовая отрасль, включающая в себя промыслы, подземные хранилища, объекты переработки, транспорта сырья и продукции, имеющая различные рынки сбыта, несомненно, является совокупностью многих взаимосвязанных элементов, влияющих друг на друга, а, соответственно, целостной системой добычи и переработки природного газа. Именно поэтому для решения вопроса об увеличении доли перерабатываемого природного газа в российских условиях необходимо применять методологию системного подхода, посредством анализа качественных и количественных критериев, влияющих как на отдельные объекты, так и на саму систему эффективных производственных мощностей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пармон В.Н., Аристович Ю.В., Брешев А.И. Конструктивная газохимия: тренды и горизонты развития в российских реалиях // Энергетическая политика. – 2021. – № 6(160). – С. 50-67. – DOI 10.46920/2409-5516\_2021\_6160\_50

2. The Future of Hydrogen. Assumption annex / International Energy Agency. – 2020. – 14 с. – URL: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/29b027e5-fefc-47df-aed0-456b1bb38844/IEA-The-Future-of-Hydrogen-Assumptions-Annex\\_CORR.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/29b027e5-fefc-47df-aed0-456b1bb38844/IEA-The-Future-of-Hydrogen-Assumptions-Annex_CORR.pdf) (дата обращения: 12.07.2022)

УДК 665.52.061.5

**Гайле А.А., Ахмад М.**

(Санкт-Петербургский государственный технический университет)

**Камешков А.В.**

(ООО «ПО «Киришинефтеоргсинтез»)

### **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ТЯЖЕЛОГО ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ И ГАЗОЙЛЯ ЗАМЕДЛЕННОГО КОКСОВАНИЯ**

В соответствии с «Правилами предотвращения загрязнений атмосферы с судов», принятыми международной конвенцией, содержание серы в судовых топливах снижено с 2020 г. с 3,5 % мас. до 0,5 % мас. В зонах особого контроля за выбросами оксидов серы, к которым относятся Балтийское и Северное моря, побережье США и Канады, допустимое содержание серы в судовом топливе снижено до 0,1 % мас. с 2015 г.

Сырьем для производства судовых топлив могут служить прямогонные вакуумные газойли и газойли вторичных термических и термокаталитических процессов нефтепереработки – висбрекинга, замедленного коксования и каталитического крекинга, в которых содержание серы при переработке сернистых нефтей превышает 0,5 % мас. Гидрогенизационное облагораживание вакуумных газойлей осложнено из-за повышенного содержания 4,6 – диалкилпроизводных дибензотиофена, для молекул которых проявляются стерические препятствия при подходе к активным центрам катализаторов, а также сераорганических соединений с числом атомов углерода  $C \geq 15$ , практически не подвергающихся гидрогенолизу [1]. Газойли вторичных процессов, в частности, тяжелые газойли замедленного коксования (ТГЗК), отличаются также повышенным содержанием азотистых гетероциклических компонентов,

дезактивирующих катализаторы гидроочистки, полиароматических и непредельных углеводородов и смол.

В связи с этим актуально исследование экстракционной очистки судовых топлив от нежелательных компонентов и сопоставление эффективности экстракции гетероатомных соединений и полиароматических углеводородов из тяжелого вакуумного газойля (ТВГ) и ТГЗК.

Как следует из результатов одноступенчатой экстракции N-метилпирролидоном, одинаковая степень извлечения сернистых соединений при экстракционной очистке ТГЗК обеспечивается при соотношении экстрагента к сырью в 6–7 раз меньшем, чем при экстракции ТВГ (таблица 1).

Значительно более высокая эффективность экстракционной очистки ТГЗК объясняется тем, что при температуре процесса коксования в печи 490 – 510 °С и последующей длительной выдержке в коксовой камере крекируются в основном те компоненты сырья, которые сравнительно трудно экстрагируются апротонными растворителями типа N-метилпирролидона – насыщенные сераорганические соединения.

**Таблица 1 – Степень извлечения сернистых соединений ( $\alpha$ ) при одноступенчатой экстракции газойлей N-метилпирролидоном**

Массовое отношение N-МП : ТГЗК	$\alpha$ [2]	Массовое отношение N-МП : ТВГ	$\alpha$ [3]
0.3 : 1	51.4	1.0 : 1	31.3
0.5 : 1	67.5	1.5 : 1	44.5
		2.0 : 1	52.0
		3.0 : 1	66.1

Энергия разрыва связи С – S значительно ниже энергии связей атомов серы или азота с ароматическими атомами углерода (таблица 2).

**Таблица 2 – Энергии разрыва связей, кДж/моль**

Связь	Соединения	E
C – C	Алканы	326 – 372
C – C	Циклоалканы	385
$C_{ar} - C_{ar}$	Арены	610
$\beta$ – связь C – C	Алкиларены Ar – CH <sub>2</sub> – R	240 – 263
C – S	Диалкилсульфиды, тиацикланы	213 – 264
$C_{ar} - C$	$C_6H_5 - CH_3$	384
C – N	Алифатические амины	305
C = N	Ароматические гетероциклы	615

Легко крекируются и алкильные заместители в молекулах аренов и гетероциклических соединений ароматического характера – особенно низка энергия разрыва  $\beta$  – связи C – C.

В газойлях замедленного коксования остаются в основном полиароматические углеводороды и гетероциклические соединения ароматического характера – голаядерные или с метильными группами, которые особенно легко экстрагируются селективными растворителями. Так, температура разложения дибензотиофена 545 °С выше температуры процесса замедленного коксования [4].

Степень извлечения бензологов тиофена выше, чем соответствующих аренов с тем же числом ароматических циклов, по следующим причинам:

- большей стабильности  $\pi$ -комплексов с N-метилпирролидоном из-за сопряжения неподеленных пар электронов атома серы с двойными связями тиофенового цикла;

- проявлением дополнительного ориентационного взаимодействия гомологов и бензологов тиофена, имеющих дипольные моменты, с N-метилпирролидоном, дипольный момент которого равен 4,09 дебая;

- меньшими молярными и ван-дер-ваальсовыми объемами молекул, что приводит к меньшим затратам энергии на образование полости в структуре растворителя.

Еще выше степень извлечения азотистых соединений вследствие образования водородных связей производных пиррола, индола, карбазола с молекулами N-метилпирролидона.

Таким образом, экстракционная очистка газойлей замедленного коксования, для проведения которой требуются низкие соотношения экстрагентов к сырью и низкие энергозатраты, – перспективный процесс производства судовых топлив.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Куликов Л.А., Бороноев М.П., Кардашева Ю.С., Теренина М.В. Гидрооблагораживание средних фракций различного состава с использованием катализаторов, иммобилизованных в порах ароматических каркасов // Нефтехимия. – 2020. – Т.60. – № 3. – С. 338–340.

2. Камешков А.В., Гайле А.А., Ахмад М., Воробьева А.Р. Экстракционная очистка тяжелого газойля установки замедленного коксования N-метилпирролидоном // Ж. прикл. химии. – 2021. – Т. 94. – № 12. – С. 1383–1389.

3. Верецагин А.В., Гайле А.А., Клементьев В.Н., Лазуненко Ф.А. Экстракционная очистка тяжелого вакуумного газойля установки АВТ-2 ООО «ПО «Киришинефтеоргсинтез» N-метилпирролидоном и экстракционной системой N-метилпирролидон – ундекановая фракция // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2018. – № 9. – С. 10–15.

4. Johns I.B., Mc Elhill E.A., Smith J.O. Thermal stability of some organic compounds // J. Chem. Eng. Data. – 1962. – V.7. – № 2. – P. 277–281.

## **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПИРОЛИЗА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ. МОДЕЛИРОВАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ПИРОЛИЗА ТБО. АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУЧЕННЫХ ПРОДУКТОВ**

С ростом численности населения планеты и развитием производственной деятельности возрастают масштабы воздействия на окружающую среду, поэтому остро стоит проблема оптимизации воздействия человека на окружающий мир.

В России ежегодно образуется около 300 кг твердых бытовых отходов (ТБО) на одного человека, которые требуют переработки, либо захоронения. Их химический состав включает от 20 до 45 % – неорганических веществ, от 55 до 80 % органических, в том числе от 28 до 35 % углерода.

На сегодняшний день идет активная разработка и модернизация установок пиролиза для переработки различных видов отходов с высокой энергетической эффективностью. Увеличения коэффициента полезного действия изобретаемых устройств можно достичь путем сокращения времени процесса пиролиза, стремления к непрерывности процесса, снижения затрат тепла на единицу переработанной продукции и упрощения аппаратного оформления установок.

Второй частью данной работы являлось моделирование процесса утилизации отходов на примере пиролиза отработанных шин.

В среде моделирования реакция пиролиза осуществляется при следующих допущениях: устойчивая модель свободного кинетического состояния, изотермическая система, все серосодержащие соединения представлены в качестве  $H_2S$ .

Процесс пиролиза отработанных шин проводится в бескислородной среде. Тепло, полученной в результате сгорания топлива поддерживает температуру реактора для осуществления химической реакции.

Текущая модель рассчитана на прием 10 тонн отработанных шин в день. Технологическая схема состоит из следующих этапов:

- на первом этапе происходит сушка шин перед реакционным блоком;
- на втором этапе шины разлагаются на обычные компоненты ввиду того, что шины в Aspen Plus считаются нетрадиционным материалом (nonconventional material);
- на третьей стадии схемы осуществляется реакция пиролиза;
- на финальной стадии процесса продукты реакции частично конденсируются в холодильнике, затем смесь разделяется на газ пиролиза и смолу.

Процесс пиролиза преобразует отработанные шины в масло пиролиза, неконденсирующиеся газы и в сажу. Технологическая схема, составленная в среде моделирования Aspen Plus представлена на рисунке 1.

В результате проделанной работы удалось создать рабочую модель процесса пиролиза отработанных шин при вакууме в программном обеспечении ASPEN PLUS. После успешного моделирования произведена оценка компонентного состава пирогаза и смолы пиролиза.

Заключительная часть данной работы состояла в поиске модернизации и конструировании пилотной установки пиролиза ТБО с дальнейшим сравнением технологических рабочих параметров с расчетными данными.

В результате работы пилотной установки были получены следующие продукты:

**Синтез газ.** В результате газохроматографического анализа был определен состав газа, полученного в результате работы установки пиролиза ТБО. Данные представлены в таблицах 2, 3.

**Таблица 2 – Компонентный состав газа, вышедшего из реактора**

Компоненты	Содержание, % об
Водород	14,4
Азот	3,05
Кислород	0,74
Метан	12,91
Окись углерода	24,56
Двуокись углерода	28,03
Сумма C2	5,46
Сумма C3	1,42
Сумма C4	0,75
Сумма C5	0,19
Сумма C6 и выше	1,89
Вода	6,6
Итого	100,0

**Жидкий остаток.** Исследования показали, что жидкий остаток в основном содержит бензиновую и дизельную фракции. Мазутная фракция составляет 5 % от общего объема.

Анализ фракционного состава показал, что жидкое топливо не содержит серосодержащих соединений, водорастворимых кислот и щелочей. Следовательно, с экологической точки зрения, топливо является безопасным.

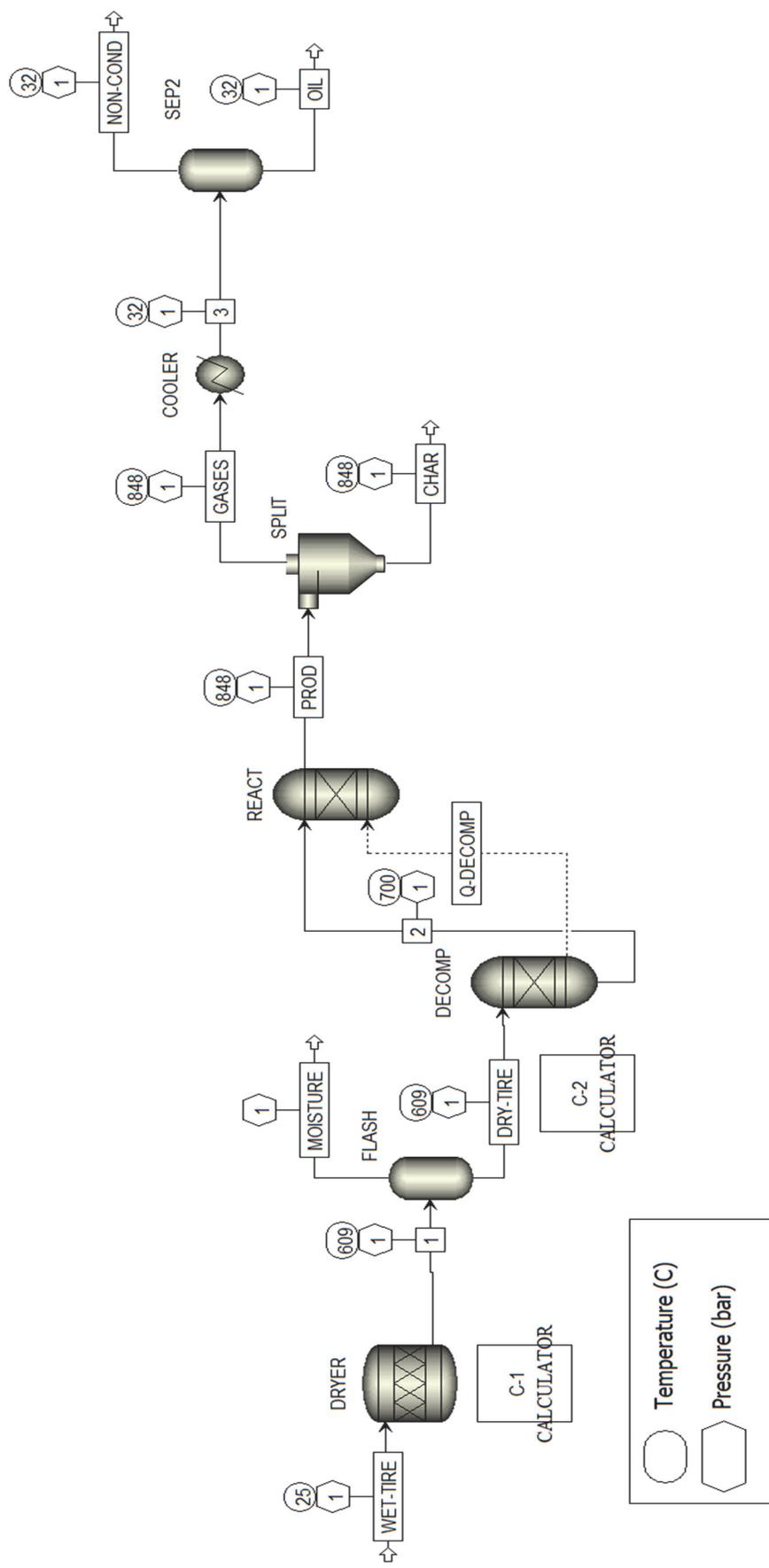


Рисунок 1 – Технологическая схема пиролиза отработанных шин

**Карбонизат.** По технологии парогазовой активации получен активный уголь из карбонизата ТБО.

Показатели качества приведены в таблице 4.

**Таблица 4 – Показатели качества активного угля**

Показатели	Результат
Насыпная плотность, г/дм <sup>3</sup>	151
Суммарный объем пор, см <sup>3</sup> /г	1,99
Адсорбционная активность по йоду, %	43
Адсорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г	71
pH	8,3
Массовая доля воды, %	1,25
Массовая доля золы (общая), %	38,2

Как следует из данных, приведенных в таблице, активный уголь имеет хорошие показатели пористой структуры и адсорбционной активности.

Целью нашей работы являлось создание модифицированного процесса пиролиза твердых бытовых отходов. После проведения литературного обзора, моделирования подходящего процесса в среде ASPEN PLUS и конструирования пилотной установки получили ряд продуктов, включающие в себя широкий спектр ценных компонентов.

Произведя физико-химические исследования, выявили ряд преимуществ целевых продуктов. В первую очередь, стоит обратить внимание на качество, полученных веществ. С экологической точки зрения продукты, полученные в результате работы установки, отвечают всем существующим требованиям. Во-вторых, из-за многочисленного объема веществ, содержащихся в данных продуктах, открывается множество путей их переработки. Что положительно скажется на уровне развития нефтегазохимии в нашей стране.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование пиролизной утилизации углеродсодержащих твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] // [www.dissercat.com](http://www.dissercat.com) URL: <https://www.dissercat.com/content/issledovanie-piroliznoi-utilizatsii-uglerodso-dierzhashchikh-tverdykh-bytovykh-otkhodov> (Дата обращения 26.07.2021).

2. Лисовский В.А. Переработка утилизированных шин – энергоэффективное мероприятие. // Проблемы сбора, переработки и утилизации отходов: Сб. научн. статей. – Одесса: ОЦНТЭИ, 2001. – С. 150–154.

3. C. Roy, B. Labrecque, B. de Caumia. Recycling of scrap tires to oil and carbon black by vacuum pyrolysis – Resources, Conservation and Recycling. 4 (1990) 203.

## ЭТАНОСОДЕРЖАЩИЙ ГАЗ И ГАЗОХИМИЯ РОССИИ

В структуре газодобычи России происходят изменения в сторону увеличения объема добычи этаносодержащего газа. Эти изменения свидетельствуют о том, что добываемое сырье должно подвергаться переработке для производства широкой гаммы товарной продукции: пропана, бутана, этилена и др [3]. Этан служит сырьем для производства этилена, который после переработки превращается в полимерные изделия – полиэтилен и поливинилхлорид.

В современном мировом хозяйстве обозначился тренд формирования универсальных компаний, включающих всю «вертикаль» от добычи энергосырья до нефтегазохимических производств, что повышает их устойчивость и капитализацию. Так, в суммарной выручке Exxon Mobil, BP, Total, Chevron и других крупных энергосырьевых компаний мира на нефтегазохимию приходится уже более 10%. Такую же тактику использует государственная компания Sinopec, Китай.

То есть крупнейшие газовые компании мира все в большей степени ориентируются не на добычу и экспорт газа, а на его переработку в химическую продукцию, обеспечивающую им более высокие прибыли.

В России до настоящего времени в газохимический сектор поступает не более 5% общего потребления газа, при этом степень его переработки невысока [1].

В результате доля химии и нефтехимии в ВВП страны на уровне 1,1% в 2020 году, в то время как в ведущих странах мира за счет выпуска высокотехнологичной химической и нефтехимической продукции этот показатель в разы больше. Причем в некоторых странах вклад химической индустрии в ВВП страны оценивается кумулятивным показателем, определяемым уровнем химизации экономики. В Китае, например, такой показатель составляет 30% ВВП, в США – 28% ВВП [1].

После запуска Сибуром проекта «Запсибнефтехим» в 2019 году Россия стала нетто-экспортером полиэтилена (топ-5 экспортеров), таблица 1.

**Таблица 1 – Производители полиэтилена**

Материнская компания	Производительность, млн т/год
Сибур	2,7
Лукойл	0,3
Башнефть	0,1
Газпром	0,2
Роснефть	0,1

Источник: составлено автором.

Производство полиэтилена в России составляет 3,4 млн тонн в год, в то время как внутренний рынок составляет около 1,9 млн тонн в год.

Амурский и Иркутский газохимические заводы вдвоём будут производить почти 3 млн тонн полиэтилена в год, а Балтийский газохимический комплекс удвоит производственные мощности по полиэтилену, доведя их до 6 млн тонн [4], а вместе с уже существующими заводами – до примерно 9,4 млн тонн. То есть производство полимеров в России превысит их потребление в 4 раза уже примерно к 2025 году.

Ожидается, что мировой рынок полиэтилена будет расти из-за растущего применения в различных отраслях конечного использования, таких как упаковочная промышленность, автомобилестроение, строительство, сельское хозяйство и потребительские товары.

Например, Азиатско-Тихоокеанский регион является крупнейшим мировым потребителем полиэтилена (39,4 млн т в 2019 году), но собственное производство также является самым высоким (50,4 млн тонн в 2019 году), и в регионе запланировано много новых проектов. Европа не планирует увеличивать мощности по производству полиэтилена (7,2 млн т в 2019 году), в то время как потребление быстро растёт.

После запуска производств на полную мощность цены на полимеры в России могут существенно снизиться, что позволит придать импульс развитию других производств, например выпуск пластика и мебели. Будет придан импульс развитию химии как науки и химическим производствам: для выпуска полимеров нужны катализаторы, то есть стоит ожидать импортозамещения по средствам производства и технологиям [4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аминев С.Х. Глубокая переработка газа и нефти как ключ решения проблемы импортозамещения в области химии и нефтехимии // <http://vestkhimprom.ru/posts/glubokaya-pererabotka-gaza-i-nefti-kak-klyuchresheniya-problemy-importozameshcheniya-v-oblasti-khimii-i-neftekhimii> (дата обращения 14.10.2022)

2. “Газпром” приступил к строительству инфраструктуры для “жирного” газа// <https://rupec.ru/news/45586/> (дата обращения 14.10.2022).

3. Гриценко А.И. Освоение месторождений этансодержащих газов – ключевой этап в развитии газовой промышленности России. Газохимия//№12, 2010.

4. Как в России развивают газохимическую промышленность // <https://www.sonar2050.org/publications/uglevodorody-vysokogo-peredela/> (дата обращения 14.10.2022)

**ВЛИЯНИЕ ГИДРОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  
ТЯЖЕЛОЙ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА НА СОСТАВ И СВОЙСТВА  
НЕФТЕПОЛИМЕРНОЙ СМОЛЫ**

Тяжелая смола пиролиза (ТСП), являясь попутным продуктом производства низших олефинов методом пиролиза углеводородов, представляет собой ценный сырьевой ресурс. Выход смолы может составлять от долей процента в случае пиролиза газов, до 25 % в случае переработки тяжелых газойлей. В связи с тенденцией утяжеления сырья пиролиза и ростом спроса на этилен и пропилен в мире следует ожидать увеличения объемов выработки ТСП.

Из ТСП методом термической полимеризации можно синтезировать темную нефтеполимерную смолу (НПС), которая находит применение в качестве мягчителя и повысителя клейкости эластомерных композиций [1]. Однако некоторые характеристики такой НПС, в первую очередь цвет, не позволяют использовать ее в производстве лакокрасочных материалов, клеев и адгезивов. Для этих целей используют светлую НПС, получаемую из дефицитной фракции С<sub>5</sub> пироконденсата. Для расширения сырьевой базы производства светлой нефтеполимерной смолы предлагается гидрировать смолы, получаемые из фракции С<sub>9</sub>, тяжелой смолы пиролиза и каменноугольной смолы [2]. Поэтому представляло интерес изучить влияние гидрокаталитической обработки ТСП на состав и свойства нефтеполимерной смолы, выделяемой из нее.

В качестве объекта исследования выступала тяжелая смола пиролиза завода «Полимир» ОАО «Нафтан» (продукт пиролизный тяжелый согласно ТУ 300042199.122-2019). Учитывая, что ТСП содержит большое количество непредельных соединений, которые могут вступать в химические реакции при нагревании, для снижения влияния термических превращений на результаты гидроконверсии тяжелой смолы пиролиза ее предварительно подвергали термической обработке в автоклаве с мешалкой при температуре 320°C в течение 5 ч. При этом непредельные соединения пиролизной смолы вступали в реакции олигомеризации с образованием высокомолекулярных соединений (НПС). Затем к реакционной смеси добавляли маслорастворимый прекурсор дисульфида молибдена (N-тетраалкиламмония тетратиомолибдат) в количестве 0,1 мас. % в расчете на молибден и заполняли свободный объем автоклава водородом под давлением 5 МПа. Гидрокаталитическую обработку ТСП осуществляли при температуре 320°C в течение 5 ч.

После охлаждения и выгрузки реакционной смеси от нее отгоняли при пониженном давлении дистиллятную фракцию, выкипающую до 340°C, а в кубе получали целевой продукт – НПС.

Из материальных балансов разгонок реакционных смесей до и после гидрокаталитической обработки (табл. 1) можно видеть, что после гидроконверсии ТСП на 3 мас. % увеличился выход дистиллятной фракции при одновременном снижении выхода кубового остатка.

**Таблица 1 – Материальные балансы разгонок реакционных смесей до и после гидрокаталитической обработки**

Показатель	Значение	
	до обработки	после обработки
Выход дистиллятной фракции, мас. %	40,7	43,7
Выход НПС при перегонке, мас. %	58,0	55,0
Потери, мас. %	1,3	1,3

Для НПС, выделенных из реакционных смесей до и после гидрокаталитической обработки ТСП, определяли температуру размягчения, йодное число, среднюю молекулярную массу криоскопическим методом, а также групповой состав (табл. 2) селективной экстракцией органическими растворителями: мальтены, растворимые в гексане ( $\gamma$ -фракция); асфальтены, нерастворимые в гексане, но растворимые в горячем бензоле ( $\beta$ -фракция); карбены и карбоиды, нерастворимые в горячем бензоле ( $\alpha$ -фракция).

**Таблица 2 – Характеристика НПС до и после гидрокаталитической обработки**

Показатель	Значение	
	до обработки	после обработки
Температура размягчения, °С	82	75
Йодное число, г I <sub>2</sub> /100 г	17,9	11,3
Средняя молекулярная масса	453	391
Групповой состав, мас. %:		
– $\gamma$ -фракция	54,9	81,0
– $\beta$ -фракция	44,3	18,3
– $\alpha$ -фракция	0,1	0,3
– потери	0,7	0,4

При гидрокаталитической обработке тяжелой смолы пиролиза снижаются молекулярная масса и температура размягчения НПС, что на фоне уменьшения ее выхода свидетельствует о протекании реакций гидрокрекинга. Одновременно уменьшается йодное число смолы и увеличивается содержание в ней  $\gamma$ -фракции при значительном снижении содержания  $\beta$ -фракции, что указывает на интенсивное протекание реакций гидрирования с насыщением олефинов, аренов и раскрытием

циклов. При этом вторичные процессы конденсации развиты слабо, т. к. образование  $\alpha$ -фракций незначительно.

Для отделения катализатора от НПС последнюю после гидрирования растворяли в бензоле и отфильтровали на воронке Бюхнера с помощью мембранного фильтра Rogafil TE, 0,20 мкм. Также после выгрузки реакционной смеси из автоклава обмывали его стенки бензолом и полученные смывы частиц катализатора фильтровали. Изучение микроструктуры и химического состава отфильтрованных частиц катализатора проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа S-4800 (Hitachi, Япония) с системой химического анализа EDX Quantax-200 (Bruker, Германия). Установлено, что при разложении прекурсора образуется ультрадисперсный катализатор с размерами частиц менее 200 нм. Частичное осаждение катализатора на стенках автоклава, вероятно, связано с высокой дозировкой прекурсора катализатора в реакционную смесь.

Данные по элементному составу катализатора, собранного со стенок автоклава и выделенного из НПС показали, что мольное отношение  $Mo : S = 1 : 1,93$ . Это подтверждает, что активная форма катализатора представлена преимущественно дисульфидом молибдена. В составе катализатора, смытого со стенок автоклава, наблюдалось высокое содержание железа (18 мас. %), что может быть связано с протеканием сероводородной коррозии в процессе гидрирования. В составе катализатора, выделенного из НПС, отмечено высокое содержание углерода (27 мас. %), связанное, вероятно, с образованием карбенов и карбидов в процессе гидроконверсии.

Таким образом, гидрирование тяжелой смолы пиролиза в присутствии дисульфида молибдена приводит к снижению содержания непредельных углеводородов в нефтеполимерной смоле и существенному изменению ее группового состава. Насыщение двойных связей и ароматических колец молекул НПС будет способствовать уменьшению показателя окраски, снижению токсичности, повышению термической и термоокислительной стабильности смолы. Наряду с реакциями гидрирования олефинов и аренов протекают побочные реакции гидрокрекинга, приводящие к уменьшению выхода и температуры размягчения целевого продукта.

Работа выполнялась в рамках задания 4.3 «Разработка технологии комплексной каталитической переработки лесо- и нефтехимического сырья» подпрограммы «Создание новых наукоемких отечественных материалов различного функционального назначения на основе лесохимического и растительного сырья» ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия» Республики Беларусь на 2021–2025 годы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Оптимизация условий термической полимеризации тяжелой пиролизной смолы с целью получения нефтеполимерных смол - мягчителей резиновых смесей / А.И. Юсевич, К.И. Трусов, Е.М. Осипенок, Д.В. Куземкин // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2020. – № 2(235). – С. 56-61.

2. Процесс гидрирования для получения светлых нефтеполимерных смол – компонентов адгезивов и клеев-расплавов (Обзор) / С. В. Антонов, Н.Н. Петрухина, О.А. Пахманова, А.Л. Максимов // Нефтехимия. – 2017. – Т. 57. – № 6. – С. 605-623. – DOI 10.7868/S0028242117060028.

УДК 665.658.2 : 547.652.1

**Трусов К.И., Осипенок Е.М., Юсевич А.И., Войтов И.В.**  
(Белорусский государственный технологический университет)

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НАФТАЛИНА ПУТЕМ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТЯЖЕЛОЙ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА**

При производстве олефинов на установках пиролиза образуются жидкие побочные продукты, характеризующиеся высоким содержанием ароматических углеводородов. В частности, тяжелая смола пиролиза (ТСП), выкипающая выше 200°C, содержит в своем составе до 30 мас. % нафталина и его гомологов и может служить промышленным источником этих веществ.

Нафталин, выделенный из ТСП методом кристаллизации, загрязнен примесями непредельных соединений, что приводит к его осмолению при хранении и является причиной резкого запаха. Для снижения содержания ненасыщенных углеводородов в нафталиновой фракции может применяться процесс гидрирования [1]. Поэтому представляло интерес изучить влияние гидротермической обработки ТСП на выход и качество нафталина.

В качестве объекта исследования выступала тяжелая смола пиролиза завода «Полимир» ОАО «Нафтан» (продукт пиролизный тяжелый согласно ТУ 300042199.122-2019). Термическую обработку ТСП проводили при температуре 320°C в течение 5 ч в автоклаве с мешалкой. Затем реакционную смесь подвергали гидрированию в том же автоклаве. Процесс вели при температуре 320°C и давлении 74 бар в присутствии дисульфида молибдена, синтезированного *in situ* в реакционной среде из

маслорастворимого прекурсора (*N*-тетраалкил-аммония тетратиомолибдата). Длительность обработки составляла 5 ч, дозировка прекурсора – 0,1 мас. % в расчете на молибден.

Реакционную смесь после гидротермической стадии (РС) разделяли на суммарный дистиллят, содержащий нафталин, и кубовый остаток, представляющий собой нефтеполимерную смолу, перегонкой в вакууме при 10 мм рт. ст. и конечной температуре отбора дистиллята 190 °С. При таких же условиях перегоняли и исходное сырье – ТСП. Из суммарных дистиллятов выделяли узкие нафталиновые фракции (200–230 °С). Содержание нафталина в суммарных дистиллятах и нафталиновых фракциях измеряли газохроматографическим методом.

В результате термической обработки и последующего гидрирования ТСП отбор дистиллятных фракций из нее уменьшался на 9,2 мас. % (табл. 1) за счет увеличения выхода остатка перегонки, обусловленного олигомеризацией непредельных углеводородов с образованием нелетучих высокомолекулярных продуктов.

**Таблица 1 – Материальные балансы перегонки ТСП и реакционных смесей и содержание нафталина в дистиллятных фракциях**

Показатель	Значение для фракции, выделенной из ТСП	
	до термической обработки	после гидрирования (РС)
Выход суммарного дистиллята, мас. %	52,9	43,7
Выход нафталиновой фракции в расчете на ТСП, мас. %	21,7	15,8
Массовая доля нафталина в нафталиновой фракции, %	25,8	41,9
Максимально возможный выход нафталина в расчете на ТСП при условии его полного выделения из суммарного дистиллята, %	8,7	9,0
Максимально возможный выход нафталина в расчете на ТСП при условии его полного выделения из нафталиновой фракции, %	5,6	6,6
Содержание нафталина в нафталиновой фракции к общему содержанию нафталина в суммарном дистилляте, мас. %	64,2	73,5

Суммарное количество нафталина, перешедшего в дистиллят при перегонке ТСП до и после гидротермической обработки, оказалось примерно одинаковым и составило около 9 мас. %, т.е. нафталин

не гидрируется в условиях реакции. Обработка ТСП способствовала концентрированию нафталина в целевой фракции 200–230 °С: в нее переходило на 9,3 мас. % больше нафталина от общего его количества по сравнению с исходной ТСП (табл. 1).

Сырой нафталин выделяли фильтрованием из нафталиновых фракций исходной ТСП и реакционной смеси. Очистку сырого нафталина проводили перекристаллизацией из этилового спирта. О чистоте нафталина судили в первую очередь по температуре его плавления, которую измеряли капиллярным методом по ГОСТ 18995.4-73 на приборе ВУСНІ В-540 Melting Point. Дополнительно определяли окраску нафталина по йодной шкале по п. 5.9 ГОСТ 16106–82.

Выход сырого нафталина, полученного фильтрованием узкой нафталиновой фракций реакционной смеси, оказался на 2,3 % мас. больше, чем при фильтровании аналогичной фракции исходной ТСП (табл.2), за счет снижения потерь нафталина с фильтратом. Гидротермическая обработка ТСП повышает температуру плавления сырого нафталина на 1 °С, что свидетельствует о повышении содержания основного вещества на 1,4 мас. %. Показатель окраски по йодной шкале нафталина, выделенного из гидрированной ТПС, был значительно меньше, чем для нафталина, полученного из исходной смолы, за счет уменьшения содержания окисляемых примесей.

**Таблица 2 – Фактический выход и качество нафталина**

Фракция из	Сырой нафталин			Перекристаллизованный из этанола нафталин		
	Выход, мас. %	$t_{пл}$ , °С	Окраска по йодной шкале, ед	Выход, мас. %	$t_{пл}$ , °С	Окраска по йодной шкале, ед.
ТСП	2,2	73,9	>30	1,6	79,6	0,62
РС	4,5	74,8	0,09	3,0	80,2	0,08

Нафталин, выделенный из исходной ТСП, имел сиреневую окраску, вероятно, за счет наличия примесей красителей азуленового ряда. После гидрирования ТСП цвет сырого нафталина становился белым. Это обусловлено гидрированием двойных связей в циклах производных азулена, в результате чего в молекулах красителей нарушается сопряжение и как следствие возможно изменение цвета.

Выход перекристаллизованного нафталина из ТСП после гидрирования был на 1,4 мас. % больше, чем из ТСП без обработки. При этом температура плавления нафталина, полученного из реакционной смеси, была выше, а показатель окраски по йодной шкале значительно ниже. В случае нафталина, выделенного из гидрированной ТСП, показатель

окраски при перекристаллизации снизился незначительно, однако существенно возросла температура плавления.

Было изучено влияние гидротермической обработки ТСП на концентрацию сернистых соединений в нафталиновой фракции. Содержание общей серы определяли методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии на приборе HORIBA SLFA-20 по ГОСТ 32139-2019. Содержание серы в нафталиновой фракции после гидрирования ТСП уменьшилось с 525 ppm до 414 ppm.

Таким образом гидротермическая обработка ТСП приводит к снижению общей серы в нафталиновой фракции и позволяет извлекать из нее больше нафталина при улучшении качества последнего: повышается температура плавления, снижается показатель окраски по йодной шкале.

Работа выполнялась в рамках задания 4.3 «Разработка технологии комплексной каталитической переработки лесо- и нефтехимического сырья» подпрограммы «Создание новых наукоемких отечественных материалов различного функционального назначения на основе лесохимического и растительного сырья» ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия» Республики Беларусь на 2021–2025 годы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гамбург, Е. А., Беренц А. Д., Мухина Т. Н., Беляева З. Г., Винюкова Н. И., Воль-Эпштейн А. Б. Получение нафталина из жидких продуктов пиролиза углеводородного сырья / Е. А. Гамбург, А. Д. Беренц, Т. Н. Мухина, З. Г. Беляева, Н. И. Винюкова, А. Б. Воль-Эпштейн // Химия и технология органических продуктов. – 1981. – № 9. – С. 12–14.

УДК 665.7

**Laya Zarei-Gharehbaba, Reza Najjar**  
(University of Tabriz)  
**Oleg Dormeshkin**  
(BSTU)

#### **PREPARATION OF STABLE GASOIL/SUNFLOWER OIL FUEL MICROEMULSIONS BY USING IONIC LIQUID BASED SURFACTANTS AND INVESTIGATION OF THEIR EMISSION AND ENGINE PERFORMANCE**

Diesel engine, due to its high thermal efficiency is the most widely used energy conversion tool to produce driving force in the industry, agriculture, transportation, etc. But, it releases a plenty of various kinds of pollutants

such as oxides of nitrogen (NO<sub>x</sub>), carbon (CO and CO<sub>2</sub>) and sulfur (SO<sub>x</sub>), unburned hydrocarbon (HC) and particulate matter (PM) into the environment [1,2]. Diesel fuels with dispersed water which is stabilized as tiny droplets has been found as a usable way to reduce the pollutants emitted from the exhaust of diesel engine [1,3]. The addition of the proper surfactant and/or co-surfactants is necessary to stabilize the water droplets in diesel fuel, hence, water in oil (diesel fuel) emulsion or microemulsion (ME) will be formed [4]. The surfactant selection for the fuel MEs is one of the challenging issues in this field, as it greatly affects the price as well as characteristic specifications of the produced fuel MEs. In the recent years, the use of ionic liquids which their properties can be adjusted by changing of the type of cation or anion; as surfactants has been considered [5].

A fuel ME based on blend of gasoil-sunflower oil (80:20), water, 1-butanol, and blend of Tween80, Span80 and 1-butyl-3-methylimidazolium nitrate ([Bmim][NO<sub>3</sub>]) ionic liquid as surfactant is formulated and optimized regarding amounts of co-surfactant, water and oil phase. The optimum results are obtained by using a blend of Span80:Tween80:[Bmim][NO<sub>3</sub>], 70:26.25:3.75, respectively as surfactant. The fuel MEs exhibited upto 9 months stability on the bench. The dynamic viscosity and density of the optimum fuel ME were measured at the temperatures of 15, 20, 30 and 40°C, and compared with the corresponding values for the neat gasoil and blend of gasoil:sunflower oil (4:1 vol:vol). The values of the dynamic viscosity and density for the optimum fuel ME measured at various temperatures are detailed in Table 1.

**Table 1 – Dynamic viscosity and density of the ME, neat gasoil and gasoil-sunflower oil blend at the different temperatures.**

Temperature °C	Density (g/cm <sup>3</sup> )			Dynamic Viscosity (mPa.s)		
	ME	neat gasoil	gasoil:sunflower oil	ME	neat gasoil	gasoil:sunflower oil
15	0.854660	0.837349	0.853857	5.8809	3.0750	7.6378
20	0.850868	0.833869	0.850364	4.9350	2.4400	6.5307
30	0.843208	0.826930	0.843383	3.5912	1.8500	4.9332
40	0.835441	0.819895	0.836412	2.7042	1.4600	4.1077

The size of the water droplets dispersed in the ME and also their size distribution at 25 °C was measured by dynamic light scattering (DLS) technique. As can be seen in Figure 1, the water droplets dispersed in the optimum fuel ME have a very narrow size distribution peak, with the sizes nearly 10 nm, which is providing the high stability for this fuel ME.

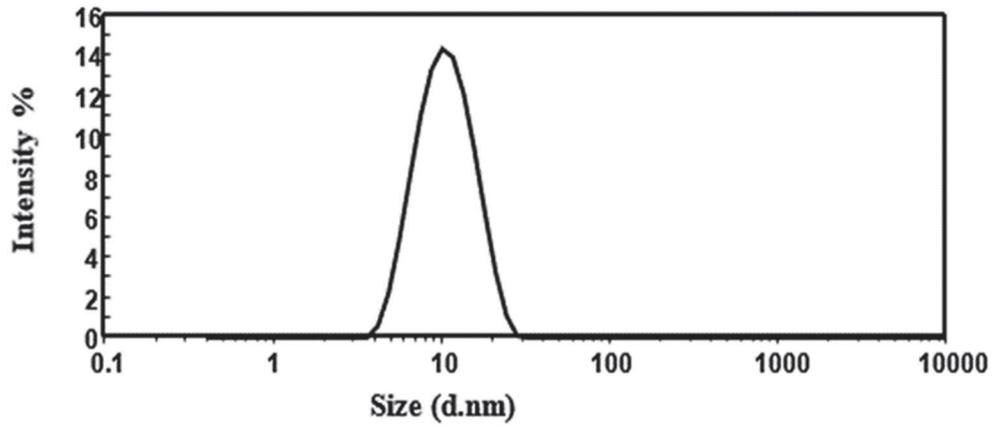


Figure 1 - DLS hydrodynamic size distribution graph of water droplets in optimum fuel ME

The engine combustion tests at various engine speeds and full load indicated that the brake specific fuel consumption (BSFC), torque, brake power and exhaust-gas temperature (EGT) are decreased in fuel ME compared to neat gasoil (Figure 2).

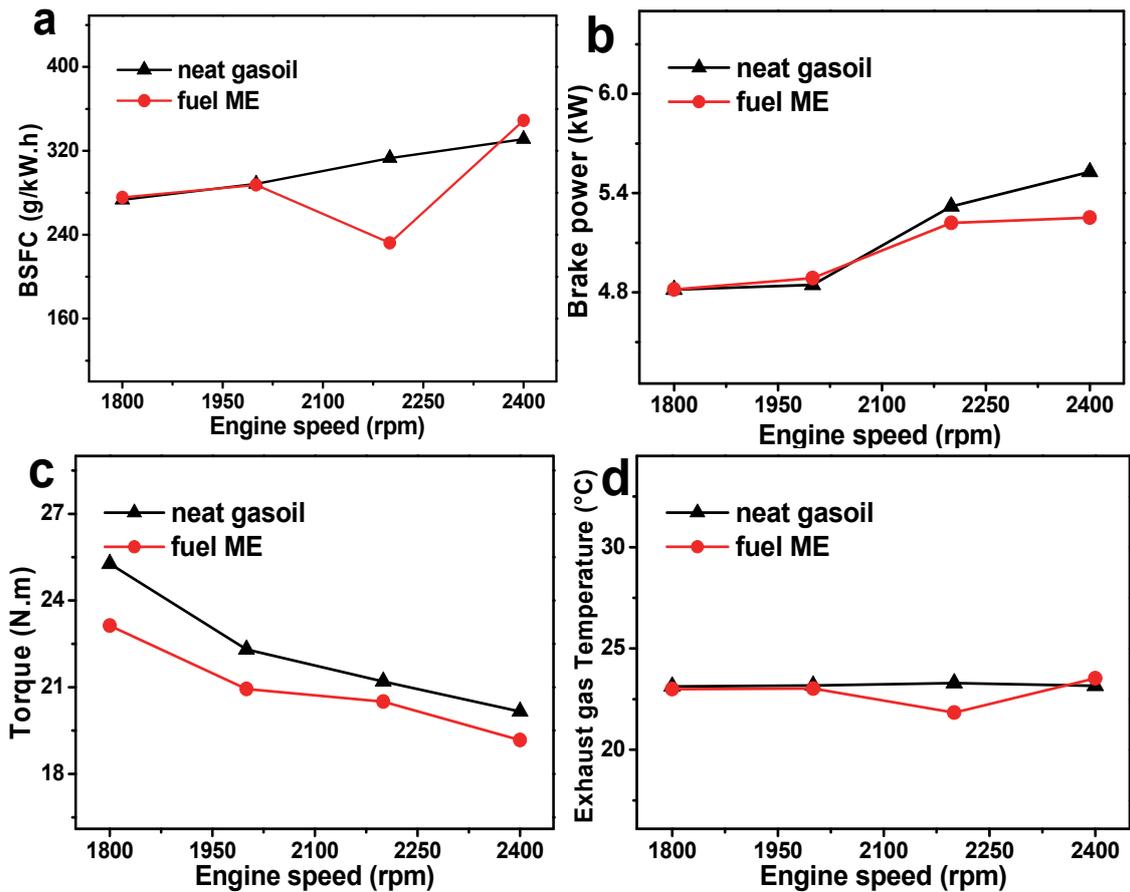


Figure 2 – a) BSFC, b) brake power, c) torque and d) exhaust-gas temperature (EGT) vs. engine speed for neat gasoil and optimum fuel ME

The engine combustion tests at various engine speeds and full load indicated a 4-5% reduction in the CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions for the optimum fuel ME compared to neat gasoil, while HC and CO emissions were increased by about 18.4% and 1.18%, respectively.

#### REFERENCES

1. Najjar, R., Zarei-Gharehbaba, L., Tazerout, M. The exhaust emission characteristics of a water-emulsified diesel/sunflower oil blend fuel by ionic liquid surfactants. *International Journal of Environmental Science and Technology* – 2022 – Vol. 19 – No. 3 – P. 1175–1184.
2. Najjar, R., Heidari, S. Modified diesel prepared by stabilization of water as nanodroplets in diesel/colza oil blend: Study of phase behavior and affecting parameters. *Fuel* – 2018 – Vol. 214 – P. 497–504.
3. Heidari, S., Najjar, R., Burnens, G., Awad, S., Tazerout, M. Experimental investigation of emission, combustion, and energy performance of a novel diesel/colza oil fuel microemulsion in a direct-injection diesel engine. *Energy & Fuels* – 2018 – Vol. 32. – No. 10. – P. 10923–10932.
4. Najjar, R., Heidari, S., Tazerout, M. Formulation of an economical microemulsion of diesel/colza oil fuel and investigation of some physical parameters for its stability. *Environmental Progress & Sustainable Energy* – 2018 – Vol. 37, No. 5 – P. 1762–1769.
5. Najjar, R., Zarei-Gharehbaba, L., Tazerout, M., Patil, S.R. Stable gasoil/sunflower oil fuel microemulsions prepared by using methylimidazolium based ionic liquids as surfactant. *Journal of Molecular Liquids* – 2020 – Vol. 298 – P. 111970.

УДК 665.7

**Laya Zarei-Gharehbaba, Reza Najjar**

(University of Tabriz)

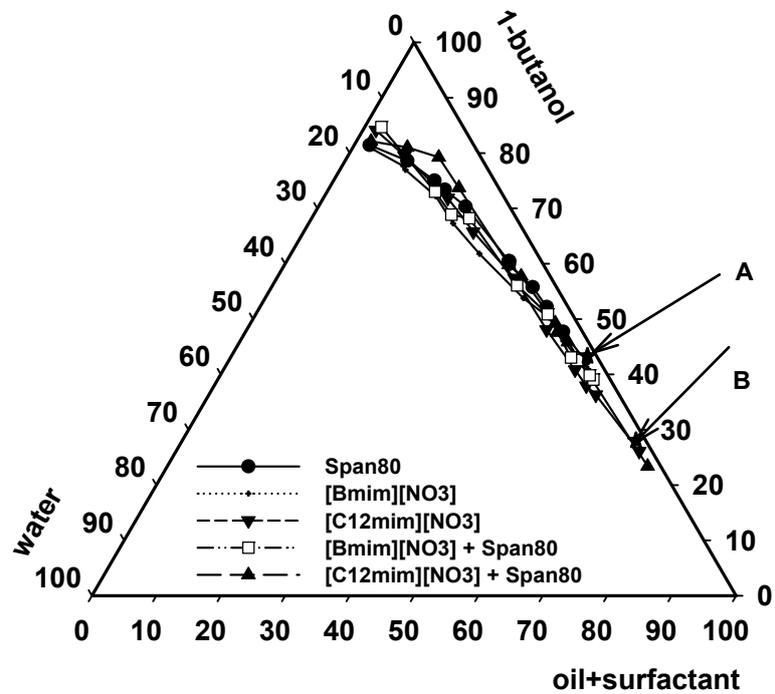
**Konstantsin Vishneuski**

(BSTU)

#### **USING ALKYL IMIDAZOLIUM BASED IONIC LIQUIDS AS SURFACTANTS TO PREPARE MICROEMULSION OF GASOIL/VEGETABLE OIL**

Increasing of the global concern about the high energy consumption of the world, diesel fuel has entered into the researcher's center of attention. This energy carrier has turned to a major source of pollutants and suspended particles. Vegetable oils as a renewable fuel have good heating power and

the potential to reduce carbon emissions [1]. The use of microemulsion water in a blend of gasoil and vegetable oil is a way to reduce the pollution of diesel engine [2,3]. The method that has been taken to major reduce the emissions of diesel engines is to use microemulsion water in diesel. The microemulsion technique as a significant approaches introduced to decrease the problems encountered eradicate neat diesels [3]. Microemulsions consist of two immiscible liquids, which are stabilized by surfactants and have thermodynamic stability. In recent decades ionic liquids have attracted widely attention as green solvents that are used in various applications. These compounds can have been used to form microemulsions as scattering intermediates, polar phase and recently used as surfactants [4]. Ionic liquids base on alkyl imidazolium have the ability to form self-aggregation structures similar to micelles in microemulsion [5]. A microemulsion of gasoil/vegetable oil (80:20), water and 1-butanol as co-surfactant in the presence of BmimNO<sub>3</sub> and C12mimNO<sub>3</sub> ionic liquids and Span80 as surfactant were prepared and their phase diagrams were plotted. Comparison of the phase diagrams of the samples has revealed a larger single phase region for samples prepared with ionic liquids than the conventional Span80 surfactant. In Figure (1) the phase diagram for microemulsion system in the present of the conventional surfactant Span80, [Bmim][NO<sub>3</sub>] and [C12mim][NO<sub>3</sub>] ionic liquids, blend of surfactant Span80 and each of these ionic liquids with a ratio of 50:50 has been shown.



**Figure 1 - The phase diagram of gasoil/vegetable oil of sunflower oil (80:20 wt %), water, surfactant (ionic liquids, Span80 and blend of ionic liquids with Span80) 1-butanol with  $\gamma=0.05$  at room temperature and 750 rpm**

Through the phase diagrams two samples with high percentage of oily phase were selected and their kinematic, dynamic viscosity was measured and compared with pure diesel fuel according to the standards. The result indicated that these samples have a very close values to net diesel fuel. Figure 2 shows the dynamic viscosity of samples.

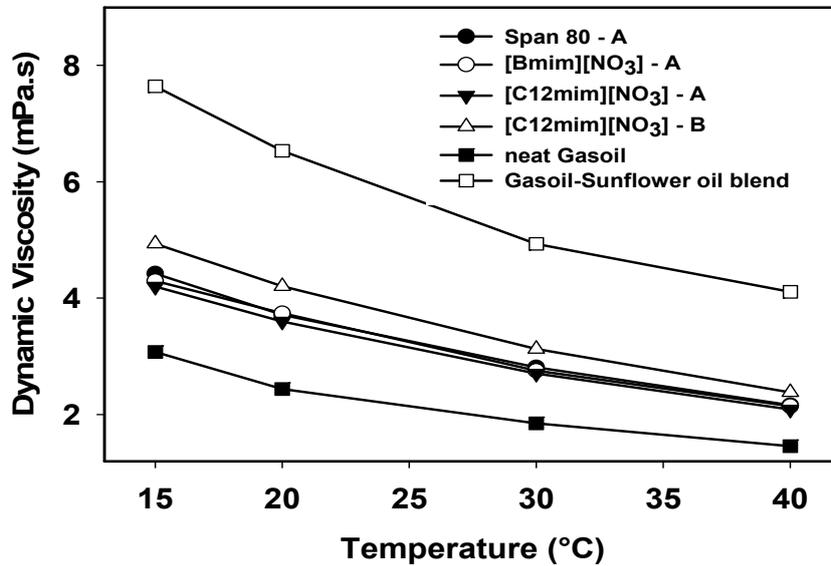


Figure 2 – Comparison of the dynamic viscosity of samples A and B prepared with Span80 and BmimNO<sub>3</sub> and C12mimNO<sub>3</sub> ionic liquids

According to the ASTM D445 the kinetic viscosity at 37.5°C temperature that is 2.0-2.5 mm<sup>2</sup> / s .Viscosity data obtained of the samples are desirable and nearby to pure diesel fuel.

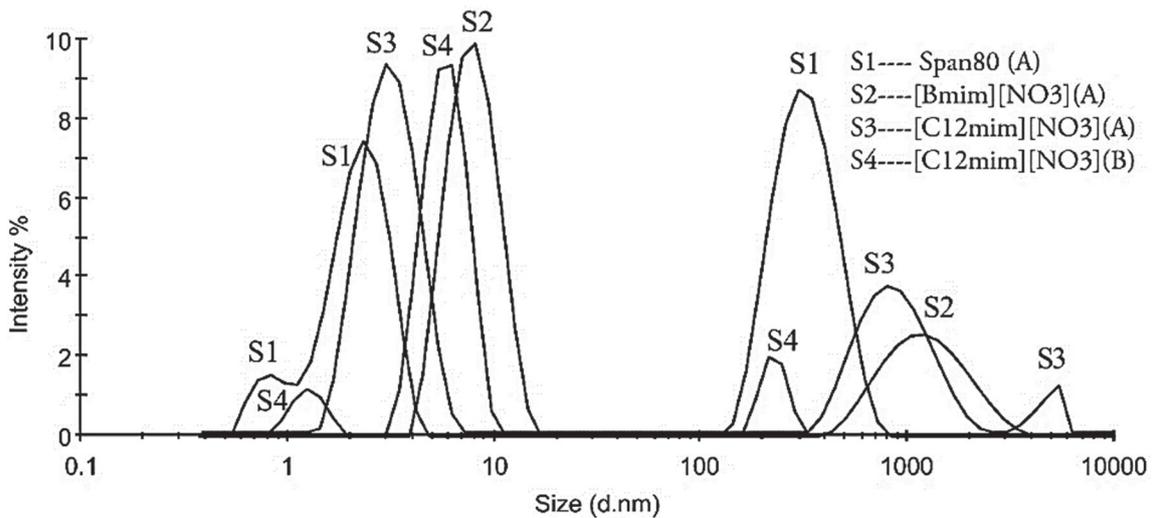


Figure 3 – The hydrodynamic size distribution diagrams of water droplets in Samples of points A and B

In microemulsion systems, the size of water droplets and size distribution of these droplets is important in the stability of the microemulsion. The more water droplets are smaller and narrower distributed, the greater stability of the system. Fig (3) indicate the size and size distribution of droplets. 8.706nm (upto 70.4%) for [Bmim][NO<sub>3</sub>] 3.358 nm (upto 64.50%) for [C12mim][NO<sub>3</sub>] in point A, 6.153nm (upto 82.30%) for [C12mim][NO<sub>3</sub>] in point B and 331.0nm (upto 53.7%) for Span80 in microemulsions. The DLS analysis of water droplets in the samples indicated a very narrow size distribution for these sample. In microemulsions prepared with ionic liquids, main percentage of water droplets were shown to be less than 10 nm.

#### REFERENCES

1. Najjar, R., Zarei-Gharehbaba, L., Tazerout, M. The exhaust emission characteristics of a water-emulsified diesel/sunflower oil blend fuel by ionic liquid surfactants. *International Journal of Environmental Science and Technology* – 2022 – Vol. 19 – No. 3 – P. 1175-1184.
2. Heidari, S., Najjar, R., Burnens, G., Awad, S., Tazerout, M. Experimental investigation of emission, combustion, and energy performance of a novel diesel/colza oil fuel microemulsion in a direct-injection diesel engine. *Energy & Fuels* – 2018 – Vol. 32. – No. 10. – P. 10923-10932.
3. Najjar, R., Heidari, S. Modified diesel prepared by stabilization of water as nanodroplets in diesel/colza oil blend: Study of phase behavior and affecting parameters. *Fuel* – 2018 – Vol. 214 – P. 497-504.
4. Najjar, R., Zarei-Gharehbaba, L., Tazerout, M., Patil, S.R. Stable gasoil/sunflower oil fuel microemulsions prepared by using methylimidazolium based ionic liquids as surfactant. *Journal of Molecular Liquids* – 2020 – Vol. 298 – P. 111970.
5. Gao, H., et al., Microemulsions with ionic liquid polar domains. *Physical Chemistry Chemical Physics* – 2004 – Vol. 6 No. 11, P. 2914-2916.

УДК 54-325

**Бышик А.А., Дормешкин О.Б., Гаврилюк А.Н., Мохорт М.С.**  
(Белорусский государственный технологический университет)

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ФОСФОРИТОВ МАРОККО РАЗЛИЧНЫХ МАРОК**

В связи с сокращением высококачественных апатитовых руд, увеличении стоимости фосфатного сырья и ограничениями в возможности его поставок стоит вопрос в применении новых видов фосфатного

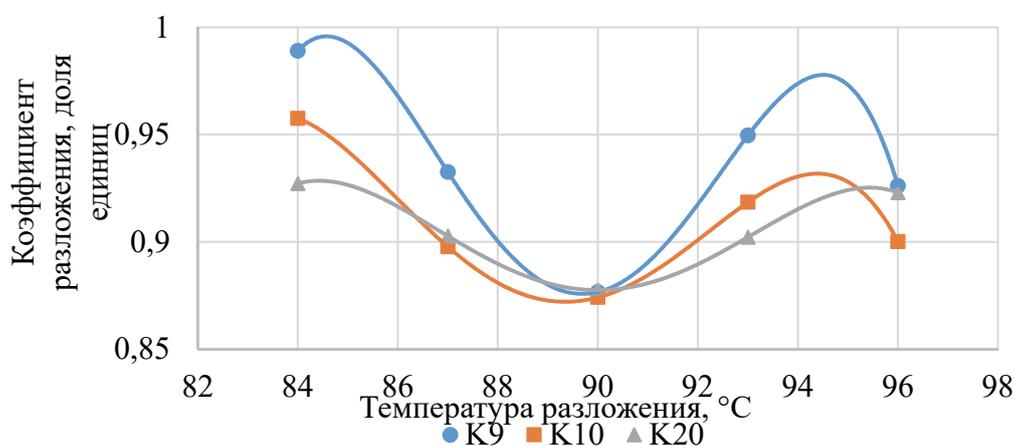
сырья, которое являлось бы более доступным и выгодным для применения на действующем предприятии в Республике Беларусь ОАО «Гомельский химический завод».

Соответственно возникает необходимость в определении оптимальных параметров переработки нового сырья с сохранением высокой производительности и эффективности производства.

Объектами исследования являлись суперфосфатные суспензии, полученные при кислотном разложении североафриканских фосфоритов из Марокко марок К-9, К-10 и К-20, и продукты их разделения: экстракционная фосфорная кислота и сульфат кальция.

Результаты исследований показали, что характер зависимостей коэффициентов разложения различных видов фосфатного сырья от температуры процесса разложения имеют идентичную зависимость (рисунок 1) и характеризуются наличием минимума в интервале температур 88-92°C. Наибольший коэффициент разложения для всех источников сырья достигается при температуре 84°C, так как при 96°C увеличивается степень пересыщения по сульфату кальция, что приводит к образованию большего количества центров кристаллизации и ухудшению процесса диффузии кислоты к поверхности сырья.

По результатам рентгенофазового анализа основной кристаллической фазой осадков, образующихся при кислотном разложении североафриканских фосфоритов марки К-9 не зависимо от температуры является полугидрат сульфата кальция  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ .



**Рисунок 1 – Влияние температуры процесса на коэффициент кислотного разложения природных фосфатов**

При кислотном разложении североафриканских фосфоритов марки К-10 при 84°C образуется, как и для марки К-9, полугидрат сульфата кальция  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , однако с увеличением температуры до 96°C, происходит сокристаллизация с гипсом  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , причем доля

гипса по мере увеличения температуры растёт и при 96 °С превалирует над количеством полугидрата.

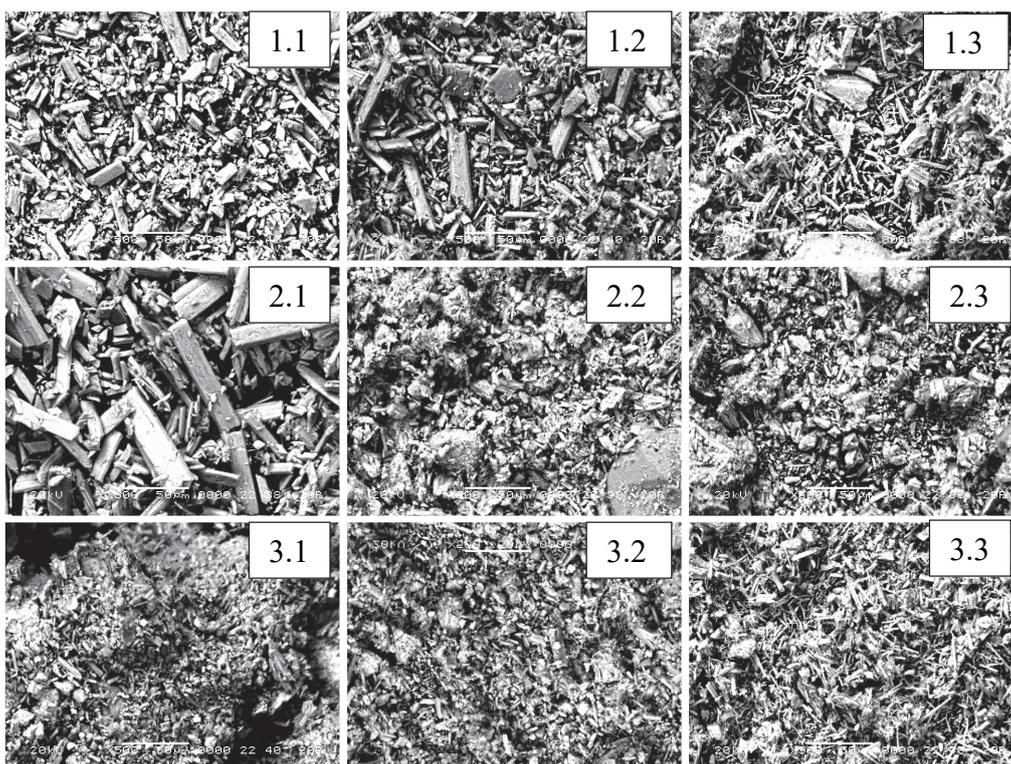
При кислотном разложении североафриканских фосфоритов марки К-20 наблюдается обратная зависимость. При 84°С сульфат кальция кристаллизуется в виде гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , а по мере увеличения температуры до 96°С, происходит сокристаллизация с полугидрат сульфата кальция  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , причем доля полугидрата по мере увеличения температуры растёт и при 96°С составляет практически 100%.

Полученные результаты значительно отличаются от классических литературных данных о характере кристаллизации сульфата кальция в процессе кислотного разложения в присутствии в системе оборотной фосфорной кислоты применительно для условий получения ЭФК. Так, известно, что основной фазой, образующейся при получении ЭФК в практических условиях при температурах 85–100 °С и концентрации  $\text{P}_2\text{O}_5$  в кислоте <30 мас. % является полугидрат, которая в дальнейшем будет превращаться в ангидрит. Однако, для фосфоритов марок К-10 и К-20 основной фазой является гипс.

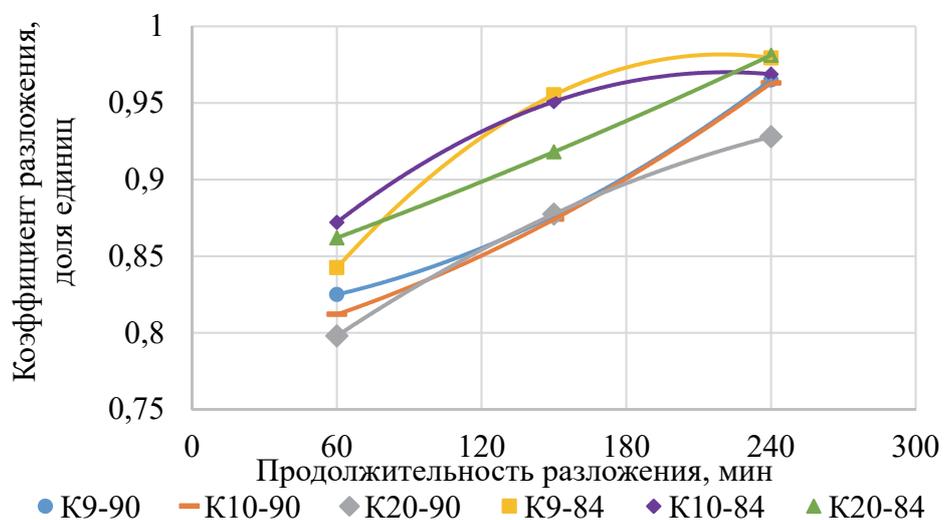
Следовательно, на скорость перекристаллизации модификаций образующегося сульфата кальция основное влияние оказывает не только температурный режим разложения и концентрация фосфорной кислоты, но и минералогический состав исходного фосфатного сырья.

На электронно-микроскопических снимках осадков независимо от вида сырья наблюдаются как призматические игольчатые кристаллы, образующие отдельные сростки, продольный размер которых не превышает 2–5 мкм (рисунок 2.2.2, 2.2.3 и 2.3.1-2.3.3), так и достаточно крупные призматические монокристаллы ромбической сингонии, сильно развитые вдоль вертикальной единичной оси, размером до 100 мкм игольчатой (рисунок 2.1.1-2.1.3 и 2.2.1) формы. Оптимальные условия кристаллизации сульфата кальция наблюдаются при осуществлении разложения при температуре 84 °С, который осаждается в виде отдельных призматических монокристаллов размером до 100 мкм, соответствующих полугидрату. Характер образующихся в этих условиях кристаллов сульфата кальция в значительной степени обуславливает хорошие реологические свойства образующихся фосфорнокислых суспензий, их высокую текучесть и низкую вязкость.

При изучении влияния продолжительности процесса на коэффициент разложения фосфатного сырья процесс проводили при 90 °С, концентрация  $\text{P}_2\text{O}_5$  в жидкой фазе равной 15 мас. %, и при 84 °С, концентрация  $\text{P}_2\text{O}_5$  в жидкой фазе – 17 мас. %. В процессе разложения образуются хорошо текучие суспензии, что позволяет достаточно легко разделить твёрдую и жидкую фазы путём их фильтрации. Изотермы зависимости коэффициента разложения представлены на рисунке 3.



**Рисунок 2 – Микрофотографии образцов осадков**  
 (первая цифра марка сырья 1 – К-9; 2 – К-10; 3 – К-20;  
 вторая цифра температура 1 – 84°C; 2 – 90°C; 3 – 96°C)



**Рисунок 3 – Влияние продолжительности процесса на коэффициент кислотного разложения природных фосфатов**

Из зависимостей видно, что значительный прирост коэффициента разложения дает продолжительность разложения. Наиболее полное разложение исходного сырья наблюдается по истечении не менее четырех часов с начала процесса и степень разложения для североафриканских

фосфоритов марки К-9 и К-10 не зависимо от температуры более 96 %, а для К-20 при 90 °С только 93%, что соответствует степени разложения традиционного фосфатного сырья. Возрастание степени разложения составляет в среднем абсолютных 14-15 %.

При продолжительности разложения 4 часа основной фазой сульфата кальция является не зависимо от вида фосфатного сырья гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Что подтверждает ранее высказанные предположения о влиянии фазового состава фосфатного сырья на скорость фазового превращения полугидрата сульфата кальция в гипс. Также необходимо отметить, что с увеличением продолжительности разложения увеличивается размер кристаллов сульфата кальция.

На основании данных химического, микроскопического и рентгенофазового анализов осадков, можно сделать следующие выводы: из рассмотренных источников сырья предпочтительными к переработке являются фосфориты марок К-9 и К-10; температурный режим разложения должен приближаться к 84 °С, т.к. в интервале температур 88-92 °С наблюдается снижение коэффициента разложения; продолжительность процесса разложения должна быть не менее 4 часов, за это время значительно возрастает коэффициент разложения, и практически заканчивается перекристаллизация полугидрата сульфата кальция в гипс.

Результаты исследований позволили установить оптимальные условия кислотного разложения рассматриваемых источников сырья в не загустевающих суспензиях и обосновали возможность их применения в условиях поточной технологии получения экстракционной фосфорной кислоты при обеспечении достаточно высокой степени разложения.

УДК 54.058

**Мохорт М.С., Дормешкин О.Б., Гаврилюк А.Н., Бышик А.А.**  
(Белорусский государственный технологический университет)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБЕСФТОРИВАНИЯ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ**

Фосфор и его соединения играют важную роль в жизнедеятельности всех живых организмов наряду с углеродом, кислородом, азотом, водой. С этой точки зрения проблемы и задачи переработки фосфатного сырья в целевые продукты с соблюдением условий выхода из экологического кризиса являются, несомненно, актуальными и представляют большой научный и практический интерес.

Ввиду различия в химическом и минералогическом составе альтернативных видов фосфатных руд, перерабатываемых, либо планируемых к переработке на профильном предприятии Республики Беларусь, ОАО «Гомельский химический завод», их существенные различия определяют необходимость проведения самостоятельных исследований с учетом особенностей состава конкретных видов фосфатного сырья.

Объектом исследования явились технологии получения очищенной экстракционной фосфорной кислоты применяемой в качестве сырья для производства кормовых фосфатов, пищевых добавок, особо чистых минеральных удобрений.

Целью данной работы является исследование физико-химических закономерностей и определение оптимальных технологических параметров обесфторивания фосфорных кислот обеспечивающих получение очищенной фосфорной кислоты пригодной для производства кормовых фосфатов.

Согласно нормативной документации, при производстве кормовых фосфатов содержание в них фторид иона не должно превышать 0,2 масс. %.

Фосфорная кислота, получаемая сернокислотной экстракцией природных фосфатов, содержит суммарно от 5 до 15 мас. % примесей.

Основными из них являются:

- катионы:  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ti}^{+4}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{NH}^{+4}$  и др.;
- анионы:  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HSO}_4^{-}$ ,  $\text{F}^{-}$ ,  $\text{SiF}_6^{-2}$ ,  $\text{AsO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{CO}_3^{-2}$  и др.

Основные методы очистки фосфорных кислот являются – экстракционная очистка органическими растворителями, ионный обмен, перекристаллизация, метод осаждения и электрохимический метод. Однако, не все перечисленные направления пригодны для их осуществления относительно ЭФК. Так, метод ионного обмена неприемлем из-за высокого содержания примесей в исходной кислоте, метод перекристаллизации – из-за низкой концентрации  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , а применение органических растворителей – из-за отсутствия производства необходимых реагентов в стране и необходимости их импорта при их достаточно высокой стоимости.

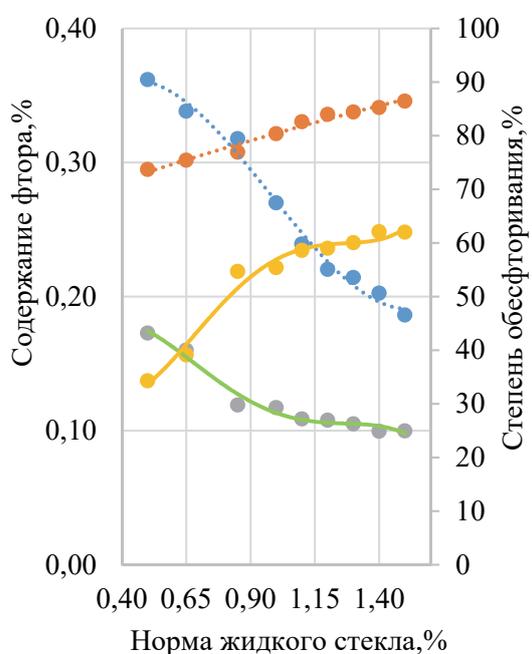
На основании вышесказанного при проведении исследований изучалась очистка фосфорной кислоты методом осаждения фтористых соединений с определением норм расхода осадительных компонентов, очистка фосфорной кислоты методом отдувки, а также в присутствии адсорбентов с определением и отработкой оптимальных технологических параметров процессов очистки.

Метод осаждения основан на связывании фтора в виде труднорастворимых кремнефторидов щелочных металлов с последующим отделением осадка с помощью фильтрации.

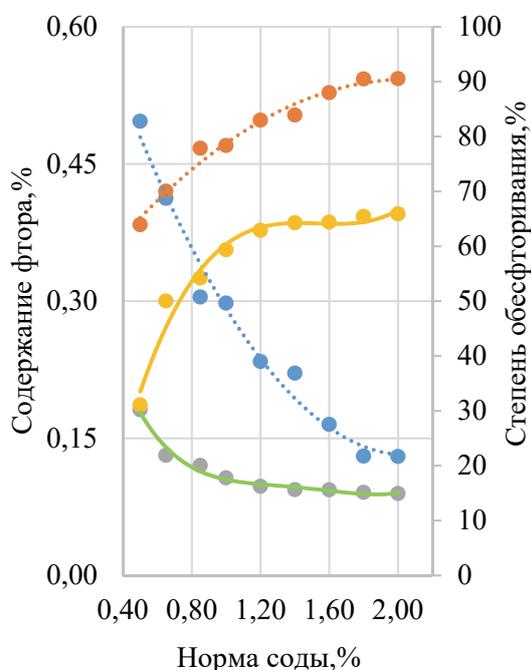
В качестве осадительного реагента использовалась осадительная суспензия, приготовленная путем смешивания жидкого стекла, разбавленного водой до соотношения 1 : 3, взятого в пересчете на  $\text{SiO}_2$  в количестве 50–150% в пересчете на фтор, соды взятой в количестве 50–200% в пересчете на фтор, очищаемой кислоты 20 % от очищаемой массы.

Предварительная подготовка осадительной смеси позволяет получить более крупные кристаллы гексафторсиликата натрия, увеличить скорость и полноту выделения соединений фтора в осадок.

При осуществлении очистки ЭФК методом осаждения основными параметрами, влияющими на качество получаемой кислоты, является соотношение жидкого стекла и соотношение соды к начальному содержанию фтора. На рисунках 1 и 2 изображены зависимости остаточного содержания фторид-ионов и степени обесфторивания от нормы жидкого стекла и соды соответственно.



**Рисунок 1 – Зависимость остаточного содержания фторид-ионов от нормы жидкого стекла и соды**



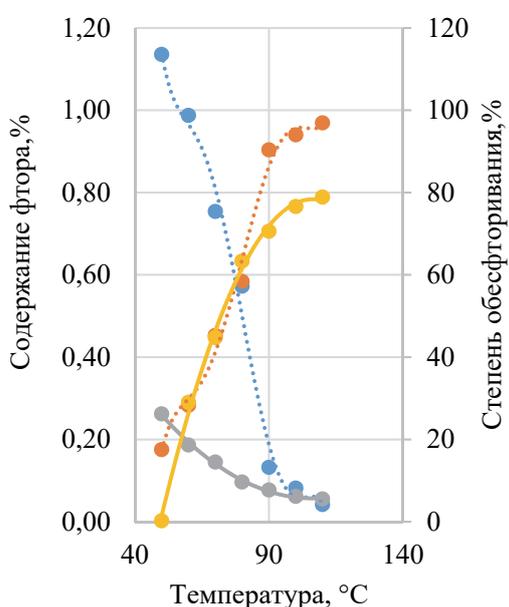
**Рисунок 2 – Зависимость степени обесфторивания от нормы жидкого стекла и соды**

Из многочисленных вариантов отдувки фтористых соединений из ЭФК и УЭФК наиболее приемлемым представляется процесс отдувки фтора воздухом, а также комбинированием отдувки с применением адсорбентов.

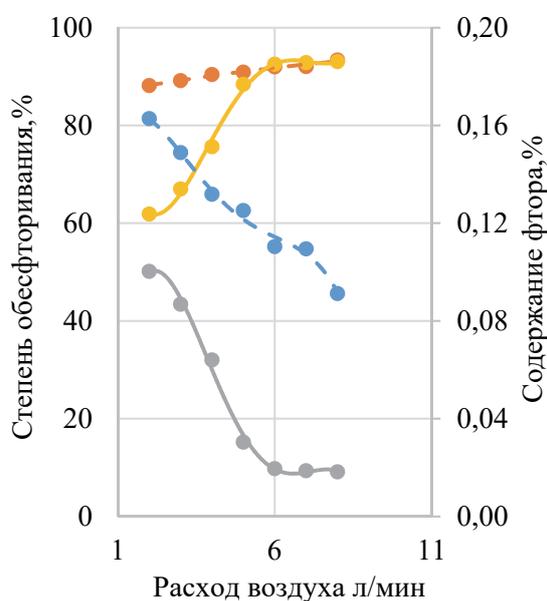
При осуществлении очистки кислот методом отдувки основными параметрами, влияющими на качество получаемой кислоты, является температура процесса и расход подаваемого воздуха.

Так как отдувка – это процесс, основанный на уносе растворенных фторидов в ЭФК, а с повышением температуры растворимость газов уменьшается, можно сделать вывод, что процесс отдувки фторидов из ЭФК нужно проводить при нагреве кислоты. Так как изменения содержания фторид-ионов в ЭФК при 90°C и при 100°C не значительны, оптимальная температура продувки составляет 90°C.

Исследование влияния расхода воздуха на процесс отдувки проводилось при оптимальной температуре 90°C. Расход воздуха изменялся от 2 до 8 л/мин. На рисунках 3 и 4 изображены зависимости остаточного содержания фторид-ионов и степени обесфторивания от температуры процесса и расхода воздуха.



**Рисунок 3 – Зависимость остаточного содержания фторид-ионов и степени обесфторивания от температуры процесса**



**Рисунок 4 – Зависимость остаточного содержания фторид-ионов и степени обесфторивания от расхода воздуха**

После определения оптимальных параметров процесса, была проведена серия экспериментов с использованием в процессе отдувки воздухом адсорбентов, для определения возможности достижения наиболее глубокой степени очистки.

Исследование влияния адсорбентов на процесс очистки фосфорных кислот от фтора проводилось с использованием углей различных марок, а также микропористого силикогеля, полученные данные представлены в таблице 1.

Действие диоксида кремния объясняется тем, что при температуре 90 °С происходит взаимодействие со сложными комплексными соединениями фтора с алюминием, железом и магнием.

**Таблица 1 – Показатели содержания фторид-иона при использовании адсорбентов**

№	Содержание фтора в исходной ЭФК (1) и УЭФК (2), масс. %	Адсорбент	Оптимальные параметры процесса, %		Содержание фтора в очищенной ЭФК, %	Степень выделения F
			T, °C	Расход воздуха, л/мин		
1.1	1,378	Уголь УБФ	90	8	0,192	86,039
1.2	1,378	Уголь АР-3	90	8	0,025	98,188
1.3	1,378	SiO <sub>2</sub>	90	8	0,021	98,457
2.1	0,263	Уголь УБФ	90	8	0,084	68,232
2.2	0,263	Уголь АР-3	90	8	0,070	73,397
2.3	0,263	SiO <sub>2</sub>	90	8	0,049	81,502

В результате протекания реакций образуется тетрафторид кремния, который с газовой фазой удаляется из кислоты.

При комбинации методов очистки можно получить кислоту достаточно глубокой степени очистки. Это можно объяснить тем, что после осаждения, оставшейся активный SiO<sub>2</sub> способствует переходу HF в SiF<sub>4</sub>, а как известно, SiF<sub>4</sub> более летуч чем HF, поэтому целесообразно использовать последовательность методов осаждение и отдувка.

Результаты исследований позволили определить оптимальный технологический режим процесса очистки фосфорных кислот методом химического осаждения, а также методом отдувки.

Оптимальная норма жидкого стекла для ЭФК составляет 150 %, соды – 180 %, содержание фтора в ОЭФК 0,13%. Для УЭФК норма жидкого стекла составляет 140 %, соды – 120%, содержание фтора в ОУФК 0,09%.

Способ очистки фосфорных кислот отдувкой их воздухом позволяет достичь наибольшей степени обесфторивания, по сравнению с методом осаждения.

Оптимальная температура процесса обесфторивания составляет 90 °С, расход воздуха 8 л/мин, при данных параметрах содержание фтора в очищенной ЭФК составляет 0,02%, а для УЭФК 0,012%.

Использование как индивидуальных способов очистки кислот - осаждение и отдувка, так и комбинации отдувки с адсорбентами обеспечивают требуемую для последующего получения кормовых фосфатов степени очистки от фтор-иона.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЯЖЕЛОГО ГАЗОЙЛЯ И ЩЕЛОЧНЫХ ОТХОДОВ УСТАНОВОК НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ В БУРОВЫХ РАСТВОРАХ

Улучшить технико-экономические показатели бурения позволяет разработка и внедрение замещающих компонентов рецептур буровых растворов. В качестве объектов исследования рассмотрены тяжелый газойль коксования установки замедленного коксования (таблица 1) и щелочные отходы установки Мерокс бензина (таблица 2) Туркменбашинского комплекса нефтеперерабатывающих заводов (ТКНПЗ).

**Таблица 1 – Характеристика тяжелого газойля коксования установки замедленного коксования ТКНПЗ**

№ п/п	Наименование показателя	Норма	Метод испытания
1	Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не менее	110	TDS 4333-87
2	Массовая доля воды, %, не более	отсутствует	TDS 2477-65
3	Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не менее	885	TDS 3900-85
4	Фракционный состав: – температура начала перегонки, °С, не менее	200	TDS 2177-99
5	Коксуемость %, не менее	0,12	TDS 19932-74

**Таблица 2 – Характеристика щелочных отходов**

№ п/п	Наименование показателя	Величина	Методы анализа
1	Плотность при 25°С, г/см <sup>3</sup>	1,05–1,35	Ареометр
2	NaOH, % масс.	5,22	PTD – 162
3	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , % масс.	Следы	
4	Меркаптиды Na в пересчете на S, % масс.	0,83	PTD – 16а
5	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % масс.	Следы	PTD – 18
6	Na <sub>2</sub> S, % масс.	5,17–14,92	PTD – 16а
7	Свободные углеводороды	0,013	
8	Кислые масла	9,35–9,91	
9	ВПК г/дм	85–180	
10	ХПК г/дм	75–110	
11	Вода, % масс	89,11–84,4	

Были проведены исследования по использованию тяжелого газойля коксования установки замедленного коксования (ТГК) и щелочных

отходов, получаемых при очистке светлых дистиллятов (ЩОСД) – на ТКНПЗ, в качестве компонентов эмульсионных буровых растворов.

Для этого были приготовлены модельные буровые растворы, в которых соотношение ТГК : ЩОСД составляло 30:70, 40:60 и 50:50 соответственно. Методика приготовления растворов заключается в определенной последовательности ввода необходимых компонентов.

При интенсивном перемешивании растворов происходит полное растворение каустической соды, сульфанола, высокомолекулярного реагента-стабилизатора-камцелла и образование эмульсий от светло-бежевого до светло-коричневого цвета. В зависимости от увеличения содержания ТГК цвет эмульсий становится более коричневым. Визуально все исследуемые эмульсии, полученные на основе двух несмешивающихся жидкостей ТГК и ЩОСД, однородны и устойчивы.

Полученные эмульсионные растворы были проанализированы при комнатной температуре - 32<sup>0</sup>С. Анализ данных показал, что увеличение содержания тяжелого газойля коксования и уменьшение содержания щелочных отходов способствуют снижению плотности растворов и увеличению их вязкости. Плотность растворов находится в пределах 0,85-0,89 г/см<sup>3</sup>, условная вязкость характеризуется как «слаботекучая», фильтрация составляет 3-6 см<sup>3</sup>. Исследуемые эмульсионные растворы представляют собой структурированные жидкости с нарастающим во времени статическим напряжением сдвига.

Известно, что основным показателем качества эмульсий является стабильность (устойчивость к расслоению), а признаком потери стабильности эмульсий – появление отстоя и снижение вязкости. При бурении с увеличением глубины скважины растет температура забоя и происходит нагрев бурового раствора. Высокие температуры вызывают коагуляцию раствора, способствуют расслоению эмульсий и потере стабильности [1].

Для изучения влияния температуры на термостабильность эмульсий исследуемые растворы термостатировали в течение 16 часов при 150<sup>0</sup>С в роликовой печи.

Продолжительное термостатирование при высокой температуре показало, что вязкость растворов уменьшилась многократно.

Однако, иная картина наблюдается для раствора, в котором соотношение ТГК : ЩОСД составляет 50:50. В этом растворе вязкость не уменьшилась. По-видимому, увеличение содержания ТГК до 50 % и уменьшение ЩОСД до 50 % способствует образованию более вязкого эмульсионного раствора.

Снижение вязкости раствора после термостатирования позволяет предположить возможное температурное разжижение его в процессе

бурения, так как с увеличением глубины бурения происходит разогрев раствора, и ослабление стабильности.

Кроме исследования реологии протермостатированных в течение 16 часов эмульсий эти растворы были поставлены на трехсуточный отстой. 72-х часовое выдерживание эмульсий в состоянии покоя показало, что, в растворах отстой незначителен. Однако, следует отметить, что наиболее структурированным, однородным и стабильным раствором является эмульсия, обладающая высокой вязкостью и нулевым 3-х суточным отстоем, в которой соотношение исходных компонентов ТГК и ЩОСД составляет 50:50.

При определении смазочных свойств этого эмульсионного раствора на приборе КТК установили, что коэффициент трения корки-пленки остается постоянным, равным 0,09, как в первоначальный момент соприкосновения цилиндра с коркой, так и через 5 и через 10 минут покоя. Это говорит о том, что с течением времени смазочные свойства эмульсии (50:50) не ослабевают, липкость корки не увеличивается во времени. Стабильность коэффициента трения во времени предполагает предотвращение возможных прихватов.

Таким образом, стабильность эмульсий, полученных на основе двух несмешивающихся жидкостей ТГК и ЩОСД, увеличивается в зависимости от увеличения ТГК и уменьшения ЩОСД и достигает максимума при их соотношении 50:50.

Термостабильность эмульсии обеспечивается эмульгаторами, как введенными в раствор (сульфонол и камцелл), так и содержащимися в ТГК в оптимальном количестве в виде высокомолекулярных соединений – смол или асфальтенов. Можно предположить и о возможном присутствии в ЩОСД небольших количеств деэмульгаторов, которые влияют на стабильность эмульсий. Этим можно объяснить и тот факт, что при уменьшении ЩОСД в эмульсиях стабильность последних увеличивается.

Итак, на основании полученных данных можно сказать, что эмульсионный раствор, в котором  $\text{ТГК} : \text{ЩОСД} = 50:50$ , имеет низкие значения фильтрации и коэффициента трения, высокие реологические параметры и нулевой отстой после трехсуточного выдерживания в покое. Все это вместе взятое позволяет интерпретировать данный буровой раствор как термостабильную эмульсию.

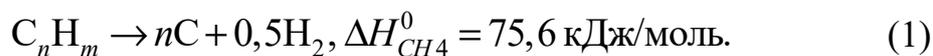
Таким образом, исследуемые отходы Туркменбашинского комплекса нефтеперерабатывающих заводов (тяжелый газойль с установки замедленного коксования и щелочные отходы очистки светлых дистиллятов) в оптимальном соотношении могут быть рекомендованы для получения эмульсионных буровых растворов.

**Курмашов П.Б., Попов М.В., Баннов А.Г.**  
(Новосибирский государственный технический университет)

**Вишневский К.В.**  
(Белорусский государственный технологический университет)

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЯ ДЛЯ СИНТЕЗА КАТАЛИЗАТОРА ПЕРЕРАБОТКИ ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ**

В настоящее время альтернативной технологией получения водорода и наноструктурированного углерода является реакция каталитического разложения углеводородных газов ряда C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>. Рассматриваемый процесс рационально использовать для переработки попутного нефтяного газа (ПНГ), например, по следующей реакции [1].



Достоинством рассматриваемого процесса является ее простота, экологичность, отсутствие выбросов углерода в продуктах реакции оксидов углерода (CO<sub>x</sub>-free процесс). Процесс реализуется в присутствии высокопроцентных металлических катализаторов, в состав которых входят металлы подгруппы железа.

Реакция разложения углеводородных газов осуществляется в широком диапазоне температур (T<sub>p</sub>=773-1273 К) и давлений (P<sub>p</sub>=1-10 атм), при этом температура и давление процесса в первую очередь зависят от химического состава катализатора (активного компонента).

Образуемые углеродные наноматериалы (нановолокна и нанотрубки) проявляют различные физические, химические и каталитические свойства, зависящие от технологии их получения, а также от свойств катализатора и состава реакционной газовой смеси.

Углеродные наноматериалы имеют широкую сферу применения, например, суперконденсаторы, полимерные композиции, газовые сенсоры и т.д.

Недостатком рассматриваемой технологии является дезактивация катализатора, связанная с блокированием («зауглероживанием») активных центров катализатора образующимися продуктами реакции (углеродным наноматериалом).

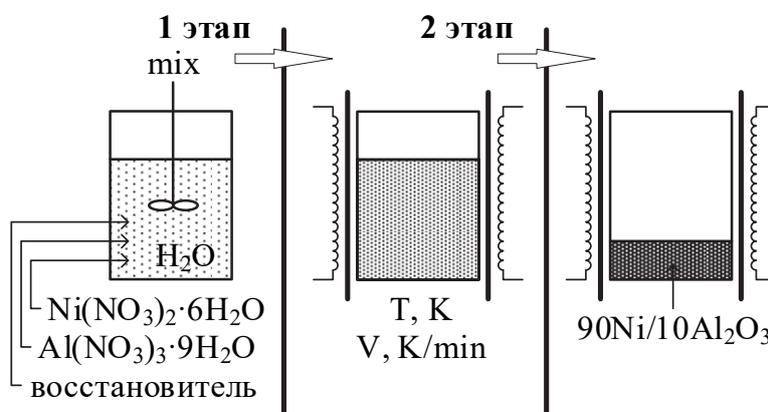
Таким образом экономический эффект реакции будет определяться дешевизной углеводородного газа и технологией синтеза катализатора.

Согласно многочисленным литературным данным, технология синтеза катализатора методом горения раствора (solution combustion\_

является эффективной с точки зрения трудоемкости и экономичности [2,3].

Метод реализуется в результате взаимодействия окислителя, в качестве которых используют кристаллогидраты активных металлов, а также органического восстановителя (например, уротропин, глицин, мочевины, крахмал, лимонная и щавелевая кислоты). Синтез реализуется в одну стадию, путем растворения исходных компонентов в дистиллированной воде, с последующей термической обработкой в муфельной печи, с постепенным упариванием свободных молекул воды до образования концентрированной гелеобразной пасты, в объеме которой инициируется высокотемпературный фронт волны горения раствора.

Схематично процесс синтеза катализатора представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схематическое изображение процесса синтеза катализатора методом горения раствора**

В работе представлена оценка эффективности применения восстановителя в технологии синтеза катализатора для разложения метана при фиксированных параметрах синтеза катализатора.

Высокопроцентные катализаторы 90 масс.% и 10 масс.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  были синтезированы при следующих фиксированных параметрах: максимальная температура муфельной печи 723К, при скорости роста температуры муфельной печи 1 К/мин. Синтезированный после прокалики катализатор, измельчался до фракции 100-200 мкм, а затем тестировался в лабораторном кварцевом реакторе.

В таблице 1 представлены сводные данные по полученным результатам.

Невосстановленный образец катализатора массой 12 мг загружался в проточный кварцевый реактор. Каталитическая реакция проводилась при атмосферном давлении и температуре 823 К. Источником углеводорода являлся метан, с расходом 100 л/(ч·гкат.). В процессе каталитической

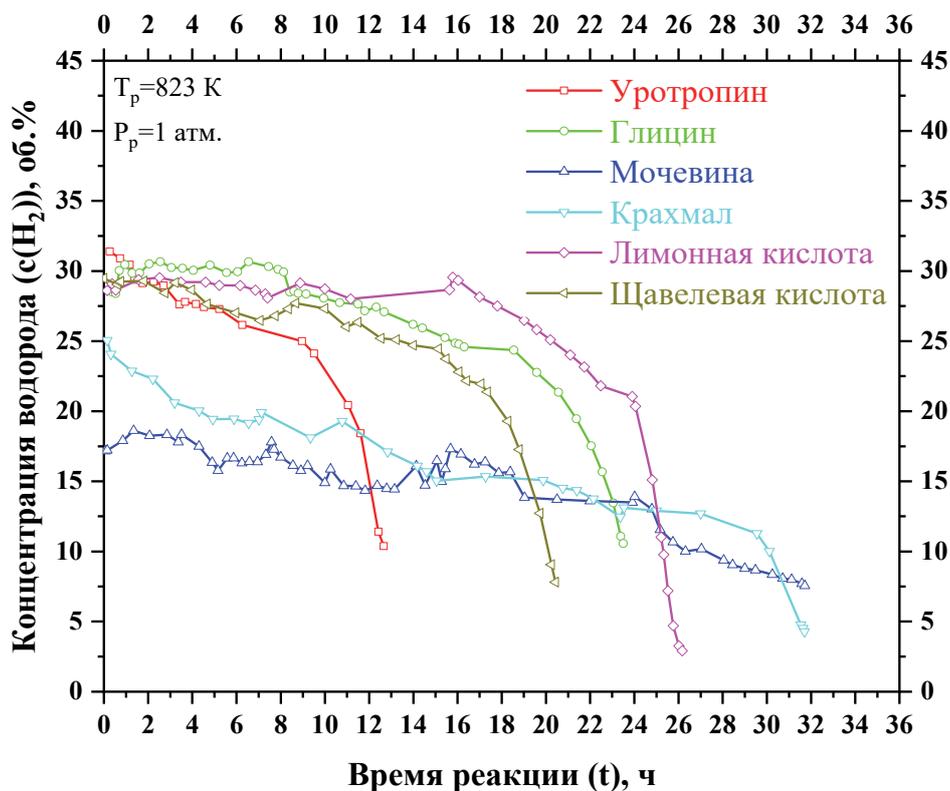
реакции непрерывно производился контроль количественного состава метано-водородной смеси посредством забора отходящих газовых продуктов реакции, с последующим анализом смеси газовым хроматографом Хромос ГХ-1000.

**Таблица 1 – Сводные данные по катализаторам**

№	Восстановитель	Время реакции ( $t_p$ ), ч	Удельный выход углерода ( $Y_C$ ), Г/Г <sub>кат.</sub>	Удельный выход углерода ( $Y_H$ ), МОЛЬ/Г <sub>кат.</sub>
1	Уротропин (У)	12,7	69,1	9,5
2	Глицин (Г)	23,5	15,4	
3	Мочевина (М)	31,7	100,9	11,3
4	Крахмал (К)	31,7	95,7	12,8
5	Лимонная кислота (Л)	26,2	171,3	17,1
6	Щавелевая кислота (Щ)	20,4	120,9	11,9

По уравнению массового баланса и данных хроматографического анализа, осуществлялся расчет удельного выхода углерода и водорода.

На рисунке 2 представлена динамика изменения концентрации водорода за период дезактивации синтезированных катализаторов.



**Рисунок 2 – Графическое отображение концентрации водорода с течением времени при  $T_p=823\text{ K}$  и  $P_p=1\text{ атм.}$**

Невосстановленные образцы катализаторов показали свою эффективность с точки зрения быстроты восстановления, т.е. накопления каталитической активности в начальный момент реакции, в течение 10–15 мин. Далее активность катализатора стабилизируется и поддерживается на уровне 17–33%, что определяется каталитической активностью катализатора. Дезактивация катализатора наступает в результате насыщения активных центров катализатора продуктами реакции.

В результате проведения каталитических реакций было установлено, что максимальные значения выхода по углероду 171,3 г/г<sub>кат.</sub> и водороду 17,1 моль/г<sub>кат.</sub> были достигнуты на катализаторе, в котором в качестве органического восстановителя была использована лимонная кислота. Мочевина и крахмал проявляют одинаковую каталитическую стабильность на протяжении всего эксперимента, но при этом характеризуются низкой активностью по углероду и водороду.

В данной работе были получены и протестированы нанодисперсные катализаторы, приготовленные на различных восстановителях по методу горения раствора. Экспериментально произведена оценка каталитической активности катализаторов в технологии синтеза углеродного наноматериала и водорода. Было установлено, что на активность катализатора существенное влияние природа органического восстановителя. Так катализатор, синтезированный на лимонной кислоте, показал высокие максимальные значения по углероду 171,3 г/г<sub>кат.</sub> и водороду 17,1 моль/г<sub>кат.</sub>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Synthesis of Ni-based catalysts by hexamethylenetetramine-nitrates solution combustion method for co-production of hydrogen and nanofibrous carbon from methane / D. G. Kuvshinov, P. B. Kurmashov, A. G. Bannov, M. V. Popov, G. G. Kuvshinov // International Journal of Hydrogen Energy. – 2019. – Vol. 44, iIss. 31. – P. 16271-16286. – DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.04.179.

2. Annigere P, Khadar A, Patil K, Hegde M. Hexamethylenetetramine: A New Fuel for Solution Combustion Synthesis of Complex Metal Oxides. J Mater Synth Process. 2002;10:135-141. doi:10.1023/A:1021986613158.

3. Dinka P, Mukasyan AS. In Situ Preparation of Oxide-Based Supported Catalysts by Solution Combustion Synthesis. J Phys Chem B. 2005;109(46):21627-21633. doi:10.1021/jp054486n.

## **Секция II**

# **ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ**

---

УДК 546.47:66.081.3

**Чикунская В.М., Щербина Л.А., Будкуте И.А.**  
(Белорусский государственный университет пищевых  
и химических технологий)  
**Устинов К.Ю., Бондаренко В.А.**  
(Завод «Полимир» ОАО «Нафтан»)

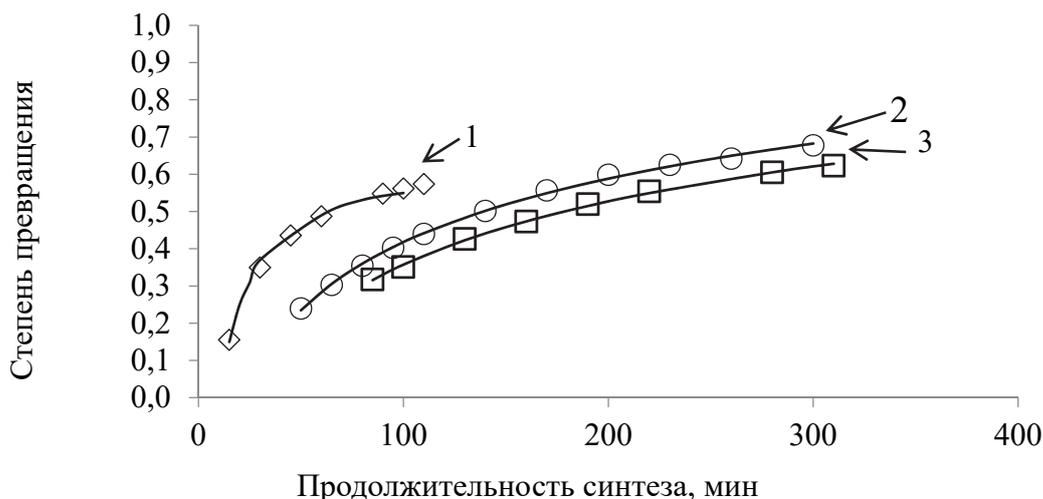
### **О ПОЛУЧЕНИИ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩЕГО СОПОЛИМЕРА АКРИЛОНИТРИЛА, МЕТИЛАКРИЛАТА И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ В АПРОТОННЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ**

Волокнообразующие сополимеры на основе акрилонитрила (АН) и получаемые из них волокнистые материалы проявляют уникальные свойства и превосходную пригодность к различным модификациям [1]. Для проведения промышленного процесса гомофазного синтеза волокнообразующих терсополимеров (ВТП) потенциально могут быть использованы как гидротропные, так и апротонные растворители [2].

В производственном процессе получения полиакрилонитрильных (ПАН) волокон, реализованном в Республике Беларусь, в качестве растворителя используется ДМФ [3]. Имеющийся опыт говорит о том, что применение данного растворителя сопровождается такими недостатками как: низкая скорость и, соответственно, большая продолжительность процесса синтеза. Это связано с высокой склонностью ДМФ к участию в реакциях передачи кинетической цепи, что ограничивает возможность увеличения скорости процесса путем повышения температуры проведения синтеза без существенного уменьшения молекулярной массы ВТП. С целью поиска путей совершенствования данного технологического процесса представляет интерес сопоставление динамики синтеза в диметилформамиде (ДМФ) с такими апротонными растворителями как диметилсульфоксид (ДМСО) и диметилацетамид (ДМАА) в условиях варьирования содержания динитрила азодиизомасляной кислоты (ДАК) в качестве инициатора.

Для этого проведен сравнительный анализ динамики синтеза ВТП на основе АН, МА и АМПС в ДМФ, ДМСО и ДМАА при 75 °С. При этом исходная реакционная смесь (РС) содержала (на 100 г смеси): сомономеров – всего 35 г (из них АН – 31,850 г; МА – 2,625 г; АМПС – 0,525 г); ДАК – от 0,112 до 0,510 г; ДМФ, ДМСО или ДМАА – до общей массы РС 100 г. Таким образом, содержание АН в мономерной смеси составляло 91 %, МА – 8 % и АМПС – 1 % (масс.). Синтез поли[АН-со-МА-со-АМПС] осуществляли с использованием лабораторной установки, являющейся физической моделью промышленного реактора идеального смешения [2, 4, 5]. Максимальная продолжительность синтеза в каждом из растворителей была ограничена возрастанием вязкости РС в результате накопления в ней сополимера до предельно допустимых значений.

Результаты изучения динамики синтеза ВТП на основе АН, МА и АМПС в ДМФ, ДМСО и ДМАА при температуре 75 °С и содержании ДАК в количестве 0,112 % (от массы исходной РС) представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Динамика синтеза ВТП при 75 °С в ДМСО (1), ДМАА (2) и ДМФ (3) при содержании ДАК 0,112 % (от массы РС)**

При содержании в реакционной смеси ДАК в количестве 0,112 % (от массы РС), максимальная степень превращения достигала значения 0,55 за первые 100 минут синтеза в ДМСО, в ДМФ за то же время – до 0,38, а в ДМАА – до 0,41. Проведение синтеза в ДМСО было прервано на 110 минуте ввиду чрезмерного возрастания вязкости реакционной массы.

На рисунке 2, в сопоставлении, представлены результаты изучения динамики синтеза волокнообразующего сополимера поли[АН–со–МА–со–АМПС] в ДМСО, ДМФ и ДМАА при содержании в РС инициатора 0,263 % (от массы РС).



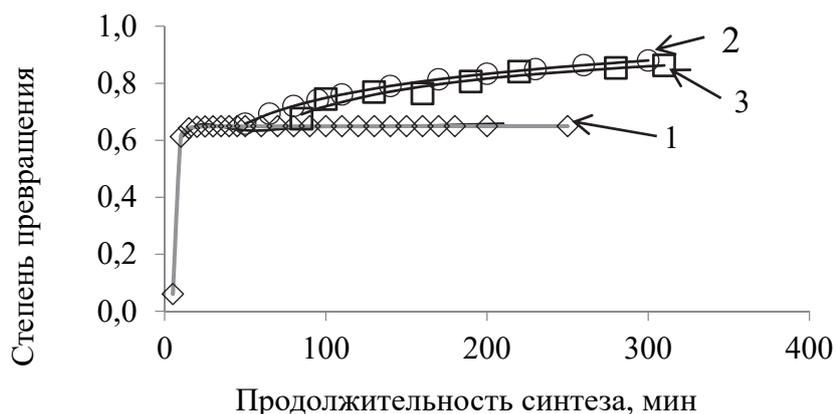
**Рисунок 2 – Динамика синтеза ВТП при 75 °С в ДМСО (1), ДМАА (2) и ДМФ (3) при содержании ДАК 0,263 % (от массы РС)**

Исходя из данных, представленных на рисунке 2, можно отметить, что синтез в ДМСО протекает до некоторой «предельной» степени превращения, что выражается в том, что увеличение длительности синтеза свыше определенного значения практически не приводит к дальнейшему росту конверсии мономеров.

В отличие от синтеза в ДМСО, в котором предельная степень превращения устанавливается за первые 30 минут при содержании ДАК в РС 0,263 % (от массы РС), синтез в ДМФ и ДМАА протекает менее активно, но при этом характеризуется непрерывным ростом степени превращения на протяжении всего процесса.

При увеличении содержания инициатора до 0,510 % (от массы РС) максимальная степень превращения 0,65 достигается уже за первые 15 минут синтеза (рисунок 3).

На основе сопоставления полученных данных о протекании процесса синтеза в различных апротонных растворителях, можно отметить, что синтез ВТП в ДМСО протекает наиболее активно, по сравнению с синтезом в ДМФ и ДМАА, но при этом данный процесс характеризуется более значительным возрастанием вязкости РС и ограничен предельным значением степени превращения мономеров.



**Рисунок 3 – Динамика синтеза ВТП при 75 °С в ДМСО (1), ДМАА (2) и ДМФ (3) при содержании ДАК 0,51 % (от массы РС)**

Это позволяет рассмотреть возможность интенсификации промышленного процесса синтеза волокнообразующих сополимеров АН путем замены ДМФ на ДМСО, что одновременно с этим может привести к повышению устойчивости выходных показателей данного процесса в результате естественного ограничения предельного значения степени превращения мономеров, приемлемых для производственной практики, которые составляют 0,5-0,6.

#### Литература

1. Геллер Б.Э. Полиакрилонитрильные волокна. Перспективы развития производства. Обзор. Химические волокна, 2002, № 3, с. 3–11.
2. Щербина Л.А. Разработка и внедрение синтеза волокнообразующего терсополимера акрилонитрила в гидротропном растворителе: дис. канд. тех. наук: 05.17.06. Минск, 2002, 161 с.
3. Разработка и анализ симуляционной модели процесса гомофазного синтеза волокнообразующего терсополимера акрилонитрила в диметилформамиде / П. В. Чвиров [и др.] // В сб. материалов Третьей Белорусской науч.-практич. конф. «Научно-технические проблемы развития производства химических волокон в Беларуси». – Могилев, 13-15 декабря 2006 г. – Могилев-Минск: МОУТ им. Спиридона Соболя, 2007. – С. 157–161.
4. Харитонович, А. Г. Исследование процесса синтеза сополимеров акрилонитрила в диметилсульфоксиде / А. Г. Харитонович, А. А. Шевцова, Л. А. Щербина // В сб. материалов Междунар. научно-технич. конфер., 18-20 ноября 2015 г.– Минск: БГТУ, 2015. – С. 450–453
5. Влияние содержания динитрила азодиизомаляной кислоты в реакционной смеси на динамику синтеза сополимеров акрилонитрила в диметилсульфоксиде / А. Г. Харитонович [и др.] // В сборнике трудов I Междунар. научно-технич. форума– НЕФТЕХИМИЯ -2018. – В 2-х частях. – Минск: БГТУ, 2018. – С.55–58

**Трубкина М.В., Руденок Я.Ю.,**

**Щербина Л.А., Будкуте И.А.**

(Белорусский государственный университет  
пищевых и химических технологий)

**Устинов К.Ю., Короткий А.Н.**

(Завод «Полимир» ОАО «Нафтан»)

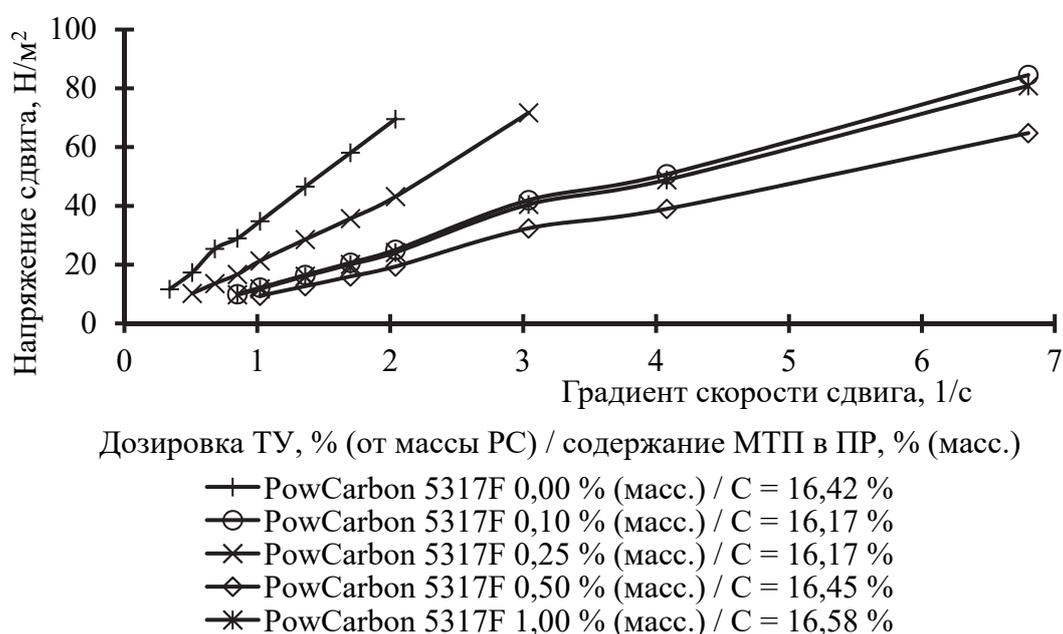
**СВОЙСТВА ПРЯДИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ И ВОЛОКОН  
НА ОСНОВЕ ТЕРСОПОЛИМЕРОВ АКРИЛОНИТРИЛА,  
СИНТЕЗИРОВАННЫХ В ПРИСУТСТВИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ  
ЧАСТИЦ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА**

Полиакрилонитрильные (ПАН) волокна находят применение как в производстве текстиля, так в технических сферах. Весьма перспективным направлением развития отрасли ПАН волокон является исследование возможности модификации их свойств путем использования наноразмерных модификаторов. Одним из вариантов введения наноразмерных модификаторов в структуру волокна может служить их дозирование в исходную реакционную среду на стадии синтеза его полимерной основы [1, 2]. Предположительно, такой подход позволит упростить процесс и улучшить качество диспергирования наноразмерных частиц. В то же время, не исключено, что введение таких модификаторов на стадии синтеза может отразиться не только на протекании самого синтеза, но и на свойствах получаемого сополимера акрилонитрила, в том числе на его способности к волокнообразованию.

Поэтому целью данного исследования явилась практическая оценка влияния введения наноразмерных модификаторов в реакционную среду при синтезе терсополимеров акрилонитрила (АН), метилакрилата (МА) и итаконовой кислоты (ИтК) на свойства получаемых на их основе прядильных растворов в диметилформамиде (ДМФ), а также пригодности таких растворов к формованию волокнистых материалов по мокрому методу.

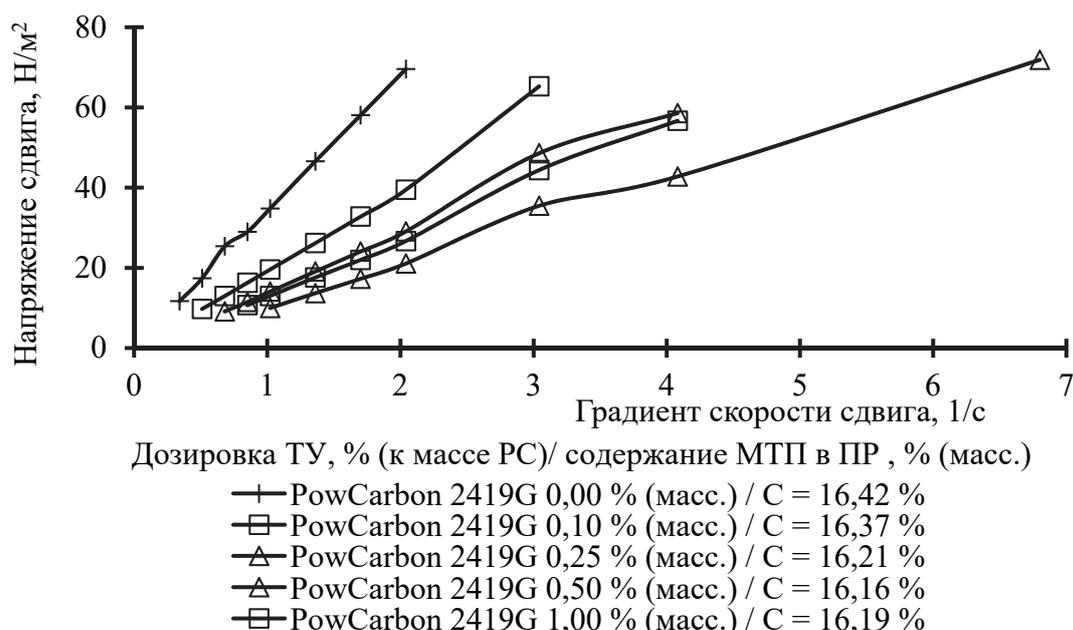
Для этого проведены работы по получению поли[АН–со–МА–со–ИтК] в условиях дозирования в исходную реакционную среду (РС) наноразмерных частиц технического углерода (ТУ) марок PowCarbon 2419G или PowCarbon 5317F в количестве 0,10; 0,25, 0,50 и 1,00 % (от массы РС), как было представлено ранее [1]. В результате были получены образцы модифицированных терсополимеров (МТП) содержащие, в соответствии с расчетами, около 0, 0,72, 1,81, 3,63, 7,24 % (от массы РС) ТУ. Далее синтезированные образцы МТП были использованы для приготовления диметилформаamidных прядильных растворов (ПР), содержащих  $16,4 \pm 0,3$  % (от массы РС) МТП.

Реологическое поведение данных прядильных растворов оценивали с помощью вискозиметра BrookfieldDV Pro. Реограммы, характеризующие зависимость напряжения сдвига от градиента скорости сдвига для прядильных растворов, приготовленных на основе МТП АН, модифицированных на стадии синтеза наноразмерными частицами ТУ марок PowCarbon 5317F и PowCarbon 2419G, представлены на рисунках 1 и 2, соответственно. Установлено, что диметилформаидные прядильные растворы на основе МТП, содержащих в своей структуре ТУ любой из представленных марок, по реологическому поведению в изученном диапазоне градиентов скорости сдвига можно рассматривать как ньютоновские жидкости.



**Рисунок 1 – Зависимость напряжения сдвига от градиента скорости сдвига диметилформаидного ПР МТП, синтезированного в присутствии ТУ марки PowCarbon 5317F**

Введение стадии синтеза в реакционную среду 0,1 % (от массы РС) ТУ марок PowCarbon 5317F или PowCarbon 2419G снижает вязкость диметилформаидных ПР примерно в два раза. Так, значение динамической вязкости ПР на основе МТП при градиенте скорости сдвига, равном  $1,7 \text{ с}^{-1}$ , для ПР на основе терсополимера, не содержащего ТУ, составляет около  $35 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , а на основе МТП, синтезированных в присутствии ТУ в количестве от 0,1 до 1,0 % (от массы РС), находится в диапазоне около  $10 \div 20 \text{ Па}\cdot\text{с}$ . При этом однозначных выводов о влиянии содержания наноразмерных частиц ТУ в РС от 0,1 до 1,0 % (от массы РС) на динамическую вязкость ПР сделать нельзя.



**Рисунок 2 – Зависимость напряжения сдвига от градиента скорости сдвига диметилформамидного ПР МТП, синтезированного в присутствии ТУ марки PowCarbon 2419G**

Оценка пригодности ПР на основе МТП к формированию волокнистых материалов по мокрому методу проводили с использованием стендовой лабораторной установки. Основные параметры реализации данного процесса приведены в таблице 1.

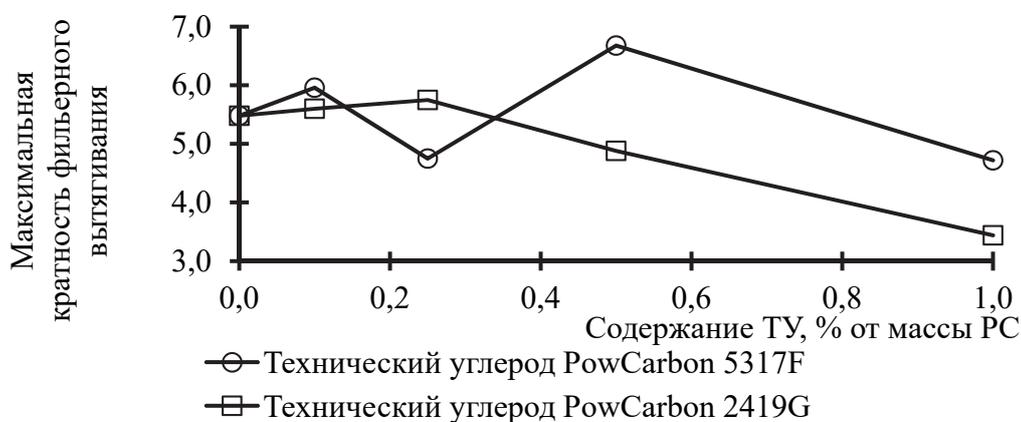
**Таблица 1 – Параметры формирования волокон на основе МТП**

Параметр, единица измерения	Значение
Концентрация прядильного раствора, %	16,4
Концентрация ДМФ в осадительной ванне, %	55,0
Температура, °С: – осадительной ванны	10,0
– пластификационной ванны	95,5
Фильтрная вытяжка, %	-61,0
Пластификационная ванна	вода
Кратность пластификационного вытягивания	5,0

Одним из основных показателей устойчивости процесса формирования волокна из прядильного раствора является оценка величины фильерного вытягивания, характеризующего прядомость (рисунок 3). Можно отметить, что тенденция к снижению прядомости ПР на основе МТП наблюдается только при содержании ТУ более 0,5 % (от массы РС).

Исследование морфологии и свойств полученных волокон, в целом, не выявило принципиального влияния введения ТУ в количестве до 1,0 %

(от массы РС) при синтезе МТП на морфологию модифицированных ПАН волокон, а также на максимальную кратность их пластификационного вытягивания.



**Рисунок 3 – Влияние содержания ТУ на максимальную кратность фильерного вытягивания гель-волокна на основе МТП**

Также, в результате выполнения работы, отмечены тенденции:

– к росту усадки волокон, высушенных при 20 °С, с 16 до 22 %, и волокон, высушенных при температуре 145 °С в условиях заданной усадкой 25 %, с 3,3 до 4,5 % при введении ТУ в количестве до 0,5 % (к массе РС) при синтезе МТП;

– к снижению максимальной кратности вытягивания при 160 °С волокон, высушенных при 20 °С, и к увеличению максимальной кратности вытягивания при 160 °С волокон, высушенных при 145 °С в условиях заданной усадкой 25 %, по мере увеличения содержания ТУ в количестве от 0 до 1,0 % (от массы РС) при синтезе МТП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Щербина, Л.А. Синтез волокнообразующих терсополимеров акрилонитрила в присутствии наноразмерных модификаторов / Л.А. Щербина, Ю.М. Курневич, В.В. Шабловская, Я.Ю. Руденок // В сб.: Нефтехимия-2021. Материалы IV Междунар. научно-технич. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке. – Минск, 2021. – С. 75-78.

2. Щербина, Л.А. Исследование синтеза волокнообразующего сополимера акрилонитрила в присутствии наночастиц оксида кремния / Л.А. Щербина, Я.Ю. Руденок, В.В. Шабловская, И.А. Будкуте // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Сер. 1: Естественные и технические науки. – 2022. – № 2. – С. 98-103.

**Шабловская В.В., Щербина Л.А., Будкуте И.А.**

(Белорусский государственный университет пищевых  
и химических технологий)

**Устинов К.Ю., Бондаренко В.А.**

(Завод «Полимир» ОАО «Нафтан»)

## **ГОМОФАЗНЫЙ СИНТЕЗ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩИХ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛОНИТРИЛА В ПРИСУТСТВИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ МОДИФИКАТОРОВ**

Несмотря на значительное количество спекуляций вокруг приставки «нано», в целом, не возникает сомнения относительно целесообразности применения наноматериалов и нанотехнологий. Другое дело, как и в какой мере на них следует полагаться, как их грамотно применять и чего от них стоит ожидать. При этом одной из существенных проблем в работе с наноразмерными частицами является их склонность самоагрегации. Если данная проблема хоть как-то решается при введении наночастиц в низковязкие системы, например, путем диспергирования с помощью ультразвука, то в случае высоковязких полимерных матриц дело обстоит сложнее. Для решения данной проблемы может быть использован технологический прием, заключающийся в том, что наноразмерные частицы диспергируют в реакционной смеси (РС), представляющей собой маловязкую среду, состоящую из низкомолекулярных веществ (мономеров, растворителя, инициатора). В результате проведения полимеризации мономеров в реакционной среде накапливается полимер, в вязком растворе которого удерживаются от агломерации диспергированные наноразмерные частицы.

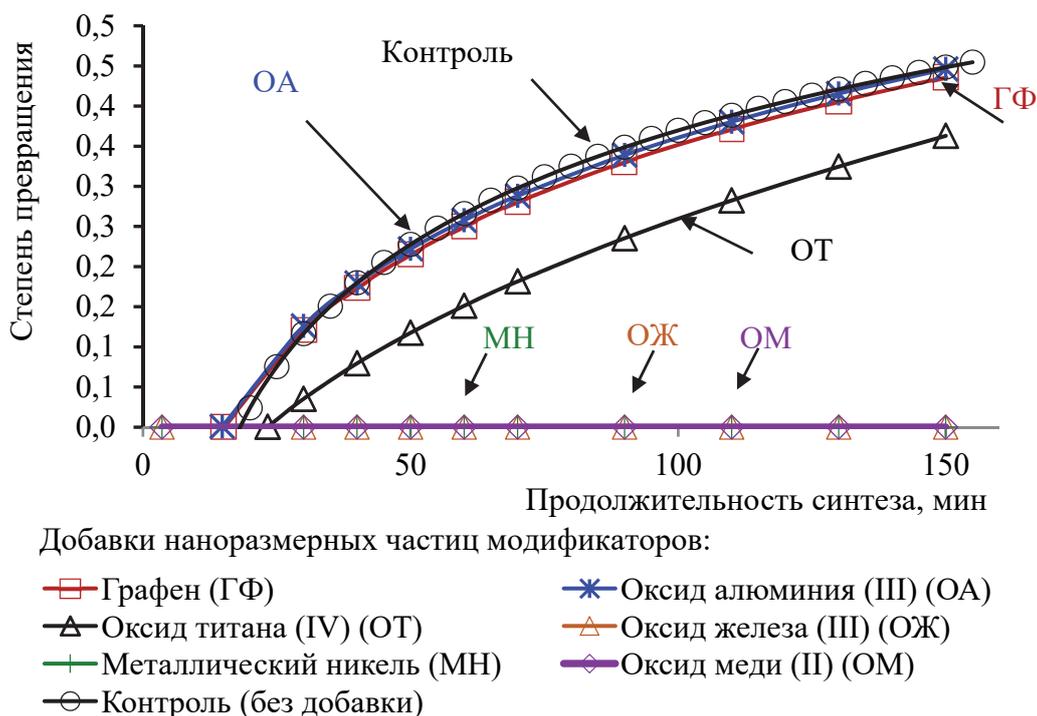
В частности, данный метод нами был апробирован при введении наноразмерных частиц оксида алюминия (III) (ОА), оксида титана (IV) (ОТ), оксида железа (III) (ОЖ), металлического никеля (МН), оксида меди (II) (ОМ) и графена (ГФ) в количестве 0,25 % (от массы исходной РС) при синтезе волокнообразующего терсополимера (ВТП) акрилонитрила (АН), метилакрилата (МА) и итаконовой кислоты (ИтК). Ожидалось, что введение данных модификаторов в структуру синтезируемого ВТП позволит придать волокну на его основе специальные свойства.

При этом целью рассматриваемого этапа работы являлась оценка влияния данных модельных наноразмерных модификаторов на динамику синтеза волокнообразующего поли[АН(92,5)–со–МА(6)–со–ИтК(1,5)] в 51,5 % (масс.) водном растворе роданида натрия (ВРРН).

Для этого при сополимеризации АН (127,65 г), МА (8,28 г) и ИтК (2,07 г) при температуре 80 °С физически моделировали режим работы

промышленного реактора идеального смешения. В качестве инициатора процесса свободно-радикального синтеза использовали динитрил азодиизомаляной кислоты (ДАК) (0,37 г), а в качестве регуляторов – диоксид тиомочевины (ДОТ) (0,6 г) и изопропиловый спирт (ИПС) (5,4 г). Перед введением наномодификатор (в количестве 1,5 г) смачивали ИПС и под воздействием ультразвука диспергировали в ВВРН. Затем туда же, при непрерывном перемешивании, вводили остальные компоненты РС. При этом масса растворителя составляла 455,62 г, общая масса РС – 600,0 г (без модификатора). Кислотность РС доводили до  $5,0 \pm 0,1$  разбавленным раствором HCl.

В ходе синтеза проводили отбор проб, на основании анализа которых оценивали зависимость степени превращения мономеров от времени пребывания реакционной смеси в реакторе (рисунок 1). Эти экспериментальные данные при коэффициенте детерминации не менее 0,95 аппроксимировали зависимостью  $x = b_0 + b_1 \cdot \tau^\alpha$ , где:  $x$  – общая степень превращения сомономеров в сополимер;  $\tau$  – продолжительность процесса, мин;  $b_0$ ,  $b_1$  и  $\alpha$  – коэффициенты эмпирической зависимости (модели).

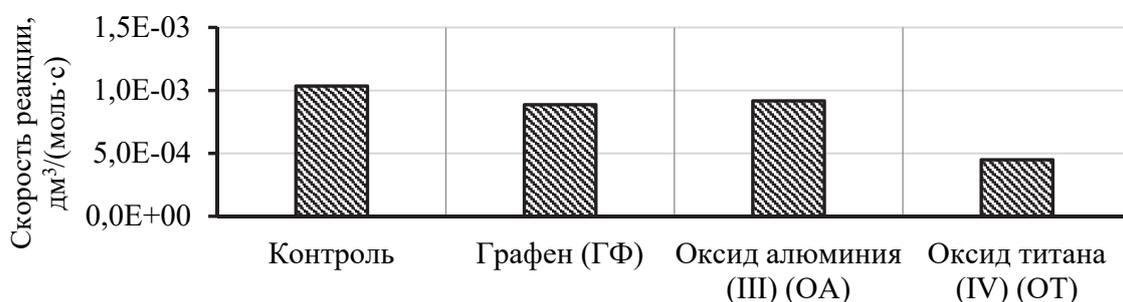


**Рисунок 1 – Динамика синтеза ВТП в ВВРН в присутствии наномодификаторов в количестве 0,25 % (от массы РС)**

На основе результатов изучения динамики синтеза ВТП (рисунок 1), можно отметить, что введение в РС 0,25 % (от массы РС) наноразмерных

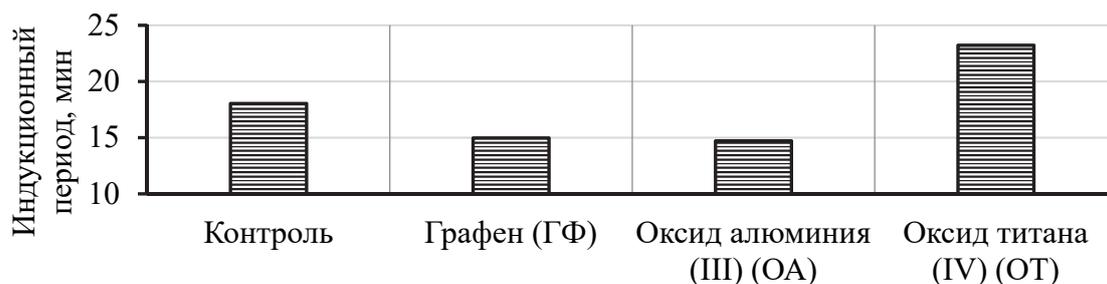
частиц ГФ и ОА (III) практически не оказывает влияния на динамику сополимеризации АН, МА и ИтК в ВРРН. Присутствие в РС ОТ(IV) в количестве 0,25 % (от массы РС) экстенсифицирует динамику синтеза ВТП и удлиняет индукционный период данного процесса. Введение в РС наноразмерных частиц ОЖ (III), МН и ОМ (II) приводит к подавлению процесса образования ВТП в такой степени, что отлить пленки из реакционной массы для оценки степени превращения мономеров не удалось. Таким образом, использование наноразмерных частиц ОЖ (III), МН и ОМ (II) для модификации волокнистых материалов на стадии свободно-радикального синтеза в ВРРН их полимерной основы, видимо, следует исключить из дальнейшего рассмотрения.

Данные по количественной оценке кинетики брутто-процесса образования ВТП в ВРРН в присутствии наноразмерных частиц рассматриваемых модификаторов свидетельствуют о том, что введение в РС в количестве 0,25 % (от массы РС) ГФ, ОА(III), а также ОТ (IV) приводит к снижению скорости реакции (рисунок 2), Это особенно характерно для случая использования в качестве наноразмерного модификатора ОТ (IV). При этом порядок реакции синтеза поли[АН(92,5)–со–МА(6)–со–ИтК(1,5)] в ВРРН при температуре 80 °С во всех случаях находился в диапазоне от 3,2 до 3,8, что, в принципе, характерно для подобного рода процессов.

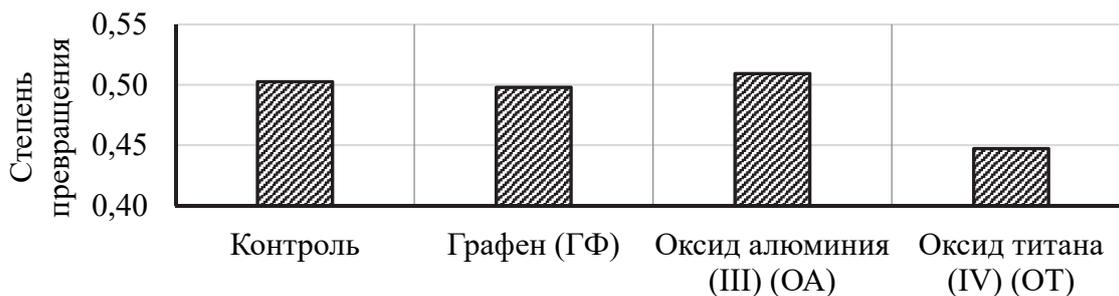


**Рисунок 2 – Скорость реакции синтеза ВТП в ВРРН в присутствии 0,25 % (от массы РС) наноразмерных модификаторов**

Также можно отметить, что введение наноразмерных частиц ГФ и ОА (III) приводит к сокращению индукционного периода с 18 до 15 минут. При этом, в случае введения ОТ (IV) в РС индукционный период синтеза ВТП в ВРРН при температуре 80 °С удлиняется с 18 до 23 минут (рисунок 3). Вместе с тем, присутствие наноразмерных частиц ГФ и ОА (III) в количестве 0,25 % (от массы РС) при синтезе ВТП практически не влияет на степень превращения мономеров (рисунок 4). При наличии в РС ОТ (IV) в том же количестве степень превращения мономеров снижает с 0,50 до 0,45.

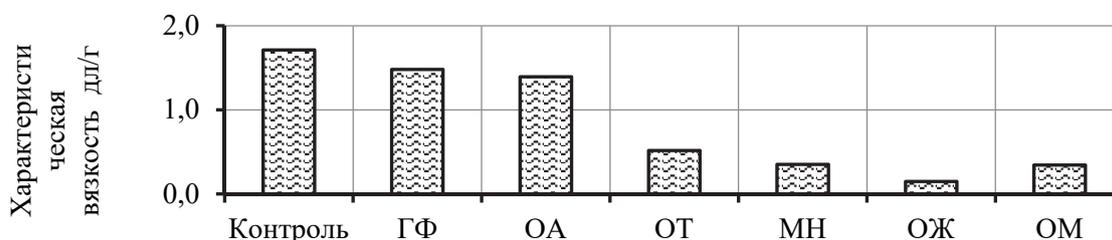


**Рисунок 3 – Индукционный период синтеза ВТП в ВРРН в присутствии 0,25 % (от массы РС) наноразмерных модификаторов**



**Рисунок 4 – Степень превращения синтеза ВТП в ВРРН в присутствии 0,25 % (от массы РС) наноразмерных модификаторов**

Важно отметить, что присутствие в РС наноразмерных частиц рассмотренных модификаторов приводит к снижению характеристической вязкости ВТП (рисунок 5), что должно негативно отразиться на способности модифицированных ВТП к волокнообразованию.



**Рисунок 5 – Влияние природы наноразмерных частиц на характеристическую вязкость ВТП, синтезированных в ВРРН**

Таким образом, результаты, представленные в данной работе, не позволяют (без экспериментальной апробации): ожидать волокнообразующих свойств у полученных модифицированных ВТП; рекомендовать использование наноразмерных частиц графена, оксида алюминия (III) и, тем более, оксида титана (IV), оксида железа (III), металлического никеля и оксида меди (II) для модификации ВТП на стадии свободно-радикального синтеза в ВРРН путем их введения в исходную РС с целью последующего формирования основе модифицированных ВТП волокнистых материалов специального назначения.

**Гапанькова Е.И., Латышевич И.А.**  
(ГНУ «Институт физико-органической НАН Беларуси»)

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ХРАНЕНИЯ НА СВОЙСТВА ПРЕПРЕГОВ

Работа посвящена установлению технологичности («живучесть») опытных препрегов и возможность их использования при склеивании пластиковых лыж. Для создания препрегов использована лабораторная пропиточная машина, включающая узлы размотки рулонов с армирующим наполнителем и защитной плёнкой, пропитки связующим (обогреваемая ванна), сушильную камеру, намотки готового продукта в рулоны с контролируемым натяжением. В качестве связующих применялись разработанные эпоксидные композиции, описанные ранее [1]. Для проведения исследований препреги нарабатывали партиями. Описание наработанных лабораторных опытных образцов препрегов представлено в таблице 1.

**Таблица 1 – Описание препрегов**

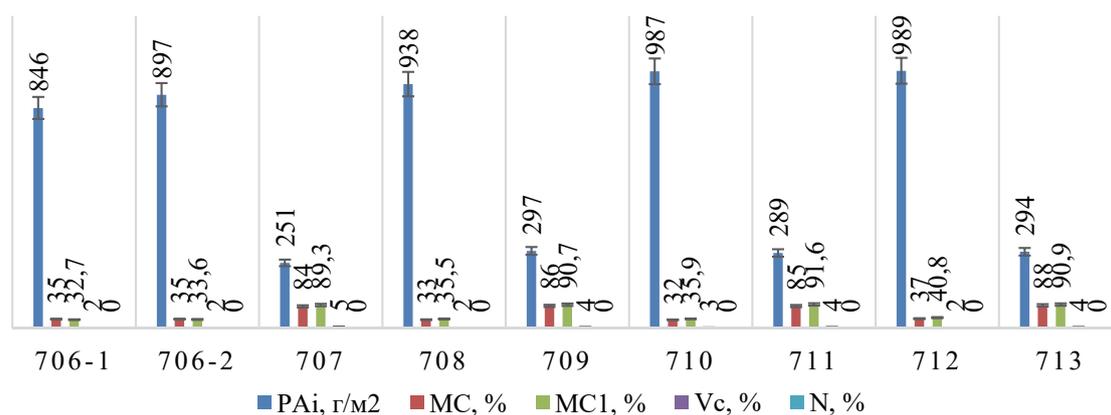
Образец	Армирующий материал	Дата изготовления
препрег <b>706-1</b>	лента на основе однонаправленных директрорвингов марки ЕС16 1200 52С (22 шт) маркировки 4,1 полиэф.нити/см	1-ый комплект рулонов от 02.03.2022
препрег <b>706-2</b>	лента на основе однонаправленных директрорвингов марки ЕС16 1200 52С (23 шт)	
препрег-флис <b>707</b>	строительный стеклохолст (40 г/м <sup>2</sup> )	2-ой комплект рулонов от 04.03.2022
препрег <b>708</b>	лента на основе однонаправленных директрорвингов марки ЕС16 1200 52С (22 шт) маркировки 10 полиэф.нитей/см	
препрег-флис <b>709</b>	строительный стеклохолст (40 г/м <sup>2</sup> )	3-ий комплект рулонов от 10.03.2022
препрег <b>710</b>	лента на основе однонаправленных директрорвингов марки ЕС16 1200 52С (22 шт) маркировки 10 полиэф.нитей/см	
препрег-флис <b>711</b>	строительный стеклохолст (40 г/м <sup>2</sup> )	4-ый комплект рулонов от 11.03.2022
препрег <b>712</b>	лента на основе однонаправленных директрорвингов марки ЕС16 1200 52С (22 шт) маркировки 4,1 полиэф.нитей/см	
препрег-флис <b>713</b>	строительный стеклохолст (40 г/м <sup>2</sup> )	

Хранение препрегов организовано в морозильной камере аналогично полимерным композиционным материалам, применяемым на производственном участке при склейке лыж на филиале «Телеханы»

ГП «Беларусьторг». В работе произведена оценка влияния срока хранения препрегов на возможность их применения без снижения перерабатывающей способности. Экспериментально технологичность препрегов с различным сроком хранения проверена путем их применения при склейке опытных лыж. Для подтверждения технологичности препрегов выбраны лишь некоторые значащие параметры. В качестве методик для определения технологических свойств препрегов выбраны: изучение изменения массы единицы площади ( $PA_i$ ) по [2]; контроль изменения содержания связующего ( $MC$ ,  $MC_1$ ) по [3]; изучение изменения содержания летучих продуктов ( $V_c$ ) по [4]; изучение изменения степени полимеризации ( $N$ ) по СТБ 1103-98 [5].

Показатели качества препрегов определены непосредственно перед закладкой на хранение и в течение всего установленного срока хранения непосредственно перед склейкой пластиковых лыж.

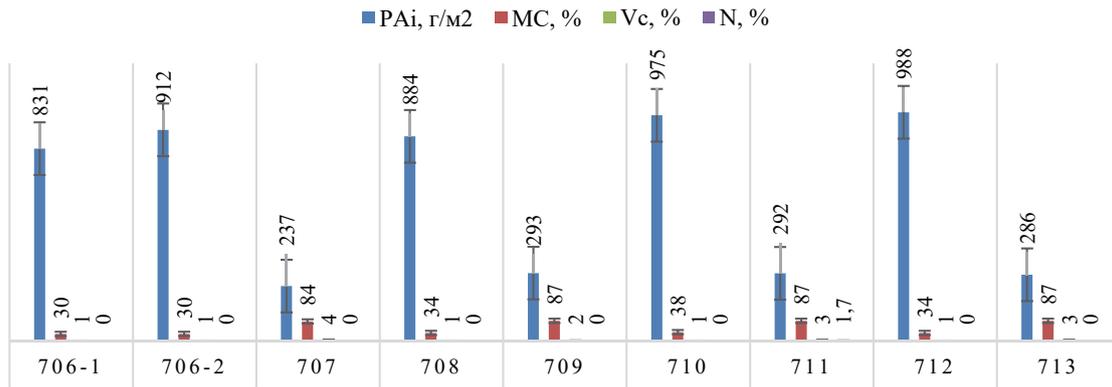
На рисунке 1 представлена гистограмма с группировкой всех определяемых параметров для каждого наработанного опытного образца препрега.



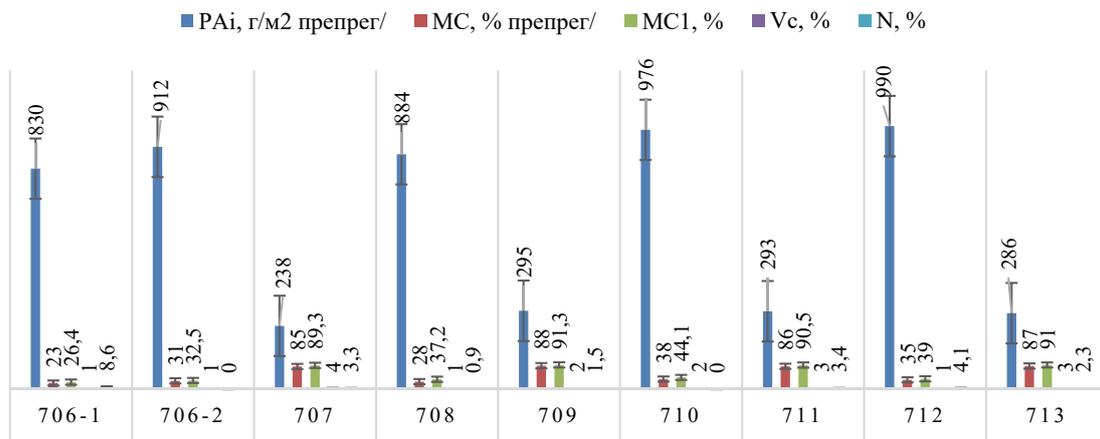
**Рисунок 1 – Результат лабораторных испытаний препрегов перед закладкой на хранение**

Степень полимеризации всех изготовленных образцов препрегов принята равной нулю для проведения дальнейших расчетов данного показателя в процессе хранения и установления факта «живучести». Результаты испытаний за весь период хранения представлены на рисунке 2.

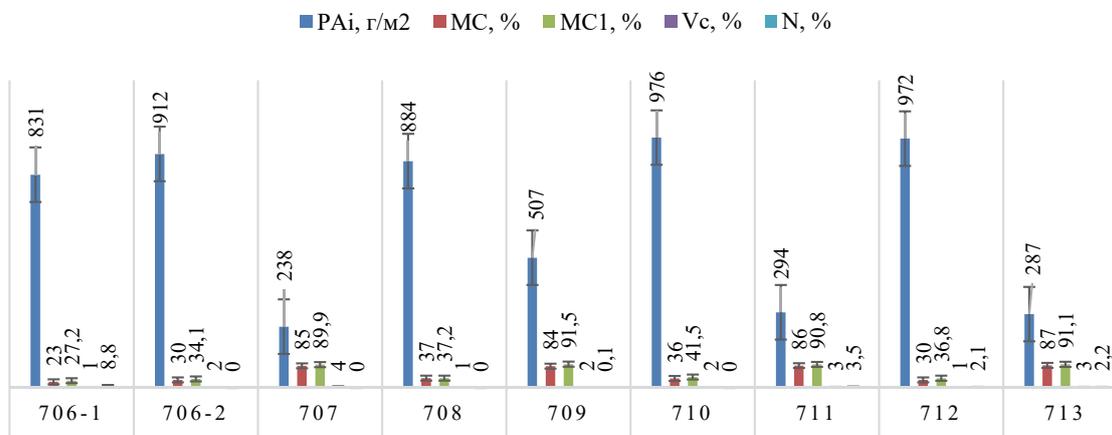
Используемые методики и проведенные исследования позволили установить изменения технологических свойств препрега в процессе хранения и заключить, что технологичность в течение трех месяцев снижается незначительно при соблюдении условий хранения, что не сказывается на дальнейшем его применении.



a



b



c

**Рисунок 2 – Результат лабораторных испытаний препрегов в процессе хранения:** a – хранение в течение 40 дней; b – хранение в течение 65 дней; c – хранение в течение 90 дней

Работа выполнена в рамках проводимых совместных мероприятий НАН Беларуси, концерна «Белнефтехим» и ГП «Беларусьторг» по проведению контрольных испытаний препрегов, разработанных ИФОХ НАН Беларуси.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Полимерный композиционный материал на основе терпеноидного сырья для производства пластиковых лыж / И.А. Латышевич, Е.И. Гапанькова, А.В. Полховский, А.В. Бильдюкевич, С.В. Шетько, С.А. Прохорчик, А.Ю. Ключев, Н.Г. Козлов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2020. – Вып. 233. – С. 208–220.
2. Композиты полимерные. Определение массы на единицу площади препрегов : ГОСТ 34649-2014. – Введ. 01.09.2015. – М.: Стандартинформ, 2014. – 11 с.
3. Композиты полимерные. Препреги. Метод определения содержания исходных компонентов в препреге : ГОСТ Р 56796-2015. – Введ. 01.01.2017. – М.: Стандартинформ, 2016. – 16 с.
4. Композиты полимерные. Препреги. Метод определения содержания летучих веществ в препреге : ГОСТ Р 56789-2015. – Введ. 01.01.2017. – М.: Стандартинформ, 2016. – 16 с.
5. Арматура стеклопластиковая. Технические условия: СТБ 1103-98. – Введ. 01.10.1998. – Минск : Издательство стандартов, 1998. – 36 с.

УДК 678.5.002.8

**Хаппи Вако Б. Ж., Шрубок А.О.**

(Белорусский государственный технологический университет)

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПЭТ-ОТХОДОВ В ПОЛИМЕРНЫЕ ПОРОШКИ**

Полиэтилентерефталат (ПЭТ) является одним из широко используемых полимеров в производстве полимерных волокон, тары, пищевой упаковки, изделий технического назначения. Мировой объем производства ПЭТ в 2000 г. составил около 0,7 млн. т, а в 2021 г. – около 20 млн. т [1]. Вместе с ростом потребления ПЭТ возрастает и объем образующихся и накапливаемых отходов. ПЭТ-отходы представляют собой небиоразлагаемые углеводородные материалы, накопление которых приводит к значительному загрязнению окружающей среды. В связи с этим, анализ и разработка новых способов переработки ПЭТ-отходов являются актуальными задачами и направлены на сокращение расходов на производство первичного ПЭТ, защиту окружающей среды и решение проблемы утилизации отходов.

Наиболее распространен механический способ переработки ПЭТ-отходов с получением ПЭТ-хлопьев. Вторичный ПЭТ применяют как

сырье для получения волокон, нетканого полотна, изделий технического назначения, компонентов строительных материалов. Присутствие загрязнителей, влаги и продуктов деструкции в ПЭТ-хлопьях ограничивает сферы их применения.

Перспективным направлением использования ПЭТ-отходов представляется переработка их в порошки. ПЭТ-порошки могут использоваться при получении коррозионностойких, антифрикционных полимерных покрытий, композиционных материалов [2–3]. Традиционным методом получения полимерных порошков из ПЭТ является механическое измельчение предварительно охлажденных в жидком азоте ПЭТ-гранул. Такой способ характеризуется большим расходом жидкого азота и высокими удельными энергозатратами на измельчение. Одним из альтернативных методов получения ПЭТ-порошков является сольвентный способ, который заключается в растворении полимера в подходящем растворителе с последующим осаждением его из раствора. К преимуществам данного метода относится возможность получения полимерного порошка высокой степени чистоты, дисперсности и удельной поверхности.

Был разработан сольвентный способ переработки ПЭТ-отходов, включающий в себя следующие стадии: приготовление раствора ПЭТ в малотоксичном органическом растворителе, очистка от механических примесей, осаждение ПЭТ из раствора, осушка осадка, механическое измельчение полученного осадка до мелкодисперсного состояния (порошка).

В данной работе объектами исследования являлись полимерные ПЭТ-порошки, полученные из отходов ПЭТ-бутылок и полиэфирных волокон. Структурные особенности ПЭТ-порошков были исследованы с помощью методов термогравиметрии (TGA/DSC-1/1600 HF MettlerToledo) и ИК-спектроскопии (Фурье спектрометр Инфраспект ФСМ 1202). Изучение распределения размеров частиц ПЭТ-порошков проводили на лазерном анализаторе Analizette 22 MicroTec Fritsch и с помощью оптической микроскопии (Микромед 3 ЛЮМ).

Установлено, что увеличение соотношения растворитель: ПЭТ при получении полимерных порошков от 10 : 1 до 30 : 1 приводит к возрастанию степени кристалличности от  $12,8 \pm 0,5$  до  $56,0 \pm 0,5\%$ . Это обусловлено образованием сферолитов и их превращением в кристаллиты при взаимодействии органического растворителя с ПЭТ. При этом тип использованных ПЭТ-отходов (волокна или бутылки) при получении полимерных порошков мало влияет на соотношение кристаллической и аморфной фазы в них.

Исследование распределения размеров частиц ПЭТ-порошков (рисунок 1) показало, что дисперсность и гранулометрический состав порошков зависит от эффективности последней стадии процесса (механического измельчения) и структурных особенностей порошков.

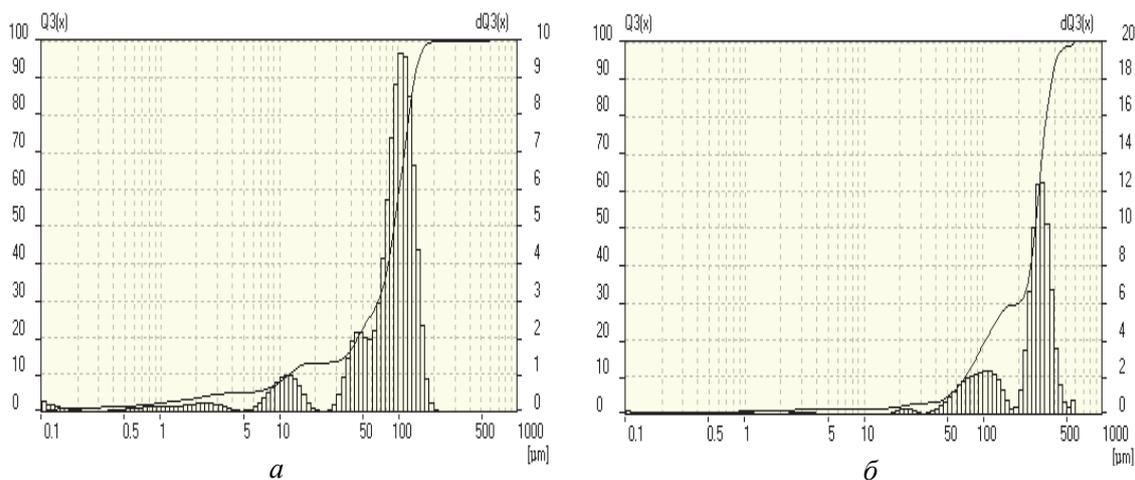


Рисунок 1 – Распределение размеров частиц ПЭТ-порошков

Проведение дополнительной стадии механического измельчения осажденного ПЭТ позволяет получать мелкодисперсные порошки. Например, в порошках ПЭТ, полученных из отходов волокон, до 65% частиц имеют размер до 100 мкм и 35% размер от 100 до 200 мкм (рисунок *а*). В случае если после осушки осажденного порошка ПЭТ не осуществлять его механическое измельчение до мелкодисперсного состояния, размер частиц получаемых порошков составит до 500 мкм (рисунок *б*). Размер получаемых порошков предопределяет сферы его применения. В работе [4] показано, что мелкие фракции (менее 100 мкм) полимерных порошков могут использоваться для нанесения покрытий трибозарядным методом, а грубые фракции – при получении композиционных материалов методом экструзии и формования.

Таким образом, в работе показана возможность переработки отходов ПЭТ в полимерные порошки. Структурные свойства и гранулометрический состав ПЭТ-порошков зависят от условий их получения (соотношение растворитель : ПЭТ; тип отхода; эффективность измельчения). ПЭТ-порошки, полученные сольвентным способом, являются перспективным сырьем для получения полимерных покрытий, композиционных материалов или замены первичного ПЭТ в производстве волокон, тары и т.п.

Работа выполнена в рамках государственного задания 6.6 «Разработка научно обоснованных технологических приемов регулирования структурно-механических свойств и стабильности битумных вяжущих

для дорожного и коммунального строительства» ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма 8.6 «Строительные материалы, конструкции, технологии» (2021–2025 гг.).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. An analysis of European plastics production, demand and waste data // Plastics Europe (the Association of Plastics Manufacturers in Europe) and EPRO (the European Association of Plastics Recycling and Recovery Organizations). URL: <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/Plastics-theFacts-2021-web-final.pdf> (date of access: 06.09.2022).

2. Properties of post-consumer polyethylene terephthalate coating mechanically deposited on mild steels / E. Silva [et al.] // Coatings. – 2019. – N 9(1). – PP.1–11.

3. Production and characterization of thermally sprayed polyethylene terephthalate coatings / L.T. Duarte [et al.] // Surface Coatings Technology. – 2004. – N182 (2–3). – PP. 261–267.

4. Иноземцева, Е. В. Низкоплавкие термопластичные полиэфир в процессах порошковой технологии / Е. В. Иноземцева, О. Р. Юркевич // Пластические массы. – 2012. – № 4. – С.53–57.

УДК 541.15

**Рагожкин Н.С., Валько Н.Г.**

(ГрГУ им. Янки Купалы)

**Касперович А.В., Боброва В.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

### **ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И ПЛОТНОСТЬ РЕЗИН**

В настоящее время одно из самых перспективных научно-практических направлений в физике полимеров является модификация эластомеров ионизирующим излучением с целью разработки режимов управления их эксплуатационными свойствами. В работах [1-2] установлено, что действие ионизирующим излучением приводит к существенному изменению их свойств. Так, в частности, увеличивается условная прочность и степень кристалличности эластомеров после облучения их рентгеновским излучением (33 кР/ч), что связано с увеличением числа межмолекулярных связей.

В данной работе представлены результаты исследования рентгеновского излучения с мощностью экспозиционной дозы 50 кР/ч на степень

кристалличности и плотность вулканизатов на основе бутадиен-нитрильного каучука, полученных при различных степенях вулканизации [1].

Степень кристалличности определялась методом рентгеновского структурного анализа с помощью дифрактометра ДРОН-3М.

В таблице 1 представлены данные исследования влияния рентгеновского излучения и степени вулканизации на структуру и свойства вулканизатов.

**Таблица 1 – Характеристики вулканизатов, облученных рентгеновским излучением с различной мощностью экспозиционной дозы и степенью вулканизации**

Характеристики	Мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения, кР/ч					
	0			50		
	Степень вулканизации					
	t <sub>70</sub>	t <sub>80</sub>	t <sub>90</sub>	t <sub>70</sub>	t <sub>80</sub>	t <sub>90</sub>
Степень кристалличности, %	60,69	58,26	45,51	44,9	54,1	35,4
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,263	1,261	1,258	1,218	1,235	1,251

Обнаружено, что плотность вулканизатов на основе бутадиен-нитрильного каучука уменьшается с увеличением степени вулканизации. Так, в частности, плотность резин при степени вулканизации t<sub>70</sub> равна 1,263 г/см<sup>3</sup>, а при t<sub>90</sub> – 1,258 г/см<sup>3</sup>. При облучении рентгеновским излучением с мощностью экспозиционной дозы 50 кР/ч и при увеличении степени вулканизации степень кристалличности эластомеров на основе бутадиен-нитрильного каучука уменьшается.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Касперович, А.В. Модификация вулканизатов на основе каучуков специального назначения с использованием ионизирующих излучений / А.В. Касперович, В.Н. Фарафонов, А.В. Шевчик, В.В. Боброва, О.Г. Барашко, Н.Г. Валько, Я. Крмела // Нефтехимия – 2020: материалы III Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 30 ноября, 2020 г. / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол.: И.В. Войтов [и др.]. – Минск, 2020. – С. 159-161.

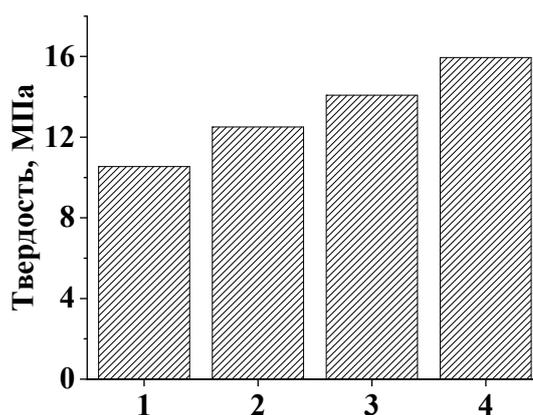
2. Валько, Н.Г. Исследование влияния рентгеновского излучения на степень кристалличности эластомеров / Н.Г. Валько, Д.Д. Ван Дер Вел, В.А. Книга, А.В. Касперович // Нефтехимия – 2020: материалы III Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 30 ноября, 2020 г. / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол.: И.В. Войтов [и др.]. – Минск, 2020. – С. 162-164.

**ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА АКРИЛОВЫХ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Акриловые защитно-декоративные покрытия широко используют в различных отраслях промышленности. С момента их появления на лакокрасочном рынке состав и технологии синтеза акриловых лакокрасочных материалов постоянно совершенствуются в соответствии с современными требованиями [1].

В работе представлены результаты исследования влияния рентгеновского излучения на твердость и адгезию акриловых защитно декоративных покрытий. Объектами исследования служили покрытия, полученные из промышленно выпускаемой полуматовой защитно-декоративной акриловой краски Condor. Краска наносилась на обезжиренные подложки из стали 08 кп. Покрытия отверждались при воздействии рентгеновского излучения. Источником излучения служила рентгеновская установка, генерирующая излучение с длиной волны 0,07 нм. Твердость покрытий измерялась по Кнупу на цифровом твердомере KASON 59 согласно ГОСТ 22826 [2]. Адгезия покрытий измерялась по ГОСТ 31149 [3].

На рисунке 1 представлена диаграмма, отражающая твердость акриловых защитно-декоративных покрытий, полученных при различных мощностях экспозиционной дозы рентгеновского излучения.



**Рисунок 1 – Зависимость твердости акриловых защитно-декоративных покрытий от мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения:  
1 – к.о.; 2 – 8,3 кР/ч; 3 – 16,6 кР/ч; 4 – 33,3 кР/ч**

Видно, что твердость акриловых покрытий возрастает с увеличением мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения. Так, в частности, твердость контрольного (необлученного) образца равна 10,54 МПа, а твердость облученного рентгеновским излучением с мощностью экспозиционной дозы 33,3 кР/ч, равна 15,95 МПа.

В таблице 1 представлены данные исследования влияния рентгеновского излучения на адгезию акриловых защитно-декоративных покрытий.

**Таблица 1 – Адгезия акриловых защитно-декоративных лакокрасочных покрытий отвержденных при воздействии рентгеновского излучения**

Адгезия	Мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения, кР/ч			
		0	8,3	16,6
	4	4	3	3

Из таблицы 1 видно, что адгезия акриловых защитно-декоративных покрытий при облучении рентгеновским излучением с мощностью экспозиционной дозы рентгеновского излучения 8,3 кР/ч не изменяется. При увеличении мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения, адгезия улучшается до значения 3.

Таким образом, обнаружено, что отверждение полуматовой защитно-декоративной акриловой краски Condor при воздействии рентгеновским излучением приводит к формированию покрытия с увеличенной твердостью и улучшенной адгезией.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Валько, Н.Г. Исследование влияния ультрафиолетового излучения на эксплуатационные свойства алкидных лакокрасочных покрытий марки ПФ-115 / Н. Г. Валько, Д. И. Богдевич // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия Химия. География. Экология. – 2022. – Т. 137, № 4. – С. 22-30.

2. ГОСТ 22826–2012 Испытания разрушающие сварных швов в материалах с металлическими свойствами. Испытание на прочность узких сварных соединений, полученных лазерной сваркой и электронно-лучевой сваркой (Определение твердости по Виккерсу и Кнупу). – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

3. ГОСТ 31149-2014. Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза (с Поправкой). – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.

**Поспелов А.В., Касач А.А.,  
Куницкая В.И., Курило И.И., Цыганов А.Р.**  
(Белорусский государственный технологический университет)

## **ЗАЩИТНЫЕ БИОРЕЗОРБИРУЕМЫЕ ПОКРЫТИЯ НА СПЛАВЕ МАГНИЯ WE43 НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА**

В зависимости от назначения ортопедические имплантаты можно разделить на следующие группы: эндопротезы суставов, пластины и винты для фиксации костей, диски для позвоночника, зубные имплантаты. В каждой из этих групп можно выделить две основные категории: имплантаты, которые должны оставаться в теле для обеспечения правильной функциональности обработанной кости (искусственные запасные части), и имплантаты для временной фиксации кости, которые обеспечивают ее механическую поддержку до момента регенерации.

В настоящее время имплантаты, предназначенные для фиксации костей, обычно изготавливаются из нержавеющей стали и сплавов титана [1]. Эти материалы были оптимизированы для данного применения и могут обеспечивать механическую поддержку при нагрузке в течение всего времени заживления кости. Однако наряду с неоспоримыми преимуществами нержавеющей стали и титановые сплавы обладают определенными недостатками, к которым можно отнести часто возникающие инфекции и аллергические реакции организма на материал имплантата, некроз мягких тканей вокруг него [2]. Кроме того, после заживления кости эти имплантаты часто требуют удаления, что влечет за собой хирургические осложнения в связи с оперативным вмешательством, а также способствует увеличению затрат на медицинское обслуживание [3]. Избежать проблем, сопряженных с проведением повторных операций по извлечению имплантатов, можно используя биорезорбируемые материалы. Такими материалами являются биополимеры, например, полилактид (PLA) [4]. Однако, полимеры обладают низкими механическими свойствами, что ограничивает их применение в качестве несущих конструкций. С этой точки зрения, металлические системы являются более предпочтительными.

Перспективным вариантом для разработки биорезорбируемых металлических имплантационных материалов является магний и его сплавы, которые характеризуются хорошей переносимостью организмом и естественной склонностью к деградации в биологических средах.

Известно [5], что без дополнительной обработки магний и его сплавы в биологических средах подвергаются быстрой коррозии, которая

протекает с водородной деполяризацией и может приводить к нарушению механической целостности имплантата до того, как произойдет заживление кости. Композиционные покрытия, состоящие из неорганического и органического (биополимерного) слоев, могут обладать высоким защитным эффектом. Биополимер поддерживает рост клеток, обеспечивает биосовместимость, контролируруемую биодеградацию и защиту от коррозии. Неорганический слой улучшает механические свойства материала, биоактивность и остеоинтеграцию.

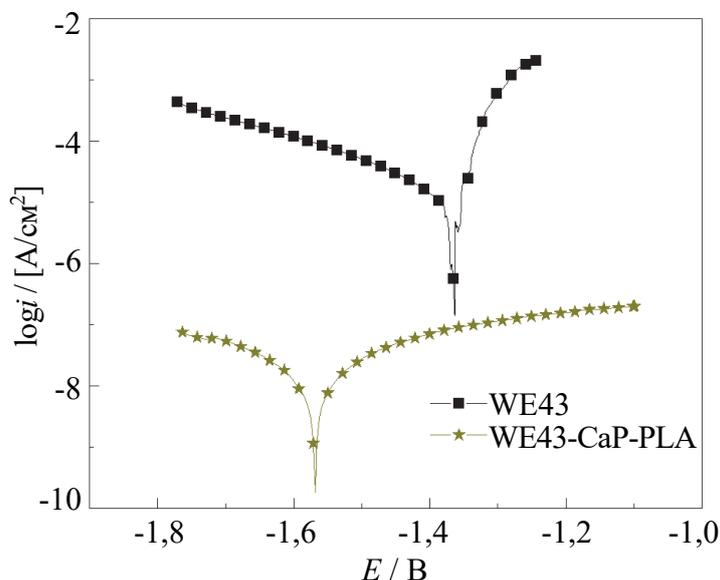
Целью данной работы было изучение антикоррозионных свойств композиционных покрытий (CaP-PLA) на легированном редкоземельными металлами сплаве магния WE43 в растворе Хэнка (pH 7.4).

Формирование конверсионных фосфатсодержащих покрытий на поверхности образцов сплава WE43 осуществляли в течение 60 мин в растворе следующего состава, моль/дм<sup>3</sup>: H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> – 0.2; Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> – 0.2; NaOH до pH 3. Температура раствора – 70±2°C. Формирование полимерных покрытий на поверхности образцов после фосфатирования проводили методом их окунания в 5% раствор полилактида в хлороформе. Скорость поднятия образцов из раствора PLA составляла 60 мм/мин. Сушку образцов проводили в течение 48 ч при температуре 20 ± 2°C.

Электрохимические исследования коррозии полученных образцов проводили на потенциостате/гальваностате Autolab PGNST 302N в трехэлектродной ячейке с нижним креплением рабочего электрода в растворе Хэнка (pH 7.4) следующего состава, г/дм<sup>3</sup>: NaCl – 8; KCl – 0.2; CaCl<sub>2</sub> – 0.14; MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O – 0.1; MgCl<sub>2</sub>·7H<sub>2</sub>O – 0.1; Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O – 0.06; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> – 0.06; NaHCO<sub>3</sub> – 0.35. Активная площадь рабочего электрода составляла 1 см<sup>2</sup>. В качестве электрода сравнения использовали насыщенный хлоридсеребряный электрод, а противоиэлектрода – платиновую проволоку. Поляризационные кривые снимали в диапазоне потенциалов от –200 мВ до +500 мВ относительно стационарного потенциала при линейной скорости развертки потенциала 0.001 В/с. Время установления стационарного потенциала – 30 мин. Температура коррозионной среды во всех опытах составляла 37±0.5°C. Измерение pH раствора Хэнка до и после коррозионных испытаний проводили с помощью автотитратора TitroLine easy.

На рисунке 1 представлены поляризационные кривые (ПК) исследуемых образцов в растворе Хэнка. По сравнению с исходным образцом сплава WE43 потенциал коррозии образца с композиционным покрытием CaP-PLA смещен в область более отрицательных значений на 0.20 В. Ход анодной ветви поляризационной зависимости образца WE43-CaP-PLA свидетельствует о смешанной кинетике анодного процесса. Монотонное возрастание плотности тока от  $\approx 10^{-8}$  до  $\approx 10^{-7}$  А/см<sup>2</sup>

при увеличении потенциала от  $-1.55$  до  $-1.11$  В объясняется равномерным формированием слоя продуктов коррозии, обеспечивающего высокую защитную способность композиционного покрытия.



**Рисунок 1 – Поляризационные кривые образцов сплава WE43 в растворе Хэнка**

В таблице представлены электрохимические параметры коррозии исследуемых образцов в растворе Хэнка. Плотность тока коррозии исходного образца сплава WE43 составляет  $1.7 \cdot 10^{-5}$  А/см<sup>2</sup>. Формирование на поверхности сплава двухслойного покрытия CaP-PLA позволяет снизить скорость коррозии магниевой подложки практически в 500 раз ( $i_{\text{корр}} = 3.4 \cdot 10^{-8}$  А/см<sup>2</sup>). Высокая защитная способность покрытия CaP-PLA, вероятно, обусловлена заполнением микротрещин полимером, что приводит к уплотнению фосфатного слоя и в дальнейшем препятствует непосредственному контакту коррозионной среды с магниевой матрицей.

**Таблица – Электрохимические параметры процесса коррозии образцов сплава WE43**

Образец	$a_k$ , В	$b_k$ , В	$a_a$ , В	$b_a$ , В	$E_{\text{корр}}$ , В	$i_{\text{корр}}$ , А/см <sup>2</sup>
WE43	$-2.70 \pm 0.06$	$-0.29 \pm 0.01$	$-1.09 \pm 0.11$	$0.05 \pm 0.01$	$-1.34 \pm 0.04$	$1.7 (\pm 0.1) \cdot 10^{-5}$
WE43-CaP-PLA	$-2.55 \pm 0.45$	$-0.12 \pm 0.05$	$-0.20 \pm 0.13$	$0.18 \pm 0.02$	$-1.58 \pm 0.06$	$3.4 (\pm 1.1) \cdot 10^{-8}$

При нанесении слоя полилактида на поверхность предварительно фосфатированного сплава WE43 формируется двухслойное покрытие CaP-PLA. Поляризационные исследования в растворе Хэнка показали,

что скорость коррозии образца WE43-CaP-PLA снижается в  $\approx 500$  раз по сравнению с исходным сплавом WE43.

Предложенный способ получения биосовместимых двухслойных покрытий CaP-PLA на сплаве магния WE43 позволяет обеспечить долговременную антикоррозионную защиту сплавов магния в физиологических средах и может быть рекомендован для разработки биоразлагаемых имплантационных материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gibbons, D. Introduction to medical implant materials / D. Gibbons // ASM Handbook - Materials for medical devices.: ASM International. – 2012. – Vol. 23.

2. Ratner, B.D. Biomaterials science: an introduction to materials in medicine. / B.D. Ratner [et al.]. – Academic Press. – 1997. – 497 p.

3. Staiger, M.P. Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review / M. P. Staiger [et al.] // Biomaterials. – 2006. – Vol. 27. – P. 1728–1734.

4. Denkena, A. Biocompatible magnesium alloys as absorbable implant materials – Adjusted surface and subsurface properties by machining Processes / A. Denkena, B. Lucas // CIRP Annals - Manufacturing Technology. – 2007. – Vol. 56. – P. 113-116.

5. Kharitonov, D. Aqueous molybdate provides effective corrosion inhibition of WE43 magnesium alloy in sodium chloride solutions / D. Kharitonov [et al.] // Corrosion Science. – 2021. – Vol. 190, 109664.

УДК 678.21

**Карманова О.В., Ронжин А.В., Голякевич А.А.**

(Воронежский государственный университет инженерных технологий)

**Тихомиров С.Г.**

(ООО «Совтех»)

**Лешкевич А.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

#### **РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОМПЛЕКСНЫХ АКТИВАТОРОВ ВУЛКАНИЗАЦИИ КАУЧУКОВ**

Практически все рецептуры резиновых смесей на основе каучуков общего назначения содержат активатор вулканизации оксид цинка, который обеспечивает образование повышенного количества поперечных связей различной силы и природы, что обуславливает формирование прочной сетчатой структуры вулканизата [1]. Широкое применение

оксида цинка в качестве активатора сшивания каучуков обусловлено его доступностью, высокой чувствительностью к локализации реакций вулканизирующих агентов, способствующей хемосорбции на его поверхности, что приводит к образованию полифункциональных узлов в сетке [2].

В то же время при производстве и эксплуатации резинотехнических изделий в окружающей среде происходит накопление соединений цинка, что оказывает негативное влияние на экосистему [3]. Однако опыт показывает, что полностью отказаться от оксида цинка или заменить его на экологически безопасные активаторы невозможно без ухудшения физико-механических показателей резин. В этой связи в настоящее время в мировой практике производства резинотехнических изделий и шин особую актуальность приобретает проблема снижения содержания соединений цинка в рецептурах резиновых смесей за счёт создания компонентов для вулканизации с пониженным содержанием цинка или снижения дозировок цинковых белил при использовании их более активных форм при условии обеспечения высокого уровня технических свойств резин [4].

Целью работы явилось изучение возможности применения комплексного активатора серной вулканизации Вулкатив<sup>TM</sup> (содержание соединений цинка – 30 % мас., производитель – ООО «Совтех»), синтезированного на основе разных марок оксида цинка с удельной поверхностью от 4,4 м<sup>2</sup>/г до, 18,1 м<sup>2</sup>/г. (производитель – ООО «Завод БЕЛХИМ») в шинных резиновых смесях.

В рецептуре протекторной резиновой смеси производили замену цинковых белил БЦОМ (ГОСТ 202-84) и стеариновой кислоты на продукт Вулкатив<sup>TM</sup> в эквивалентных дозировках. В качестве образцов сравнения применяли резиновые смеси на основе цинковых белил БЦОМ, а также оксид цинка с различной удельной поверхностью.

При получении композиций отмечено улучшение диспергирования комплексных активаторов вулканизации по сравнению с цинковыми белилами с высокой степенью дисперсности.

Установлено, что при использовании Вулкатив<sup>TM</sup> возрастает скорость вулканизации композиций, особенно с увеличением удельной поверхности оксида цинка, применяемого для синтеза Вулкатив<sup>TM</sup>. Аналогичная тенденция прослеживается и при использовании в качестве активатора вулканизации индивидуально оксида цинка с высокой удельной поверхностью.

В то же время отмечено некоторое снижение физико-механических показателей резин при использовании оксида цинка с удельной поверхностью 7,5 м<sup>2</sup>/г, 18,1 м<sup>2</sup>/г в составе Вулкатив<sup>TM</sup>, что может быть связано с изменением характера реакций от гетерогенного до гомогенного типа

при формировании действительных агентов вулканизации и распределением оксида цинка с разным размером частиц в полимерной матрице, что требует проведения дополнительных исследований и корректировке дозировок активатора вулканизации в сторону их снижения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шершнев В. А. Развитие представлений о роли активаторов серной вулканизации углеводородных эластомеров. Часть 1 // Каучук и резина. – 2012. – № 1. – С. 31–36.

2. Карманова О. В. Калмыков В.В. Особенности формирования структуры вулканизатов // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2006. – Т. 8. – № 2. – С. 112-116.

3. Карманова О. В., Тихомиров С. Г., Голякевич А. А. Применение новых активаторов вулканизации в производстве резинотехнических изделий / Материалы XXVI научно-практической конференции «Резиновая промышленность. Сырье. Материалы. Технологии» М.: ООО НИИШП», 2021. – С. 107–108.

4. Карманова О.В., Тихомиров С.Г., Попова Л.В., Фатнева А.Ю. Исследование свойств резин в присутствии композиционного активатора вулканизации // Каучук и резина. – 2020. – Т. 79. – № 1. – С. 28–31.

УДК 677.494.6:678.82

**Прокопчук Н.Р., Ленартович Л.А.,  
Вишневская Т.А., Асташкевич Е.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**Можейко Ю.М.**

(ОАО «Могилевхимволокно»)

#### **УСТОЙЧИВОСТЬ К ГОРЕНИЮ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА**

Текстильные материалы на основе волокон ПЭТФ широко применяются во всех отраслях промышленности, сельском хозяйстве и быту. Связано это с уникальными свойствами полиэфирных волокон: помимо высоких технических характеристик (однородность по толщине, высокая прочность, химическая стойкость, устойчивость к многократным деформациям, истиранию), они характеризуются хорошими воздухопроницаемостью, гигиеничностью и гипоаллергенностью. Почти единственный недостаток изделий из полиэфирных волокон – их высокая горючесть [1]. Достаточно эффективными методами огнезащиты синтетических волоконобразующих полимеров являются: внесение замедлителей горения в

расплав полимера, модификация химического состава мономеров и поверхностная обработка волокон на стадии их получения [2]. Вместе с тем введение замедлителей горения в реакционную смесь на стадии получения полимера или в его расплав приводит к падению физико-механических и волокнообразующих свойств полимерного материала, а поверхностная пропитка замедлителями горения неустойчива к водным обработкам из-за химической инертности полиэфирного материала и бездефектности поверхности его волокон. Поэтому, актуальной является проблема создания волоконной продукции пониженной горючести в сочетании с высокими физико-механическими показателями.

Цель работы – модифицировать полиэтилентерефталат на стадии его синтеза в лабораторных условиях наночастицами диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ); сформировать мононити и их термовытянуть методами, приближенными к промышленной технологии производства полиэфирных нитей на ОАО «Могилевхимволокно»; изучить их стойкость к горению.

Определение стойкости к горению образцов ПЭТФ проводили по ГОСТ 28157-2018 «Пластмассы. Методы определения стойкости к горению» (метод Б). Образцы для испытаний получали из мононитей прессованием при  $270^\circ\text{C}$  в бруски размером  $125 \times 10 \times 2$  мм. Бруски закреплялись вертикально. Пламя газовой горелки подносили к центру свободного конца образца на 10 с. Затем горелку относили от образца и регистрировали время горения образца  $t_1$ . Когда горение образца прекращалось, пламя подносили к образцу повторно. Через 10 с горелку снова относили от образца и регистрировали время горения  $t_2$ . Вычисляли суммарное время горения 5 брусков каждого образца  $t_{с.г.}$ . Под образцом на расстоянии 300 мм от конца помещали слой ваты размером около  $50 \times 50$  мм и толщиной 6 мм. На него падали капли расплава полимера.

Полученные результаты при различном содержании наночастиц диоксида титана представлены в таблице 1. Из таблицы видно, что наблюдается существенное замедление горения ПЭТФ нитей с увеличением в них содержания наночастиц  $\text{TiO}_2$ .

**Таблица 1 – Характеристика горения образцов ПЭТФ**

Композиция	$t_{с.г.}$ , с	Наличие и характер капель, воспламенение ваты
Стандарт ПЭТФ	21	Горящие капли. Вата воспламеняется. Образец под воздействием пламени начинал интенсивно плавиться и литься в виде капель низкой вязкости, за счет этого иногда происходило тушение пламени, т.е. сами горящие капли тушили пламя. Вязкость очень низкая. Возгорание образца происходило сразу же после внесения в пламя и продолжалось и после извлечения образца из пламени.

### Окончание таблицы 1

Композиция	$t_{с.г.}$ , с	Наличие и характер капель, воспламенение ваты
ПЭТФ 0,005% $TiO_2$	13,5	Горящие капли. Вата воспламеняется. Во время горения очень сильно вытягивается в виде волокна, капает отдельными небольшими каплями. Вязкость капель увеличивается, полимер меньше течет. Самостоятельно горит после извлечения из пламени.
ПЭТФ 0,01% $TiO_2$	9	Горящие капли. Вата воспламеняется. Во время горения капает отдельными небольшими каплями, вытягивается в виде волокна. Недолго горит после извлечения из пламени 1-2 с
ПЭТФ 0,015% $TiO_2$	1	Горящие капли. Вата воспламеняется. Вытягивается в виде волокон. После извлечения из пламени не горят, за исключением одного образца -1 с.

Суммарное время горения  $t_{с.г.}$  серии из пяти образцов после двукратного приложения пламени по ГОСТ 28157-2018 (метод Б) и извлечения их из пламени газовой горелки снижалось с 22 с до 1 с. Несмотря на то, что все исследованные образцы по стойкости к горению относятся к категории ПВ-2\* (вата, находящаяся под образцами на расстоянии 300 мм воспламенялась горящими падающими каплями расплава полимера), установленное замедление горения имеет не только научное, но и важное практическое значение. После извлечения образцов из пламени горелки (10 с горения) образец, содержащий 0,015% наночастиц  $TiO_2$ , самостоятельно не горит, после повторного внесения в пламя на 10 с и вынесения из него горение не поддерживает, что соответствует категории ПВ-0.

Требованиям категории ПВ-0 отвечает также суммарное время горения  $t_{с.г.}$  модифицированных образцов, которое значительно меньше 50 с.

С увеличением содержания наночастиц в ПЭТФ поведение расплава в гравитационном поле принципиально изменяется: если капли расплава немодифицированного ПЭТФ большие и падают с большой скоростью, то по мере увеличения концентрации наночастиц  $TiO_2$  скорость падения капель замедляется, и они вытягиваются в волокна. Это свидетельствует об усилении межмолекулярных взаимодействий в расплавах ПЭТФ наночастицами  $TiO_2$  за счет взаимодействия активной поверхности наночастиц с полярными группами  $-COOH$  и  $-OH$  полимера. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о замедлении горения ПЭТФ в присутствии сверхмалых количеств  $TiO_2$ .

Исследования выполняются в рамках задания 4.28 ГПНИ «материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма «Многofункциональные и композиционные материалы».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рева, О.В. Закрепление антипиренов на поверхности полиэфирных волокон / О.В. Рева, А.Н. Назарович, В.В. Богданова // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 2. – С. 107–116.
2. Carosio, F. Influence of surface activation by plasma and nanoparticle adsorption on the morphology, thermal stability and combustion behavior of PET fabrics / F. Carosio, J. Alongi, A. Frache // European Polymer Journal. – 2011. – vol. 47, Issue 5. – P. 893–902. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2011.01.009.

УДК 678.04

**Вишневецкий К.В., Войтов И.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**Каюшников С.Н., Люштык А.Ю.**

(ОАО «Белшина»)

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ШИН – СОВМЕСТНАЯ РАБОТА НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА**

С целью обеспечения выполнения и повышения результативности научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, научного сопровождения инновационных проектов, опытно-промышленной апробации и внедрения в производство результатов научной и научно-технической деятельности учреждением образования «Белорусский государственный технологический университет» совместно с ОАО «Белшина» и концерном «Белнефтехим» в 2014 году была создана отраслевая лаборатория шинной промышленности.

Основными задачами деятельности отраслевой лаборатории являются:

– выполнение научно-исследовательских работ и разработок в целях реализации производственных интересов концерна «Белнефтехим» и подведомственного ему предприятия ОАО «Белшина»;

– комплексное решение технико-экономических задач на действующих производствах ОАО «Белшина» путем совершенствования систем конструирования шин и формующих инструментов и технологии переработки эластомеров, исследования влияния рецептурных и конструктивных факторов на технологические параметры выпуска полуфабрикатов и готовой продукции;

– разработка высокоэффективных технологий и совершенствование действующих производств ОАО «Белшина» с целью выпуска конкурентоспособной продукции, не уступающей по качеству лучшим зарубежным аналогам, за счет установления зависимостей химических превращений ингредиентов эластомерных композиций на различных стадиях технологического процесса производства шин, создания и внедрения на ОАО «Белшина» инновационных технологий переработки эластомеров;

– разработка практических рекомендаций по повышению эффективности действующих производств путем комплексного решения существующих технико-экономических и экологических проблем на основе изучения причинно-следственных связей в существующих химико-технологических системах «конструкция – сырье – технология переработки эластомеров – качество полуфабрикатов – производительность – себестоимость продукции – экология»;

– промышленная апробация и внедрение на ОАО «Белшина» наукоемких технологий и технологических решений, разработанных в отраслевой лаборатории;

– внедрение в образовательный процесс разработанных инновационных технологий и усиление практико-ориентированной направленности интегрированной системы подготовки специалистов для ОАО «Белшина».

Для оснащения лаборатории в 2019 году закуплено уникальное оборудование, позволяющее осуществлять контроль сырья, полуфабрикатов, а также проводить широкий спектр исследований резиновых смесей и резин. Это позволило выполнить научно-исследовательские работы по результатам которых был проведен обратный инженерный анализ резин импортных аналогов х шин, а также исследования, результаты которых позволили специалистам центральной заводской лаборатории инженерно-технического центра ОАО «Белшина» разработать новые рецептуры для профилированных деталей брекера, борта, каркаса для цельнометаллокордных шин различных размеров.

Наиболее значимыми работами, проводимыми в настоящее время является «Разработка технологии изготовления эластомерных композиций для протектора и брекера легковых шин с повышенными эксплуатационными характеристиками» и «Научное сопровождение мероприятий по модернизации действующих и внедрению новых технологических процессов производства шин с разработкой научно-практических рекомендаций по использованию новых видов сырья или корректировки технологических режимов».

В рамках выполнения научно-исследовательской работы «Разработка рецептуры эластомерной композиции для протектора ЦМК грузовых шин

для рулевых позиций с улучшенной стойкостью к истиранию не менее чем на 10% в условиях эксплуатации» разработана рецептура эластомерной композиции с повышенной износостойкостью протектора цельнометаллокордных грузовых шин для рулевых позиций. Выпущена опытная партия шин размера 315/70 R22,5 модели Bel-148M, протектор которой изготовлен на основе разработанной рецептуры. Опытные шины успешно апробированы в условиях опытно-промышленных испытаний по действующим методикам ОАО «Белшина». Применение разработанной рецептуры эластомерной композиции обеспечивает улучшение стойкости опытных шин к истиранию в условиях эксплуатации не менее чем на 20% по сравнению с серийными аналогами. Даны рекомендации по применению разработанной рецептуры эластомерной композиции для протектора грузовых ЦМК шин для рулевых позиций и нормам ее контроля.

Деятельность отраслевой лаборатории шинной промышленности учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» позволило предприятию ОАО «Белшина» в период со II квартала 2020 года по II квартал 2021 года получить экономический эффект более 1,5 млн. рублей.

УДК 678.04

**Люштык А.Ю., Каюшников С.Н., Перфильева С.А.**  
(ОАО «Белшина»)

**Шашок Ж.С., Усс Е.П., Кротова О.А., Лешкевич А.В.**  
(Белорусский государственный технологический университет)

### **ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВУЛКАНИЗАЦИИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМ КРЕМНЕКИСЛОТНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ**

Кремнекислотный наполнитель (ККН) является одним из широко используемых армирующих наполнителей для резиновых композитов благодаря способностям обеспечивать хорошие динамические свойства шин легковых автомобилей, высокую прочность на разрыв, высокое сопротивление порезам и раздиру. Данный наполнитель также улучшает теплопроводность и снижает накопление тепла в резиновых композициях [1, 2]. Кремнекислотный наполнитель с силанольными и силоксановыми функциональными группами отличается от технического углерода по своему химическому составу и общепринятому способу изготовления

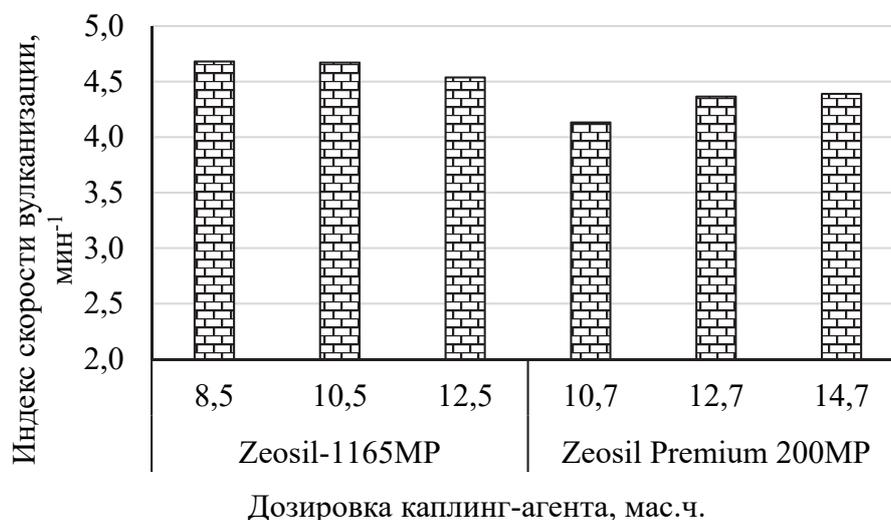
резиновых смесей [3, 4]. Полярная поверхность ККН имеет меньшее сродство к неполярным каучукам, в результате чего взаимодействия между частицами больше, чем с углеводородными молекулами каучука. Силаны при механическом смешении каучука с наполнителем при температуре химически взаимодействуют с силанольными группами поверхности частиц кремнекислоты. В результате поверхность покрывается привитыми молекулами модификатора и меняет свои физические свойства: становится более гидрофобной, а взаимодействие между частицами ослабляется. При вулканизации молекулы силана за счет полисульфидных и меркаптогрупп вступают во взаимодействие с вулканизирующей группой и, в конечном итоге, с каучуком. В результате в резине резко возрастает доля связанного каучука, что приводит к улучшению комплекса свойств резин [5].

Целью работы являлось определение влияния типа полимера и марки наполнителя на кинетические параметры вулканизации модельных резиновых смесей.

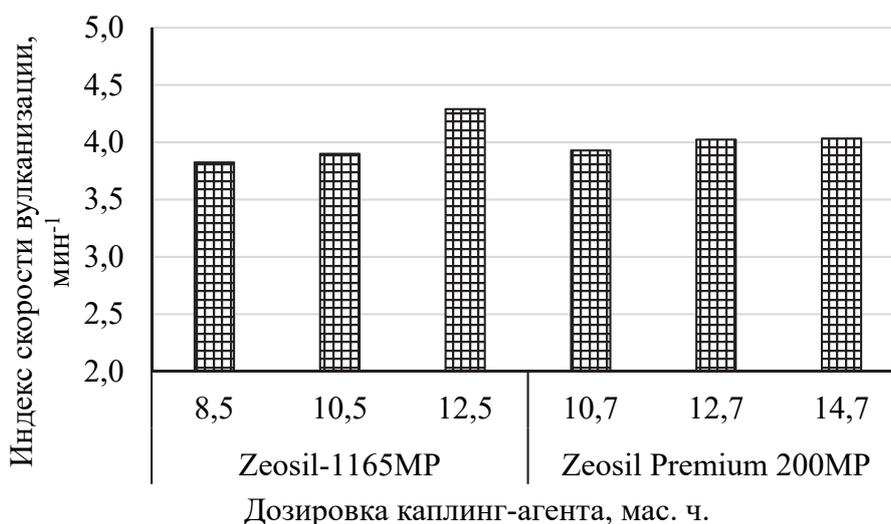
В качестве объектов исследования использовались эластомерные композиции на основе растворных бутадиен-стирольных каучуков ДССК 2163 и ДССК 2560М27 и высокодисперсные кремнекислотные наполнители марок Zeosil-1165MP и Zeosil Premium 200MP, которые вводились в дозировке 60,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. В композициях использовался каплинг-агент, представляющий собой смесь бифункционального серосодержащего органосилана (бис-(триэтоксисилпропил)тетрасульфид, наиболее известного под торговой маркой Si 69 (TESPT)), и технического углерода типа N330 в соотношении 1:1 по массе. На рисунке 1 представлены результаты определения индекса вулканизации исследуемых эластомерных композиций.

Из представленных данных видно, что индекс скорости вулканизации резиновых смесей на основе ДССК 2163, содержащих более высокодисперсный кремнекислотный наполнитель марки Zeosil Premium 200MP несколько ниже, чем смесей с ККН марки Zeosil 1165MP. Установленный характер изменения кинетических параметров вулканизации может быть связан с различиями величины удельной поверхности по адсорбции. На поверхности кремнекислотного наполнителя имеется некоторое количество силанольных групп, которые способны взаимодействовать с компонентами вулканизирующей системы (активаторами и ускорителями вулканизации, а также вулканизирующим агентом), что несколько замедляет процесс вулканизации. В связи с тем, что ККН марки Zeosil Premium 200MP характеризуется более высокими показателями величины удельной поверхности, то, вероятно, это и приводит к повышению

адсорбционного взаимодействия наполнителя с компонентами вулканизирующей системы и уменьшению скорости структурирования



*a*



*б*

**Рисунок 1 – Индексы скорости вулканизации исследуемых резиновых смесей:**

*a* – резиновая смесь на основе бутадиен-стирольного каучука ДССК 2163;

*б* – резиновая смесь на основе бутадиен-стирольного каучука ДССК 2560M27

Сравнительный анализ полученных данных показал, что композиции на основе маслонаполненного бутадиен-стирольного каучука ДССК 2560M27 имеют меньший индекс скорости вулканизации по сравнению с немаслонаполненным ДССК 2163. В данном случае наличие в объеме эластомера масла-наполнителя, введенного на стадии синтеза эластомера ДССК 2560M27, приводит к замедлению скорости образования пространственной структуры вулканизата.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Choi S.S. Properties of silica-filled styrene-butadiene rubber compounds containing acrylonitrile-butadiene rubber: the influence of the acrylonitrile-butadiene rubber type // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2002. – Vol. 85, №11. – P. 385–393.

2. Rattanasom N., Prasertsri S., Ruangritnumchai T. Comparison of the mechanical properties at similar hardness level of natural rubber filled with various reinforcing-fillers // *Polymer Testing*. – 2009. – Vol. 28, iss. 1. – P. 8–12.

3. Song S.H. Influence of eco-friendly processing aids on silica-based rubber composites // *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10. – DOI:10.3390/app10207244.

4. Ansarifar M.A., Nanapoolsin T., Jain A. Silane-silica reinforcement of some natural rubber vulcanizates // *Journal of Rubber Research*. – 2002. – Vol. 5. – P. 11–27.

5. Пичугин А.М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин: науч. издание. – М.: Машиностроение, 2008. – 383 с.

УДК 678.046:678.074:678.4

**Калейник А.С., Вишневский К.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

### **ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА РЕЗИН НА ОСНОВЕ СИЛОКСАНОВОГО КАУЧУКА**

Ввиду относительно высокой стоимости силиконовых каучуков актуальной задачей является поиск наполнителей, одновременно улучшающих технические характеристики вулканизатов резиновых смесей на основе данных каучуков и снижающих их себестоимость [1]. Наиболее подходящими наполнителями для силиконовых каучуков признаны кремнекислотные наполнители, однако производятся исследования, включающие в себя поиски новых материалов [2].

Потенциальной эффективностью обладает процесс гидрофобизации поверхности кремнекислотного наполнителя путём силилирования кремнекислоты. Особенно целесообразным считается проведение такого процесса для винилсиликоновых каучуков [3]. Данная работа имеет своей целью исследование влияния наполнителей на технические свойства резин на основе силиконового каучука.

Для исследования использовался силиконовый каучук СКТВ. В качестве наполнителей использовались кремнекислотный наполнитель

(ККН) и гидрофобизированный мел. Для приготовления некоторой части образцов резиновых смесей ККН перед процессом смешения подвергалась гидрофобизации винилтриэтоксисиланом при температуре 125 °С. В таблице 1 представлены рецептуры резиновых смесей.

**Таблица 1 – Рецептуры резиновых смесей**

Наименование ингредиента	Масс. ч. на 100 масс. ч. каучука							
	Исходная смесь	ККН 10 Г	ККН 10	ККН 20 Г	ККН 20	М 10	М 20	М 30
Силоксановый каучук	100	100	100	100	100	100	100	100
ККН	–	10	10	20	20	–	–	–
Гидрофобизирующая до бавка	–	1	–	1	–	–	–	–
Мел	–	–	–	–	–	10	20	30
Пероксид дикумила	1	1	1	1	1	1	1	1
Всего	101	112	111	122	121	111	121	131

Вулканизация осуществлялась в вулканизационном прессе при температуре 160°С. В таблице 2 представлены свойства вулканизатов резиновых смесей.

**Таблица 2 – Свойства вулканизатов резиновых смесей**

Шифр резиновой смеси	Условная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Твёрдость по Шору А, усл. ед. Шор А	Сопротивление раздиру, МПа
Исходный каучук	7,3	620	45,6	20,0
ККН 10 масс. ч	6,8	600	54,9	24,5
ККН 10 масс. ч. гидрофобная	5,7	430	61,5	18,1
ККН 20 масс. ч.	4,5	380	61,5	17,9
ККН 2 масс. ч. гидрофобная	3,8	290	69,4	16,6
Мел 10 масс. ч.	5,2	480	50,1	20,4
Мел 20 масс. ч.	4,9	460	52,4	19,6
Мел 30 масс. ч.	4,7	460	52,2	19,1

Полученные результаты демонстрируют, что с введением наполнителя пропорционально увеличению его содержания относительно каучука снижаются условная прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве. При этом возрастает твёрдость по Шору А. Как можно заметить, у образцов с гидрофобной ККН ухудшение прочностных характеристик несколько более выражено в сравнении с образцами, наполненными не подвергнутой гидрофобизации ККН. Так, к примеру,

у образцов, наполненных 10 масс. ч. ККН исходной и гидрофобной, уменьшение условной прочности при растяжении относительно вулканизата исходной смеси составляет соответственно 7% и 22%. При этом можно отметить, что сопротивление раздиру возрастает на 18% у образца, наполненного 10 масс. ч. ККН, по сравнению с исходным образцом. Это может свидетельствовать о том, что оптимум наполнения лежит в границах относительно малого количества введенной ККН, поскольку дальнейшее увеличение степени наполнения приводит к значительному ухудшению физико-механических свойств вулканизатов.

Можно сделать вывод, что данные наполнители можно использовать в качестве разбавителей для силоксанового каучука в смесях, предназначенных для изготовления изделий, не подвергаемых нагрузкам, а служащим в качестве герметизирующих элементов. Данная работа прокладывает начало исследованиям в данной области химической технологии эластомерных композиций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ghunem, R. A. Common perceptions about the use of fillers in silicone rubber insulation housing composites / R. A. Chunem, Y. Hadjadj, H. Parks // *Energies*. – 2021. – Т. 14, № 12. – С. 3655–3664.

2. Kang, M. Influence of ozone-treated silica nanoparticles on mechanical interfacial behavior and thermal stability of silicone composites / M. Kang, F. Jin, S. Park // *Journal of Nanoscience and Technology*. – 2018. – Т. 18. – С. 6244–6248.

3. Shit, S. C. A review on silicone rubber / S. C. Shit, P. Shah // *National academy science letters*. – 2013. – Т. 36, № 4. – С. 355–365.

УДК 546.47:66.081.3

**Климович Д.А., Городнякова И.С., Щербина Л.А.**

(Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий)

**Устинов К.Ю., Бритов А.М.**

(Завод «Полимир» ОАО «Нафтан»)

### **СВОЙСТВА ПРЯДИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ И ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ТЕРСОПОЛИМЕРОВ АКРИЛОНИТРИЛА, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В ПРИСУТСТВИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ**

Полиакрилонитрильные (ПАН) волокна – синтетические волокна, получаемые из растворов полиакрилонитрила или сополимеров, содержащих более 85 % (масс.) акрилонитрила (АН). Основными этапами

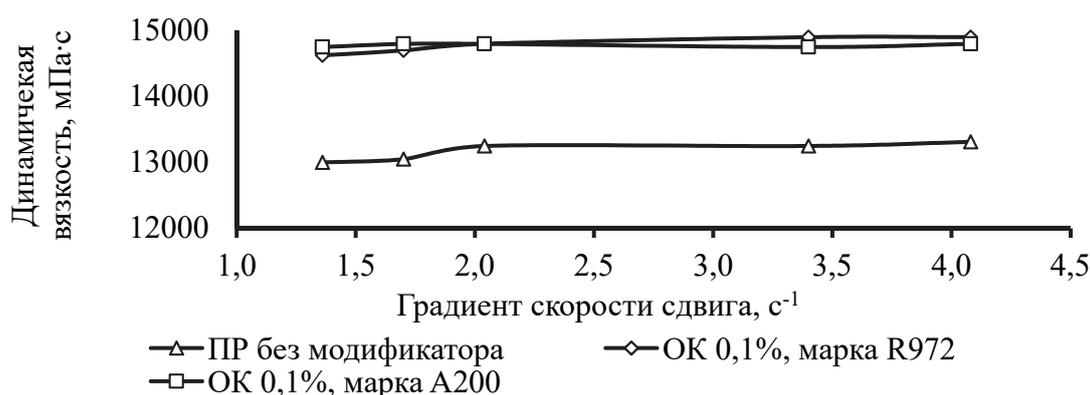
производства ПАН волокон являются получение волокнообразующего терсополимера и формование волокна по мокрому или сухому методу. По своим потребительским показателям ПАН волокна очень близки к шерсти и в этом отношении они превосходят все остальные химические волокна. При этом они обладают высокой светостойкостью, низкой гигроскопичностью, мало изменяют свойства в присутствии влаги и ионизирующего излучения, не повреждаются молью и микроорганизмами. Им можно придавать прочность и усадочность в широком диапазоне значений. Они нашли применение в производстве текстиля как в чистом виде, так и в смесках с шерстью (или другими волокнистыми материалами). Не менее важным направлением использования ПАН волокон является применение их в технических сферах, например, в качестве волокнистых материалов специального назначения или прекурсоров для их производства. Одним из вариантов дальнейшего развития ПАН волокон является придание им новых потребительских свойств путем введения в их структуру наноразмерных модификаторов, например, оксида кремния (IV) (ОК) (или диоксида кремния).

Вероятным вариантом такой модификации может быть введение наноразмерных частиц ОК в структуру волокна путем их дозирования в исходную реакционную среду (РС) на стадии синтеза волокнообразующего терсополимера АН [1]. Предполагается, что такой подход может улучшить качество диспергирования наноразмерных частиц в полимерной основе волокнистых материалов. Вместе с тем, имеются опасения, что введение подобных модификаторов на стадии синтеза может повлиять не только на протекание самого синтеза, но и негативно отразиться на свойствах получаемого сополимера АН, в том числе на его способности к волокнообразованию.

В связи с этим, целью представленного этапа исследования явился анализ влияния введения наноразмерных частиц ОК (IV) в реакционную среду при синтезе модифицированных терсополимеров (МТП) АН, метилакрилата (МА) и итаконовой кислоты (ИтК) на свойства прядильных растворов (ПР) в диметилформамиде (ДМФ) на их основе, а также пригодности таких растворов к формованию волокнистых материалов по мокрому методу. Для этого проведены работы по получению поли[АН-со-МА-со-ИтК] в условиях дозирования в исходную РС наноразмерных частиц ОК (IV) марок Aerosil A200 и Aerosil R972 в количестве 0,10; 0,25; 0,50 и 1,00 % (от массы РС). ОК марки Aerosil A200 является по своей природе гидрофильным, а ОК марки Aerosil R972 – гидрофобным за счет обработки кремнийорганическими соединениями. Условия проведения и результаты изучения динамики синтеза МТП представлены ранее [1]. При этом введение в РС наноразмерных

частиц модификатора в количестве 0,10; 0,25; 0,50 и 1,00 % (от массы РС), согласно расчетам, соответствует их содержанию в МТП 0,72; 1,81; 3,63 и 7,24 % (масс). Далее синтезированные образцы МТП были использованы для приготовления диметилформаидных ПР, содержащих около  $16,5 \pm 0,3$  % (масс.) МТП.

Реологическое поведение ПР исследовали с помощью вискозиметра BrookfieldDV Pro. На основе полученных данных (рисунок 1) можно отметить, что введение в РС наноразмерных частиц пирогенного ОК приводит к возрастанию эффективной вязкости ПР.



**Рисунок 1 – Реограммы ПР на основе МТП, синтезированных при введении в РС наноразмерных частиц ОК**

При дальнейшем увеличении в РС при синтезе МТП содержания ОК марки Aerosil A200 от 0,10 до 1,00 % (от массы РС) отмечена тенденция к снижению вязкости ПР. При использовании ОК марки Aerosil A200 при синтезе МТП по мере увеличения его содержания в РС до 1,00 % (от массы РС) наблюдается рост вязкости ПР на основе полученных МТП.

Оценку пригодности диметилформаидных ПР на основе МТП к формированию волокнистых материалов по мокрому методу проводили с использованием стендовой лабораторной установки. Основные параметры реализации данного процесса приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Параметры формирования волокон на основе МТП**

Параметр, единица измерения	Значение
Концентрация прядильного раствора, %	16,5
Концентрация ДМФ в осадительной ванне, %	55,0
Температура, °С: – осадительной ванны	10,0
– пластификационной ванны	95,5
Фильтрная вытяжка, %	-61,0
Пластификационная ванна	вода
Кратность пластификационного вытягивания	5,0

Можно отметить, что формирование волокон на основе МТП, полученного путем введения на стадии синтеза ОК марки Aerosil A200, шло нестабильно, а максимальная кратность фильерной вытяжки была меньше, чем в случае ПР на основе немодифицированного терсополимера. Анализ поперечного среза волокон, полученных из МТП (в случае введения ОК марки Aerosil A200 в количестве 0,1% (от массы РС)), позволяет отметить высокую неоднородность структуры волокон, характеризующуюся наличием в ней неравномерно распределенных крупных пор. Формование волокна из МТП, полученного при введении 0,25 % (от массы РС) ОК Aerosil A200, показало его непригодность к волоконнообразованию.

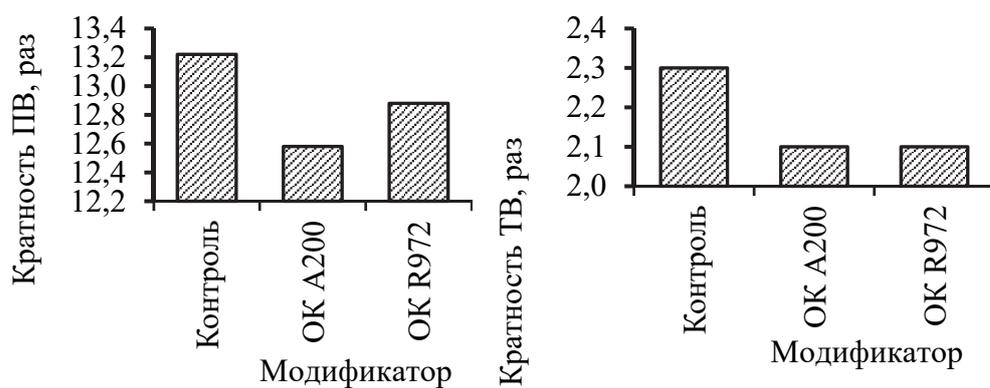
Вместе с тем, формование волокон из растворов МТП, содержащих в структуре ОК марки Aerosil R972, проходило стабильно, а снижения прядомости не наблюдалось.

Форма поперечного сечения и однородность структуры таких волокон была близка к образцам волокон, полученным из немодифицированного терсополимера.

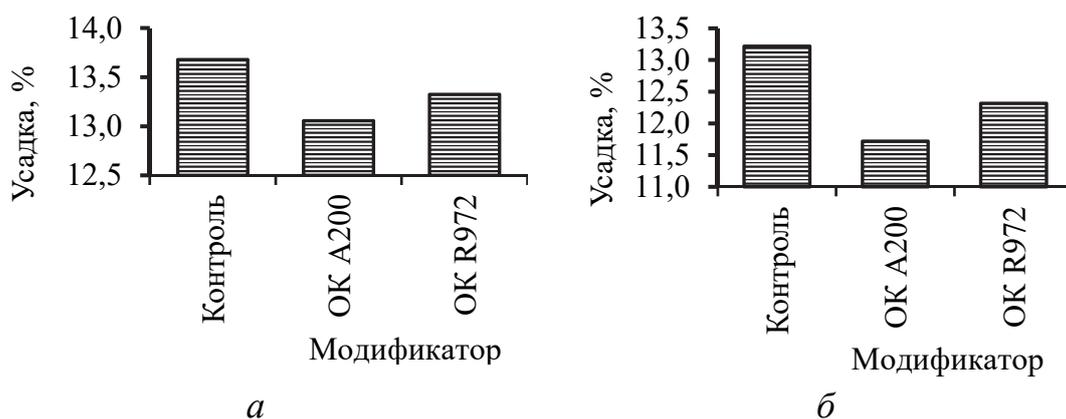
Было установлено, что модификация волокнообразующих терсополимеров АН на стадии их синтеза наноразмерными частицами ОК в количестве 0,1 % (от массы РС) может приводить:

- к снижению деформируемости волокон в процессе их пластификационного вытягивания (ПВ) в гель-состоянии при 95–96 °С в воде и после термоориентационного вытягивания (ТВ) в сухом состоянии при 160 °С (рисунок 2);

- к уменьшению усадки волокон после максимальных пластификационного и термоориентационного вытягиваний (рисунок 3).



**Рисунок 2 – Максимальные кратности пластификационного и термоориентационного вытягиваний волокон на основе МТП, синтезированных в присутствии 0,1 % (от массы РС)**



**Рисунок 3 – Усадка волокон на основе МТП, синтезированных в присутствии 0,1 % (от массы РС), после максимально возможных пластификационного (а) и термоориентационного (б) вытягиваний (см. рисунок 2)**

Таким образом, полученные результаты могут указывать на ограничения сегментарной подвижности макромолекулярных цепей терсополимеров акрилонитрила в результате проведения процесса их синтеза в присутствии наноразмерных частиц пирогенного ОК (IV).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Щербина, Л.А. Исследование синтеза волокнообразующего сополимера акрилонитрила в присутствии наночастиц оксида кремния / Л.А. Щербина, Я.Ю. Руденок, В.В. Шабловская, И.А. Будкоте // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Сер. 1: Естественные и технические науки. – 2022. – № 2. – С. 98-103.

УДК 667.537.2:547.584

**Негматов С.С., Абед Н.С., Негматова К.С., Икрамова М.Э.,  
Бозорбоев Ш.А., Султонов С.У., Тожибоев Б.,  
Икрамов Н.А., Рахимов Ш.Э., Улмасов А.А.**

(Ташкентский государственный технический университет)

### **О РАЗРАБОТКЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ И РЕМОНТА ТРУБОПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ОТ КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

На сегодняшний день коррозионные процессы создают огромные проблемы мировой экономике. По самым скромным подсчетам ежегодно происходит потеря металла от коррозии около 15–20 %. Особенно в

нефтегазовой и металлургической отрасли промышленности из-за износа металлических запасов, недостаточного ремонта и повышенной коррозионной эрозии в рабочей среде происходит преждевременная потеря деталей оборудования и трубопроводов из-за влияния агрессивных сред [1, 2].

В данной работе рассматривается разработка эффективных составов и ресурсосберегающей технологии получения новых импортозамещающих композиционных полимерных материалов на основе местного сырья и отходов производства с низкой себестоимостью с целью получения коррозионностойких покрытий для защиты поверхности металлических труб, рабочих органов оборудования и конструкций, применяемых в нефтегазовой, металлургической и других отраслях промышленности.

Учитывая условия протекания коррозии металлов для разработки и получения композиционных полимерных материалов были выбраны определенные полимеры и органоминеральные ингредиенты на основе отходов производств и местного сырья. Это терморезистивные эпоксидные олигомеры, их производные и полимеры на их основе, обладающие сетчатой структурой и хорошими физико-механическими и антикоррозионными свойствами.

С целью дальнейшего улучшения коррозионностойких свойств и повышения долговечности покрытий из них для их модификации нами были выбраны органоминеральные ингредиенты на основе местного сырья и отходов производств, а также способы физико-механо-химической их обработки, приводящие к синергетическому эффекту, позволяющие существенно повысить физико-механические и коррозионностойкие свойства [5].

При выполнении исследований использованы современные методы физико-химического анализа для исследования структуры, состава и свойства полимерных связующих, органоминеральных ингредиентов и разрабатываемых антикоррозионных композиционных полимерных материалов и покрытий на их основе.

Основными компонентами антикоррозионных реагентов (покрытия) являются: полимерные связующие, пластификаторы, отвердители, сиккативы, наполнители, растворители и разбавители.

Для разработки эффективных антикоррозионных полимерных материалов и покрытий на их основе нами на основе анализа современных литературных источников и результатов предварительного исследования были разработаны модельные составы антикоррозионных полимерных материалов. При этом в первую очередь были проведены исследования химической устойчивости, разработанных антикоррозионных полимерных материалов (таблица 1).

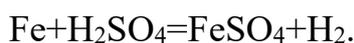
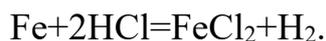
**Таблица 1 - Химическая устойчивость разработанных антикоррозионных композиционных полимерных покрытий на основе эпоксидного полимера - ЭД-20**

№	Свойства	Показатели коррозионности, %
Время выдерживания в воде – 30 дней		
Масса металлической пластинки – 100 г		
1.	4,0% раствор уксусной кислоты (CH <sub>3</sub> COOH)	0,54
2.	4,0% раствор азотной кислоты (HNO <sub>3</sub> )	0,71
3.	В воде	0,76
4.	4,0% раствор серной кислоты (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	0,78
5.	4,0% раствор соляной кислоты (HCl)	1,18

Как видно из полученных результатов, разбавленные водные растворы кислот сильно окисляют металл, и в конечном итоге железо разрушается, покрываясь рыхлым слоем ржавчины, образуя оксиды металлов:



В процессе коррозии в кислых средах происходит следующие реакции:



На коррозию в этом случае влияет скорость реакции выделения водорода, которая зависит от природы металла и вида поверхности, а также от pH раствора и температуры.

При взаимодействии металла с растворами кислот выделяются ионы водорода и происходит водородная деполяризация. Поэтому при этом ускоряется процесс коррозии. Этот процесс происходит и при кислородной деполяризации. За счет окисления металлов происходит коррозия.

Нами были разработаны и внедрены антикоррозионный композиционный полимерный материал для защиты от коррозии насосно-компрессорных труб установки, применяемых при бурении нефтегазовых скважин (таблица 2).

**Таблица 2 – Физико-механические свойства композиционных полимерных покрытий на основе эпоксидного полимера - ЭД-20**

№	Свойства	Показатели	
		Антикоррозионный композиционный полимерный материал	Антикоррозийное покрытие SikaCor ZincR (Россия)
1.	Модуль упругости при изгибе, E <sub>из</sub> , ГПа	210	208
2.	Прочность на изгиб, σ <sub>из</sub> , кГ/мм <sup>2</sup>	650	540

## Окончание таблицы 2

№	Свойства	Показатели	
		Антикоррозионный композиционный полимерный материал	Антикоррозионное покрытие SikaCor ZincR (Россия)
3.	Теплостойкость на Вике, К	423	373
4.	Диэлектрическая абсорбция, $\varepsilon$	6,8	6,2
5.	Удельное объемное электрическое сопротивление $\rho_v$ , $10^{14}$ Ом·см	31,8	29,7
6.	Удельное поверхностное электрическое сопротивление, $\rho_s$ , $10^{14}$ Ом·см	17	15,4

В таблице 2 приведены результаты важнейших физико-механических свойств разработанного антикоррозионного композиционного полимерного материала на основе олигомера ЭД-20.

Как видно из таблиц, разработанная антикоррозионная полимерная композиция по сравнению с существующими антикоррозионными покрытиями (Российское производство) по физико-механическим свойствам показывают значительно лучшие результаты.

Испытания показали, что разработанный антикоррозионный композиционный полимерный материал и покрытия на их основе эффективно защищают насосно-компрессорные трубки (НКТ) от коррозии и повышают срок службы насосно-компрессорных труб в 2,5–3,0 раза. При этом экономический эффект составляет 156 млн. сумов за 10 тонн.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Долгих В.И., Лякишев Н.П., Фролов К.В. Защита металлофонда от коррозии. // Металлы. 1990. – № 5. – С. 5–14.
2. Взаимосвязь структуры и свойств эпоксидных композиций / Е.А. Татаринова, Ю.Б. Куликова, М.Ю. Бурмистрова и др. // Пластические массы. -2002.-№5. – С. 9–11.
3. Вахобов Д.А., Бабаханова М.Г., Негматов С.С. и др. Исследование адгезионных свойств защитных покрытий // «Композиционные материалы» 2004. -№2.– С. 17–18.
4. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий на основе эпоксифенольных композиций / З.А. Кочнова, С.Ю. Тузова, А.О. Баранов, и др. // Пластические массы. 2002. – №8. – С. 11–15.
5. Вахобов Д.А., Негматов С.С., Тошматов А.У. и др. Изучение и выбор полимерных материалов для разработки эффективных антикоррозионной композиций и покрытий на их основе с учетом моделей химического разрушения. // «Композиционные материалы». 2003. – №1. – С. 54–55.

**Негматова К.С., Икрамова М.Э., Негматова М.Н.,  
Расулова Ш.Н., Набиева И.А., Негматов С.С.,  
Абед Н.С., Бабаджанова М.А., Лапасова Ф.А.**  
(Ташкентский государственный технический университет)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ КРАСИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СОЛЕЙ ПОЛИВАЛЕНТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

В условиях жесткой конкуренции для получения готовых текстильных изделий важным аспектом является насыщенная колористическая гамма и высокое качество готовой продукции. Все изделия подвергаются воздействию различных факторов в условиях эксплуатации: стирка, трение, солнечный свет и т.п. Поэтому необходимо найти доступный способ сохранения яркости, насыщенности и прочности цвета полученных окрасок текстильного материала при его дальнейшем использовании [1].

Процесс крашения включает диффузию красителя к поверхности волокна, адсорбцию его на поверхности, диффузию внутрь субстрата и фиксацию (закрепление) на волокне. Таков способ образования красителя на волокне. Нерастворимые азокрасители - способны за счёт капиллярных и диффузионных процессов пропитывать и интенсивно окрашивать материал.

Красители синтезируются непосредственно в волокне и ткани на основе белковых волокон с сочетанием азо- и диазосоставляющих, в качестве которых используют соответственно азотолы и диазосоли. В процессе крашения ткани на основе белковых волокон пропитывают щелочным раствором азотола, высушивают и обрабатывают на холоде при pH 7-9 водным раствором диазосоставляющей. Кроме этого также применяются азогены, общее название азо- и диазосоставляющих, используемых для синтеза нерастворимых в воде азо-красителей непосредственно на волокне. Метод крашения получил название ледяного (холодного) и заключается в обработке ткани, пропитанной щелочным раствором азосоставляющей, в охлаждённом растворе диазосоединения с последующим отжимом и выдержкой до полного завершения реакции азосочетания. При крашении поэтому способом краситель синтезируется непосредственно на волокне из полупродуктов. Образовавшийся на волокне краситель не растворяется в воде, вследствие чего получается прочная к мокрым обработкам окраска [2].

Однако обработка щелочным раствором азосоставляющей делает этот способ непригодным для крашения натурального шелка. Классические

способы крашения натурального шелка прямыми красителями не обеспечивают получения прочных окрасок в темных тонах. Натуральный шелк подвергается крашению активными красителями в щелочных и кислотных средах. При крашении в щелочной среде образовавшиеся окраски отличаются прочностными показателями, однако здесь возникает опасность деструкции белкового волокна под действием щелочных растворов при высоких температурах. А в кислой среде краситель фиксируется на волокне за счет ионных и межмолекулярных связей, вместо ковалентной как в случае крашения в щелочной среде.

В связи с этим, наиболее рациональным решением проблемы колорирования натурального шелка является разработка композиций на основе солей поливалентных металлов, которые способны образовывать в структуре волокна, окрашивающие металлокомплексы, способные улучшить потребительские свойства изделий из шелка и образовывать на волокнистых материалах окраски широкой гаммы цветов, прочных к действию различных физико-химических воздействий.

Целью работы является исследование свойств композиционных красителей на основе солей поливалентных металлов, применяемых при отделке тканей на основе белковых волокон.

Фиброин натурального шелка обладает ограниченным набором аминокислотных остатков в полимерной цепи и состоит из основных четырех аминокислот: глицин, аланин, серин и тирозин. Эти аминокислоты имеют не поделённую пару электронов в азоте и могут создать ковалентную связь с металлом. Наличие первичных аминокислотных групп в молекулах полимерного субстрата дает возможность их диазотирования с получением солей диазония, обладающих высокой активностью. При сочетании диазониевой соли с фенолом или аминами образуются окрашенные соединения.

В ходе исследования наблюдалось влияние различных видов солей поливалентных металлов на цвет окрашиваемого материала «Органза» из натурального шелка. Введение катионов щелочноземельных, переходных и редкоземельных металлов позволяет в процессах колорирования существенно повысить окрашиваемость (интенсивность окраски), прочность окраски и самого волокна к разрывным нагрузкам:

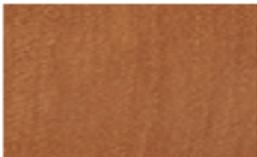
Испытания проводились в несколько этапов:

1. Изучение окрашиваемости отобранной ткани солями поливалентных металлов с использованием резорцина и гидрохинона.
2. Рассмотрение цветового тона и интенсивностей получаемых окрасок из различных представителей солей поливалентных металлов.
3. Исследование влияния температуры на интенсивность окраски тканей.

4. Изучение возможности получения цвета на натуральном шелке при ресурсосберегающих условиях процесса обработки поливалентными солями металлов.

В таблице №1 приведена полученная цветовая гамма окрашенных тканей на основе белковых волокон.

Таблица 1 - Полученная цветовая гамма окрашенных тканей на основе белковых волокон

Окрашенные образцы	Соли поливалентных металлов
	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (резорцин) 
	(Крашение суточным раствором) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (резорцин) 
	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (гидрохинон) 
	$\text{CoCl}_2$ (резорцин) 
	$\text{CuSO}_4$ (резорцин) 
	$\text{NiCl}_2$ (резорцин) 

Для изучения изменения интенсивности окраски материалов из натурального шелка были отобраны следующие представители солей поливалентных металлов:  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ;  $\text{CoCl}_2$ ;  $\text{CuSO}_4$ ;  $\text{NiCl}_2$ , с целью отбора самого интенсивно устойчивого. За основу исследований в лабораторных условиях отобран материал «Органза» - тонкая матовая жёсткая прозрачная ткань, сделанная из натурального шёлка.

Процесс крашения проводился в лабораторных условиях. Начальная температура крашения составляла  $40^\circ\text{C}$  в растворе соли поливалентного металла с содержанием двухатомного фенола – резорцина (1,3-дигидроксибензол, мета-дигидроксибензол). Температурный градиент увеличивался с целью улучшения диффузии красителя в волокно. Максимальная температура составила  $90^\circ\text{C}$  и при этой температуре продолжали процесс крашения в течение 60 минут. В случае крашения раствором сульфата железа (III) параллельно проводились эксперименты с использованием в качестве ускорителя двухатомного фенола гидрохинона выдержанным в течении суток при комнатной температуре.

В таблице 1 приведены результаты крашения органзы различными солями поливалентных металлов. Палитра возможных цветов, получаемых из разных солей, зависит от основного металлического компонента. Как видно из первых показателей таблицы, при крашении раствором резорцина и солями  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  при равном времени вылеживания материала фиксируется различная интенсивность окраса. Так, основа, окрашенная в течение 60 минут свежеприготовленным раствором, имеет менее интенсивный окрас по сравнению с колорирующим раствором, выдержанным в течение суток. Также красящий раствор, приготовленный из соли  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  в растворе с гидрохиноном, также показывает сильное изменение палитры окраса и снижение интенсивности цвета.

Таким образом, установлено, что влияющими факторами на глубину оттенка окрашенных тканей являются температура и время выдерживания материалов в красильном растворе. Под действием высокой температуры с помощью растворов солей поливалентных металлов возможно получение и сохранение яркости, насыщенности и прочности цвета окрашенных материалов.

#### ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаджанова М.А., Каримов Х.Р., Абдурахманова Ш.Г., Ташпулатова К. Структурные изменения белковых волокон в процессе окрашивания красящими композициями. // Тезис доклада Республиканской конференции «Полимеры – 2002». Ташкент, 2002. ИХФП АН РУз.

2. Абдурахманова Ш.Г., Маджидова Ш.Г., Бабаджанова М.А. Разработка композиционных составов и окрашивание ими белковых волокон // Композиционные материалы, 2001, №1. С.28–32.

**Струк В.А., Антонов А.С.**

(ГрГУ имени Янки Купалы)

**Авдейчик С.В., Гольдаде В.А.**

(ГГУ имени Франциска Скорины)

**Прокопчук Н.Р.**

(Белорусский государственный технологический университет)

## **МЕТОДОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТОВ**

Нанокomпозиционные материалы на основе полимерных матриц представляют эффективное направление реализации NBIC-технологий в практической деятельности производственных систем [1–5]. При разработке методологии создания полимерных нанокomпозитов используют феномен наносостояния, который представляет особую форму существования частиц или элементов конденсированных сред, характеризующуюся их активностью в процессах межфазного взаимодействия, обусловленную наличием собственных или приобретенных нескомпенсированных и делокализованных носителей заряда различной природы с изменяемой подвижностью и локализацией под действием внешних факторов (температурных, механических, волновых, фрикционных, электромагнитных, радиационных и др.), которая проявляется в некотором размерном диапазоне, индивидуальным для каждого типа вещества [3].

Предложенное содержание дефиниции наносостояния позволяет определить концептуальные направления создания функциональных композитов на основе полимерных матриц для металлополимерных систем различного вида и назначения.

Промышленные полимерные матрицы обладают различным уровнем структурного несовершенства на различных уровнях – надмолекулярном, межмолекулярном, межфазном, что позволяет при определенных видах воздействия формировать структуры, проявляющие наносостояние, которое оказывает существенное влияние на формирование композита с повышенными параметрами служебных характеристик.

Предложены методологические принципы реализации феномена наносостояния в материаловедении и технологии композитов на основе полимерных матриц и металлополимерных систем (рисунок 1).

Для практической реализации методологических принципов создания нанокomпозиционных материалов для конструктивных элементов металлополимерных систем с повышенными параметрами эксплуатационных характеристик использовали наноразмерные модификаторы различного состава, строения, технологии получения и введения в состав

композита или изделия из него. Учитывая ограниченный марочный ассортимент наноразмерных частиц, производимых в Беларуси главным образом лабораторными методами и относящихся преимущественно к углеродсодержащим продуктам взрывного (УДА, УДАГ) и плазмохимического (фуллерены, углеродные нанотрубки) синтеза, предложены технологии получения наноразмерных объектов из металлосодержащих и кремнийсодержащих соединений [2–5].



**Рисунок 1 – Методологические принципы реализации феномена наносостояния в материаловедении и технологии функциональных композитов на основе промышленных матриц и металлополимерных систем**

Для получения наноразмерных металлосодержащих частиц использовали прекурсоры – соли органических кислот, которые в определенном температурном диапазоне разлагаются с образованием наноразмерных продуктов. Разложение прекурсоров в полимерной матрице, находящейся в твердом или вязко-текучем агрегатном состоянии, обеспечивает защиту от окисления и интенсивное адсорбционное взаимодействие *in statu nascendi* частиц с активными центрами полимерных макромолекул с образованием металлополимерной наноструктуры.

Силикатсодержащие наночастицы из слоистых минералов типа глин, трепела, слюд предложено получать термическим ударом

механоактивированных частиц с градиентом температур 800–1000 °С, или частиц, модифицированных терморазлагающимися соединениями (карбонатами, формиатами, оксалатами металлов), или органическими продуктами, являющимися компонентами растительных масел.

Используя наноразмерные модификаторы различного строения и технологии получения – продукты взрывного синтеза (УДА, УДАГ), продукты газотермического синтеза политетрафторэтилена (УПТФЭ), коллоидный графит (КГП С-1), фторсодержащие олигомеры (Фолеокс, Эпилам), модифицированные силикаты (глины, шунгит, трепел), разработали практические методы реализации принципа многоуровневого модифицирования.

Формирование интегрированной надмолекулярной структуры нанокompозита путем введения в состав матричного связующего совокупности наночастиц одинакового или различного элементного состава и габитуса возможно путем использования продуктов взрывного синтеза УДАГ, представляющих собой смеси алмазоподобной, графитоподобной и сажеподобной модификаций углерода с различной формой, частиц слоистых силикатов и металлов (оксидов).

Сущность методологического принципа физической компатибилизации компонентов смесей состоит в установленном эффекте образования физических связей между активными центрами полимерных макромолекул и наноразмерными частицами. Благодаря этому возможно формирование надмолекулярных структур с участием различных макромолекул, что способствует повышению термодинамической совместимости полимерных смесей в вязко-текучем состоянии и образованию граничных слоев с более совершенной структурой. На основе данного методологического подхода разработан ряд составов функциональных нанокompозитов на основе полимерных компонентов с различной термодинамической совместимостью – полиамидов, полиэфиров, полиолефинов и т.д.

Принцип нецепной стабилизации полимерных моно- и смесевых матриц путем дезактивирования потенциальных центров деградации макромолекул в поверхностном слое или объеме изделия разработан на основе способности наноразмерных частиц к образованию физических связей, которые изменяют кинетику адсорбции кислорода и процессов окисления и деструкции. Технологические приемы введения наноразмерных частиц в структуру композиционных материалов или поверхностные слои изделий из них определяются условиями эксплуатации металлополимерной системы и параметрами ее эффективности и надежности.

Эффективным приемом является диффузионное модифицирование поверхностного слоя изделия с последующей термической фиксацией.

Развитие этих исследований показало, что в качестве стабилизаторов полимерных матриц могут быть использованы не только металлсодержащие, но и другие наночастицы, которые в наносостоянии вступают во взаимодействие с центрами макромолекул с образованием надмолекулярных структур различного типа.

Для повышения комплекса параметров эксплуатационных характеристик изделий, эксплуатируемых в экстремальных условиях (при воздействии повышенных температур, химических сред, отсутствии смазки и т.п.), эффективен методологический принцип активирования благоприятного превалирующего механизма межфазного взаимодействия путем формирования активного нанорельефа. Этот принцип в наибольшей мере интенсифицирует межфазное взаимодействие в композиционных материалах на основе высоковязких матриц (ПТФЭ, СВМПЭ) при их наполнении армирующими компонентами – фрагментами углеродных, стеклянных, оксалоновых, арамидных и др. волокон. Разработаны специальные технологические приемы формирования активного нанорельефа на поверхности таких фрагментов путем энергетической обработки, нанесения наноразмерных аппретов, металлизации поверхностного слоя.

Принцип ингибирования коррозионно-механического изнашивания и контактного разрушения металлополимерных систем путем введения в зону фрикционного контакта фторсодержащих соединений реализован при создании триботехнических композитов на основе термопластичных матриц (полиамидов, ПТФЭ) нанокomпозиционных покрытий, смазочных составов для тяжелонагруженных узлов трения.

Практическое апробирование методологических принципов реализации феномена наносостояния в материаловедении и технологии композитов и металлополимерных систем в виде функциональных материалов на основе полимерных матриц, покрытий и смазочных составов, осуществленное в металлополимерных системах различного назначения и конструктивного исполнения (автомобильных амортизаторах, тормозных камерах, карданных валах, регулирующей и запорной арматуре, технологической оснастке металлообрабатывающего оборудования), подтвердило адекватность и актуальность разработанных подходов для современного машиностроения. Для некоторых видов металлополимерных систем эффективным является сочетание нескольких методологических подходов, что позволяет в наиболее полной мере учесть многофакторное действие физико-химических, теплофизических, триботехнических и других процессов на требуемый эксплуатационный ресурс.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. // Экономический бюллетень научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь. – 2015. – №4(214). – С. 2–99.
2. Введение в физику нанокomпозиционных машиностроительных материалов / С. В. Авдейчик [и др.]; под науч. ред. В. А. Лиопо, В. А. Струка. – Гродно : ГГАУ, 2009. – 439 с.
3. Авдейчик, С. В. Фактор наносостояния в материаловедении полимерных нанокomпозитов / С. В. Авдейчик, В. А. Струк, А. С. Антонов. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Acad. Publ., 2017. – 468 с.
4. Машиностроительные фторкомпозицы: структура, технология, применение / С. В. Авдейчик [и др.]; под ред. В. А. Струка. – Гродно : ГрГУ, 2012. – 339 с.
5. Материаловедение и технология полимеров и композитов : учеб. пособие / В. А. Гольдаде [и др.]; под ред. В. А. Струка. – Гродно : ГрГУ, 2018. – 351 с.

УДК 678.046.3

**Хасанова А.Д., Вольфсон С.И., Казаков Ю.М.,  
Хусаинов А.Д., Куликов А.А.**

(Казанский национальный исследовательский  
технологический университет)

**Усс Е.П.**

(Белорусский государственный технологический университет)

### **ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИМЕРОВ НА СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ВУЛКАНИЗАТА НА ИХ ОСНОВЕ**

Термоэластопласты (ТЭП) обладают многими свойствами эластомеров, но перерабатываются как обычные термопластичные материалы. С точки зрения производства готовых изделий такие материалы обладают некоторыми экономическими, проекционными и технологическими преимуществами. Существует два типа смесей полиолефинов, которые по своей природе являются термоэластопластами: смесевые термоэластопласты и динамически вулканизованные термоэластопласты. В смесевых термоэластопластах непрерывной является как эластомерная, так и кристаллическая полиолефиновая фаза, при этом проявляющиеся

эластические свойства таких материалов зависят в основном от характеристик кристаллической полиолефиновой фазы. При переработке обе фазы подобных материалов подвергаются течению. С целью обеспечения эластичности материалу эластомерную фазу вулканизуют. Наилучшим способом получения композиций термоэластопластов, содержащих сшитые частицы эластомера в расплаве пластмассовой матрицы, является динамическая вулканизация в процессе которого получают материалы называемые термопластичными вулканизатами (ТПВ). В ТПВ частично кристаллизующаяся полиолефиновая фаза является непрерывной и окружает сшитую эластомерную фазу.

На сегодняшний день, повышенным спросом пользуются маслобензостойкие термопластичные вулканизаты. Такие материалы можно получить на основе смесей полиолефинов с диеновыми каучуками.

Известны комбинации полиолефинов таких как, полипропилен (ПП), полиэтилен (ПЭ) и т.д. с сополимером акрилонитрила и бутадиена [1-2], которые стали бы очень хорошим материалом, из которых можно было бы получить ТПВ стойкие к действию масел и топлива, если бы не слишком высокая взаимная нерастворимость, вследствие чего композиционный материал имеет невысокие деформационно-прочностные характеристики. В этой связи поиск полиолефинов, имеющие хорошую совместимость с бутадиен-нитрильным каучуком (БНКС) является актуальной задачей.

В настоящей работе представлены результаты исследований совместимости АБС-пластика с бутадиен-нитрильным каучуком с различным содержанием акрилонитрила с целью улучшения характеристик маслобензостойких ТПВ.

Исследования проводили на следующих объектах: бутадиен-нитрильный каучук с содержанием акрилонитрила 18, 28 и 40 масс. % (18 масс. % – БНКС - 18АН; 28 масс. % – БНКС -28 АН; 40 масс. % – БНКС - 40 АН) (ISO 5725-1-2002) (АО «Красноярский завод СК») и АБС-пластик марки 0646 (ISO 1043-1:2011) (ПАО «Нижне-камскнефтехим»).

Смешение полимерных компонентов проводили в расплаве с использованием смесительной камеры Measuring Mixer 350E и одношнекового экструдера Extruder Type 19/25 D фирмы Brabender Plasti-Corder®LabStation (Германия).

Для вулканизации каучуковой составляющей ТПВ использовали серную вулканизирующую систему.

Деформационно-прочностные свойства исследуемых композиций оценивали на разрывной машине Zwick Z 2,5 (Zwick GmbH & Co. KG) (ГОСТ 270-75). Сопротивление раздиру определяли на разрывной машине марки Zwick/Roell Z 2.5 согласно ISO 34-79. Твердость по Шору А определяли согласно ISO 7619-1-2009.

С целью улучшения физико-механических свойств маслобензостойких термопластичных вулканизатов необходимо было оценить степень совместимости бутадиен-нитрильного каучука с термопластами разной полярности. Для этого путем теоретического расчета были найдены параметр растворимости полимеров  $\delta$  и параметр совместимости  $\beta$ .

Параметр растворимости полимерных компонентов был рассчитан по методу Аскадского [5] (табл.1) по уравнению:

$$\delta^2 = \frac{\sum \Delta E_i^*}{N_A \times \sum \Delta V_i}, \quad (1)$$

где,  $\Delta E_i^*$  – вклад каждого атома и типа межмолекулярного взаимодействия в энергию когезии жидкости, уменьшенную во столько раз, во сколько Ван-дер-Вальсов объем молекулы меньше мольного объема;  $\Delta V_i$  – Ван-дер-Ваальсовый объем повторяющихся звеньев компонентов;  $N_A$  – число Авогадро, моль<sup>-1</sup>.

Согласно [3] условия смешения полиолефина с эластомером наиболее благоприятны, если энтальпия смешения стремится к нулю

$$\Delta H_c = V_c(\delta_1 - \delta_2)^2 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \quad (1),$$

что возможно при максимальной близости параметров растворимости смешиваемых компонентов  $\delta_1 \rightarrow \delta_2$ , и характеризуется параметром совместимости:

$$\beta = (\delta_1 - \delta_2)^2,$$

где  $\delta_1$  и  $\delta_2$  – параметры растворимости смешиваемых компонентов.

В таблице 1 приведены расчетные значения параметров растворимости и совместимости бутадиен-нитрильного каучука разной марки с термопластами разной полярности.

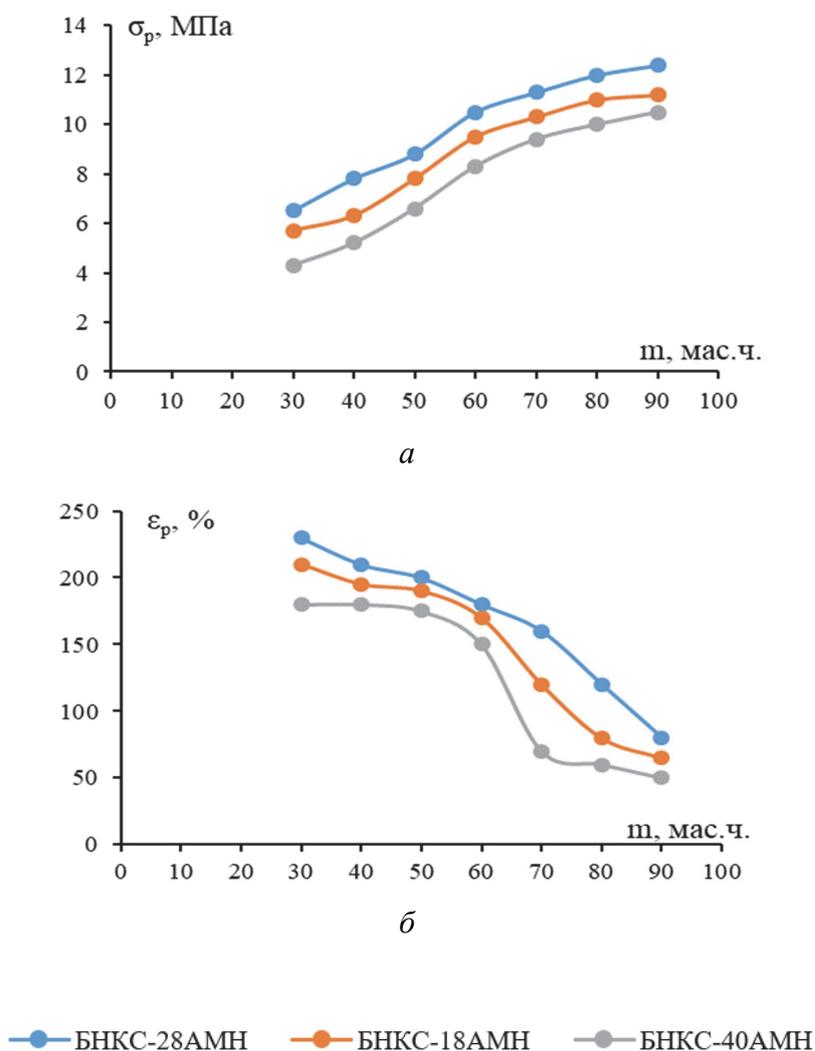
**Таблица 1 – Параметры растворимости  $\delta$  и совместимости  $\beta$  для системы бутадиен-нитрильный каучук – термопласт**

Материал	$\delta, (\text{МДж}/\text{м}^3)^{1/2}$	$\beta, \text{МДж}/\text{м}^3$		
		БНКС-18	БНКС-28	БНКС-40
Полипропилен	17,0	0,01	1,10	3,61
Полиэтилен	16,2	0,81	4,12	7,29
Полистирол	19,0	3,61	0,90	0,01
ПВХ	22,4	28,09	18,92	12,28
ПА-6	22,7	31,36	21,62	14,44
АБС-пластик	17,7	0,36	0,12	1,44

Совместимыми считаются системы, если величина  $\beta < 0,5 \text{ МДж}/\text{м}^3$ . Как следует из табл. 1 смесь АБС-пластика с БНКС-28 и БНКС-18 совместимы.

Из проведенных расчетов следует, что наилучшей совместимостью обладает система АБС-пластик с бутадиен-нитрильным каучуком с связанным акрилонитрилом 28 масс. %.

Литературные данные [4-5] показывают, что кроме совместимости полимерных компонентов деформационно-прочностные свойства зависят от соотношения смеси термопласта и эластомера. В связи с этим, были наработаны ТПВ с содержанием полиолефиновой фазы 30 – 90 мас.ч. и эластомерной фазы с различным содержанием связанного акрилонитрила. На рис.1 показаны зависимости условной прочности при разрыве (а) и относительного удлинения при разрыве (б) ТПВ с различным содержанием акрилонитрила в БНКС в зависимости от содержания эластомерной фазы.



**Рисунок 1 – Физико-механические свойства ТПВ на основе БНКС и АБС-пластика при различном содержании эластомерной и полиолефиновой фазы: а – условная прочность при разрыве; б – относительное удлинение при разрыве**

Результаты определения физико-механических свойств (рис.1) доказывают, что чем меньше значение  $\beta$ , тем выше значения прочности и относительного удлинения. С точки зрения технологических свойств при переработке ТПВ на экструзионной установке на образцах полученных на основе БНКС-40АМН наблюдалось расслаивание.

Как и ожидалось (рисунок 1), увеличение содержания полиолефиновой фазы в ТПВ приводит к повышению условной прочности и снижению относительного удлинения при разрыве.

Таким образом на наш взгляд из данных приведенных на рисунок 1, оптимальными упруго-прочностными показателями обладает композиция с использованием бутадиен-нитрильного каучука с содержанием связанного акрилонитрила 28 масс. % при соотношении фаз эластомер - термопласт (БНКС-28АМН / АБС-пластик) 70/30, соответственно.

В дальнейшем в производстве формовых и неформовых изделий на основе композиционных материалов такую композицию можно рекомендовать для изготовления изделий используемых в автомобильной промышленности к которым не предъявляются высокие требования по эластичности и работающие в контакте с агрессивными средами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Т.И. Мединцева, С.А. Купцов, А.И. Сергеев, Э.В. Прут Влияние состава вулканизирующей системы на структуру и свойства динамически вулканизированных смесей изотактического полипропилена и этиленпропиленового эластомера // Высокомолекулярные соединения. 2006. 48, № 9. С. 1616–1627.

2. А.Г. Карпов, А.Е. Заикин, Р.С. Бикмуллин. Получение сополимера на основе функционализированных полипропилена и нитрильного каучука в процессе их смешения // Вестник казанского технологического университета. 2008. 11, № 5. С. 124–129.

3. Шварц, А. Г. Совмещение каучуков с пластиками и синтетическими смолами / А. Г. Шварц, Б. Н. Динзбург. М.: Химия, 1972. 224 с.

4. Кресче Э. Смеси полимеров со свойствами термоэластопластов. М.: Мир, 1981. 328 с/

5. Хишева Д.М., Ахундова Ф.А., Огонян В.А., Алигулиев Г.Н, Структурные особенности полиолефиновых термоэластопластов // Композиционные полимерные материалы. 1985. №27. С. 3–8.

УДК 691.175.5/8

**Муртазина Л.И., Галимзянова Р.Ю., Хакимуллин Ю.Н.**

(Казанский национальный исследовательский  
технологический университет)

**Лешкевич А.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УРЕТАНОВЫХ ФОРПОЛИМЕРОВ С КОНЦЕВЫМИ ИЗОЦИАНАТНЫМИ ГРУППАМИ НА СВОЙСТВА ГЕРМЕТИКОВ НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНДИЕНОВОГО КАУЧУКА**

Герметики на основе этиленпропилендиенового каучука (СКЭПТ) обладая такими достоинствами как высокая стойкость к УФ-излучению, озону, отсутствие хладотекучести, имеют неудовлетворительную адгезию к большинству субстратов [1–6]. Использование в составе герметиков на основе СКЭПТ, например, уретановых олигомеров, позволит сочетать их свойства (высокую прочность и адгезию и) и выдающиеся свойства эластомера. И тем самым появляется возможность создать гибридные герметизирующие материалы для более жестких условий эксплуатации по сравнению с неотверждаемыми герметиками, что существенно расширяет области возможного их применения [7–10].

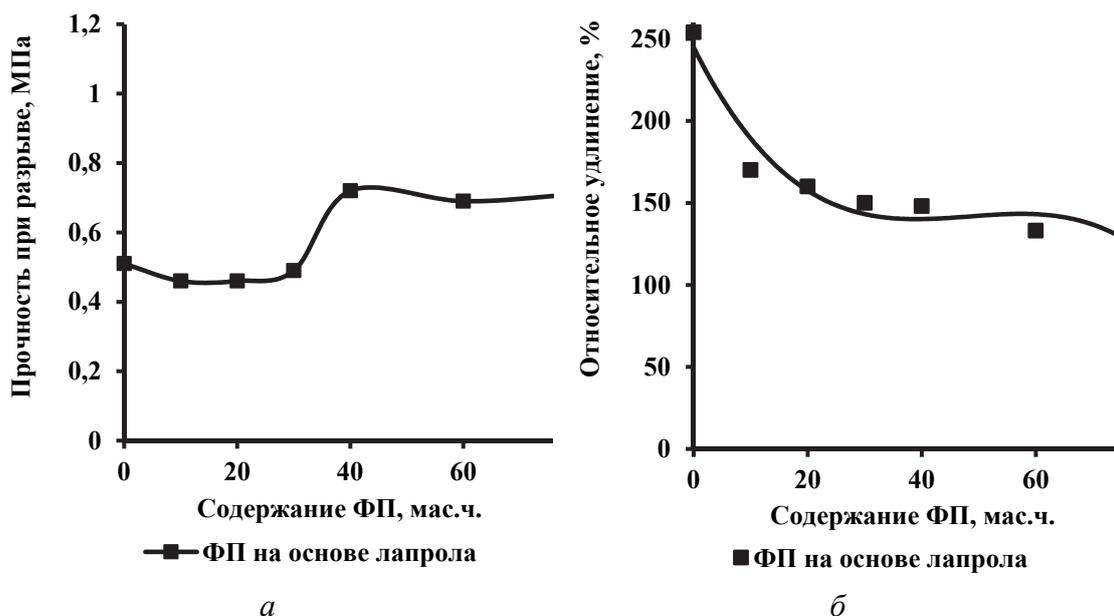
В связи с выше сказанным, целью данной работы являлось изучение влияние уретанового форполимера (ФП) с концевыми изоцианатными группами на свойства реакционноспособных герметиков на основе СКЭПТ.

В качестве РСО использовался уретановый форполимер на основе олигооксипропиленгликоля (лапрол 3003) с молекулярной массой 3000 г/моль и содержанием концевых изоцианатных групп равным 3,5 % масс.

Физико-механические свойства реакционноспособного термоплавого герметика на основе СКЭПТ представлены на рисунке 1.

Прочность композиций как в случае ФП на основе лапрола практически не изменяется до содержания в 30 мас. ч., а затем существенно повышается (примерно в 1,5 раза, относительно исходного значения, соответственно) за счет армирующего эффекта матрицы отвержденного форполимера.

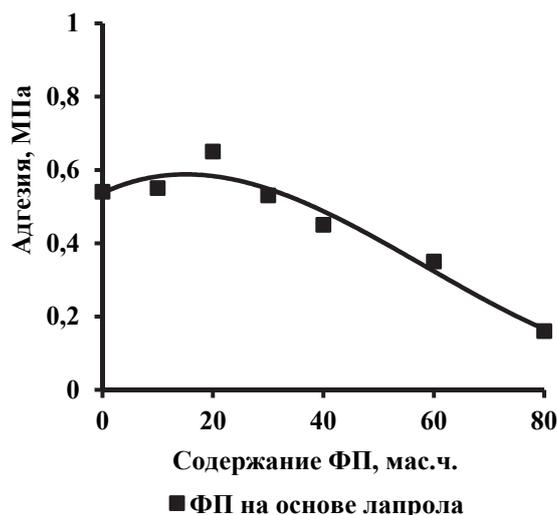
Относительное удлинение резко снижается в интервале дозировок 0–30 мас. ч. При дальнейшем увеличении содержания ФП существенных изменений не наблюдается.



**Рисунок 1 – Влияние содержания ФП на основе лапрола на физико-механические свойства:**  
*а* – прочность при разрыве;  
*б* – относительное удлинение композиций на основе СКЭПТ

Снижение относительного удлинения свидетельствует об образовании полувзаимопроникающей сетки отвержденного ФП в среде неотвержденной эластомерной фазы (СКЭПТ). Прочность адгезионного соединения несколько повышается при содержании до 20 мас.ч. ФП, затем следует резкое снижение (рисунок 2). Характер разрыва сменяется с когезионного на смешанный при 20 мас.ч, а затем и на адгезионный при 40 мас.ч. ФП. По-видимому, это связано с тем, что в данной системе протекают 2 конкурирующие реакции: структурирования ФП и взаимодействия с субстратом. При небольшом содержании, молекулы ФП оказываются изолированными и не могут взаимодействовать друг с другом, поэтому превалирует реакция взаимодействия с субстратом, при увеличении содержания появляется возможность взаимодействия молекул ФП друг с другом, реакция структурирования начинает преобладать.

Оценивалась вязкость неотвержденных композиций на основе СКЭПТ) при температурах переработки – 130 °С и 180 °С. Зависимость вязкости от скорости сдвига и температуры косвенно свидетельствует о технологичности композиции, о том, как она будет вести себя в условиях механизированной переработки. В результате исследования установлено, что ФП значительно снижает вязкость композиций, что связано с эффектом «временной пластификации» ФП-ром в неотвержденном состоянии.



**Рисунок 2 – Влияние содержания ФП на основе лапрола и полифурита на адгезию к дюралюминию композиций на основе СКЭПТ**

В результате проведенных исследований установлено, что использование уретанового форполимера на основе лапрола позволяет улучшить деформационно-прочностные свойства, регулировать адгезию композиций. Более высокий уровень свойств композиций достигается за счет отверждения РСО и образования полувзаимопроникающей сетки РСО в среде эластомера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Муртазина Л.И., Гарифуллин А.Р., Никульцев И.А., Галимзянова Р.Ю., Хакимуллин Ю.Н. Неотверждаемые герметики высокого наполнения на основе этиленпропилендиенового каучука / Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 24. С. 71–73.
2. Муртазина Л.И., Гарифуллин А.Р., Никульцев И.А., Галимзянова Р.Ю., Хакимуллин Ю.Н. Влияние технологических добавок на свойства неотверждаемых герметиков на основе этиленпропилендиенового каучука / Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 1 (31). С. 134–141.
3. Имамутдинов И.В., Галимзянова Р.Ю., Хакимуллин Ю.Н. Герметики на основе эластомеров / Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. № 6. С. 69–74.
4. Лисаневич М.С., Галимзянова Р.Ю., Хакимуллин Ю.Н. Герметизирующие материалы на основе полимеров: рынок, классификация: обзор / Вестник Технологического университета. 2020. Т. 23. № 1. С. 46–54.
5. Галимзянова Р.Ю., Лисаневич М.С., Хакимуллин Ю.Н., Потешкин Д.Л. Невысыхающие герметики на основе эластомеров. Обзор / Клеи. Герметики. Технологии. 2017. № 5. С. 38–43.

6. Хакимуллин Ю.Н., Галимзянова Р.Ю., Куркин А.И. Герметизирующие материалы на основе эластомеров в строительстве / Полимеры в строительстве: научный интернет-журнал. 2014. № 1 (1). С. 126–149.

7. Муртазина Л.И., Никульцев И.А., Галимзянова Р.Ю., Хакимуллин Ю.Н. Реактивные термоплавкие герметики на основе этиленпропилендиенового каучука и уретановых олигомеров с концевыми силанольными группами / В книге: Олигомеры-2015. сборник тезисов докладов V Международной конференции-школы по химии и физикохимии олигомеров. отв. редактор М. П. Березин. 2015. С. 170.

8. Галимзянова Р.Ю., Имамутдинов И.В., Лисаневич М.С., Муртазина Л.И., Хакимуллин Ю.Н. Реактивные термоплавкие герметики на основе эластомеров / В сборнике: Олигомеры - 2017. Сборник трудов XII Международной конференции по химии и физикохимии олигомеров. Ответственный редактор М.П. Березин. 2017. С. 123.

9. Галимзянова Р.Ю. Неотверждаемые герметизирующие композиции на основе бутилкаучука: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Казанский государственный технологический университет. Казань, 2008

10. Лисаневич М.С., Галимзянова Р.Ю., Русанова С.Н., Хакимуллин Ю.Н., Стоянов О.В. Термоплавкие герметики отверждаемого типа на основе бутилкаучука и сополимера этилена с винилацетатом / Клеи. Герметики. Технологии. 2018. № 4. С. 9-12.

УДК 678.07

**Горбачев А.В., Файзуллин И.З.,  
Вольфсон С.И., Казаков Ю.М.**

(Казанский национальный  
исследовательский технологический университет)

**Петрушеня А.Ф.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА  
И МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ  
НАПОЛНИТЕЛЕЙ**

Главной задачей развития полимерных композиционных материалов с лигноцеллюлозными наполнителями на данный момент является улучшение их характеристик [1]. В связи с ограничениями поставок совместителей, предназначенных для улучшения совмещения

лигноцеллюлозных наполнителей и полимеров, в России является важной задачей внедрять альтернативные решения повышения физико-механических и эксплуатационных свойств полимерных композитов. Механо-биохимическая модификация позволяет комплексно воздействовать на лигноцеллюлозный наполнитель, тем самым увеличивая связь между полимером и наполнителем, повышая физико-механические свойства композита [2–3]. Также представляется возможным использование в качестве наполнителя отходов агро-лесопромышленных комплексов (рисовая шелуха, древесная мука) [4]. Данный вид сотрудничества позволит уменьшить затраты на наполнитель при производстве древесно-полимерных композитов и улучшить экологическую обстановку.

Таким образом, модификация наполнителей является актуальной задачей для получения композиций с улучшенными эксплуатационными свойствами. В этой связи, в данной работе проведены исследования, направленные на получения композиций на основе полипропилена и модифицированных лигноцеллюлозных наполнителей на основе агро- лесопромышленных комплексов.

В качестве полимерного связующего для получения композиционных материалов был использован полипропилен марки PP 4215M производства ПАО «СИБУР холдинг». В качестве лигноцеллюлозного наполнителя использовались древесная мука лиственной породы с размером частиц 0,18 мм и рисовая шелуха с размером частиц 1 мм. Основываясь на данных, полученных в ходе научно-технического и патентного обзора, дозировка наполнителя в композициях была фиксированной и составляла 50 % мас., так как эта дозировка является предпочтительной с практической точки зрения для производителей [5]. Механо-биохимическая модификация наполнителя проводилась в водной среде при высокосдвиговых усилиях. Получение композиционных материалов, осуществлялось с использованием двухроторного смесителя закрытого типа «Measuring Mixer 350E» лабораторной станции «Lab-Station» (Brabender, Германия) при числе оборотов ротора 60 об/мин. Температура смешения составляла 180 °С, продолжительность смешения 11 минут. Образцы для испытаний готовились на инъекционно-литьевой машине Krauss Maffei ClassiX CX 50–180. Давление впрыска составляла 110 МПа, температура по зонам –  $T_1=185$  °С,  $T_2=195$  °С,  $T_3=205$  °С,  $T_4=210$  °С. Характеристики композиционных материалов на основе полипропилена и лигноцеллюлозных наполнителей представлены в таблице 1.

Из данных таблицы 1 видно, что композиции с модифицированным наполнителем имеют улучшенные физико-механические и

эксплуатационные характеристики, а именно прочность при растяжении, модуль упругости, показатель ударной вязкости, что связано с уменьшением частиц наполнителя и удалением полярных компонентов из волокон благодаря биохимической модификации с высокосдвиговыми усилиями, тем самым снижая полярность волокон и улучшая взаимодействие с полипропиленовой матрицей.

**Таблица 1 – Характеристика композиционного материала на основе полиолефинов и лигноцеллюлозных наполнителей**

Показатель, ед. изм.		Вид растительного наполнителя	Значения	
			контроль	контроль + модификация
Прочность при растяжении, МПа		ДМ	28,48	31,91
		РШ	18,9	21
Модуль упругости при изгибе, МПа		ДМ	4378	4791
		РШ	2850	2850
Ударная вязкость, J/м <sup>2</sup>	+ 23 °С	ДМ	7,6	8,7
		РШ	8,6	9,5
	- 40 °С	ДМ	6,3	7,7
		РШ	6	7,2
Показатель текучести расплава, гр /10 мин		ДМ	4,61	1,35
		РШ	4	2,5
Твердость по Шор Д, усл. ед.		ДМ	71,2	72
		РШ	71,6	72
Водо-поглощение	2 часа при 100 °С, %	ДМ	1,3	0,9
		РШ	1,1	1,0
	14 суток при 23 °С, %	ДМ	3,5	2,6
		РШ	2,5	1,8

Как следует из данных таблицы 1, при введении модификатора показатель текучести расплава у композиции с древесной мукой уменьшается на 70 %, а у композиции с рисовой шелухой уменьшается на 40 %. Предположительно, уменьшение показателя текучести при модификации коррелирует с уменьшением частиц лигноцеллюлозных наполнителей. При исследовании зависимости показателя поглощения воды при 100 °С в течение 2 часов, у образцов с модифицированной древесной мукой – водопоглощение снизилось на 30 %, а с модифицированной рисовой шелухой данный показатель снизился на 10 % по отношению к контрольному образцу. Благодаря способности целлюлозы впитывать воду в два раза больше своей массы, вероятно,

показатель водопоглощения коррелирует с содержанием целлюлозы в растительных наполнителях: в древесной муке содержание целлюлозы 43 %, в рисовой шелухе 31 %. При исследовании зависимости показателя поглощения воды при 23 °С в течение 14 суток у композиций с модифицированной рисовой шелухой – водопоглощение снизилось на 28 %. Модификация поверхности древесной муки позволяет уменьшить водопоглощение на 21 % относительно не модифицированных образцов.

Таким образом, установлено, что механо-биохимическая модификация растительного наполнителя позволяет улучшить физико-механические и эксплуатационные свойства композиций на основе полипропилена и значительно уменьшить водопоглощение. Также было выяснено, что оптимальным наполнителем для лигноцеллюлозного полимерного композита является древесная мука. Дальнейшее исследование необходимо направить на оптимизацию механизма механо-биохимической модификации для каждого вида наполнителя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Fayzullin I. Z. et al. Influence of the type of wood flour and nanoadditives on the structure and mechanical properties of polypropylenebased wood-polymer composites //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2016. – Т. 1785. – №. 1. – С. 040098.

2. Prá Andrade M., Poletto M. Wood Treatments and Interfacial Bonding in Wood-Plastic Composites //Wood Polymer Composites. – Springer, Singapore, 2021. – С. 43–65.

3. Горбачев А.В., Файзуллин, И. З. Вольфсон, С. И. Канарский, А. В. Захаров, И. В. Биохимическая модификация растительного наполнителя и разработка полимерного композиционного материала на основе полипропилена и модифицированного наполнителя // Технология органических веществ. – 2021. – № 85. – С. 225–226.

4. Файзуллин И. З., Мусин И. Н., Вольфсон С. И. Влияние размера частиц наполнителя на свойства древесно-полимерных композиций // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – №. 5. – С. 106–109.

5. Сулейманова Д.Ф., Газизов М.А., Каримов И.Р., Гизатуллина Л.И., Ахметова Д.А. Технология производства древесно-полимерного композита на основе термомодифицированной муки // Лесозащита и комплексное использование древесины. – Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. – 2020. – С. 197–201.

УДК 678.07

**Сиразетдинов А.В., Хисамиева Д.Р., Галимзянова Р.Ю.,  
Никифоров А.А., Хакимуллин Ю.Н.,  
Вольфсон С.И., Казаков Ю.М.**

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

**Касперович О.М.**

(Белорусский государственный технологический университет)

## **ВЛИЯНИЕ СОРБИТА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ КРАХМАЛА**

В последние годы проводятся интенсивные исследования в области изучения биоразлагаемых полимерных композиций на основе крахмала. Крахмал возобновляемый, дешевый, широкодоступный полимер, что делает его выгодным сырьевым материалом в различных областях деятельности человека. Однако нативный крахмал не является истинным термопластом, поэтому должен быть пластифицирован перед переработкой и формованием [1].

Пластифицированный крахмал, также известный как термопластичный крахмал (ТПК), производится путем структурного разрушения крахмала в присутствии пластификатора. Крахмал в присутствии пластификатора при высокой температуре (90—180 °С) и сдвиге переходит в вязкотекучее состояние, позволяя его использовать на литьевом, экструзионном и раздувном оборудовании, применяемом для синтетических пластмасс. В качестве пластификаторов применяются вода, глицерин, сорбит, этиленгликоль, лимонная кислота и др. [2].

Практической проблемой активного применения термопластичного крахмала является рекристаллизация (ретроградация) крахмала с течением времени, поскольку она влияет на качество и срок службы конечных продуктов. Скорость ретроградации зависит от типа используемого пластификатора при получении ТПК. Наиболее выгодным для применения пластификатором является глицерин из-за его высокой температуры кипения, низкой стоимости, высокой растворимости в цепях крахмала и доступности, однако, ТПК на основе глицерина имеет высокую скорость ретроградации [3].

Среди не токсичных пластификаторов сорбит представляется наиболее эффективным по сравнению с глицерином, поскольку замедляет скорость ретроградации, а также улучшает термическую стабильность, повышает предел прочности при растяжении и модуль упругости. Однако ТПК на основе сорбита демонстрирует хрупкое разрушение наряду с низким удлинением и ударной вязкостью [4].

Производство термопластичного крахмала с двумя и более пластификаторами может компенсировать недостатки каждого из них и выделить преимущества для получения оптимального состава ТПК. В связи с чем, в настоящее время актуальным является проведение исследований над сопластификацией крахмала.

Цель работы – изучить влияние сорбита на физико-механические свойства термопластичной композиции на основе крахмала и глицерина.

Кукурузный крахмал высший сорт производства ООО «Крахмальный завод Гулькевичский» (Россия, Москва), картофельный крахмал высший сорт производства ООО «Гарнец» (Россия, Владимир), амилопектиновый крахмал производства ООО «Генетиклаб» (Россия, Санкт-Петербург). Глицерин марки ПК-94 АО «Нэфис Косметикс» (Россия, Казань). Сорбит производства ООО «Сладкий мир» (Россия, Нижний Новгород).

ТПК получали путем смешения разных видов нативного крахмала (кукурузный, картофельный и амилопектиновый) в роторном смесителе Brabender при 80 об/мин при температуре 140 °С в течение 12 минут. В первом способе нативный крахмал смешивали только с сорбитом в пропорциях 70/30, 60/40 и 50/50 соответственно. Во втором способе нативный крахмал смешивали с глицерином и сорбитом в соотношениях 60/30/10, 60/20/20, 60/10/30.

Методы исследования.

Показатель текучести расплава. Измерение показателя текучести расплава проводили на установке ИИРТ-5 в соответствии с ГОСТ 11645-2021 воздействием груза 2,16 и 10 кг соответственно при температурах 190 °С и 140 °С.

Прочность при растяжении. Прочность при растяжении образцов определяли на разрывной машине Zwick/Roell/ BT1-FR2.5TH.140 при температуре 23±2 °С, в соответствии с ГОСТ Р 11262-2017. Скорость движения зажима – 10 мм/мин.

Результаты и их обсуждение.

Физико-механические свойства исследуемых композиций на основе крахмалов различных, пластифицированные сорбитом и глицерином, имели отличные друг от друга свойства. Выявлено что ТПК с сорбитом имеет гораздо большие прочностные свойства чем наполненный глицерином, но имеет меньшую упругость, материал ещё теряет свою технологичность и способность перерабатываться способами традиционных полимеров. Так же при увеличении содержания сорбита в кукурузном крахмале повышается вязкость. Было установлено что смеси композита ТПК, на амилопектиновом крахмале (60/30/10) имеют лучшие показатели среди остальных композитов на ТПК в случае прочности на разрыв (4,33 МПа), а также имеет средние, либо выше средних результаты на показатели текучести расплава (3,99 г/10 мин.).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кряжев, В.Н. Последние достижения химии и технологии производных крахмала/В.Н. Кряжев, В.В. Романов, В.А. Широков //Химия растительного сырья. – 2010. – №1. – С. 5–12.
2. Подденежный, Е. Н. Прогресс в получении биоразлагаемых композиционных материалов на основе крахмала (обзор)/ Е. Н. Подденежный, Бойко А. А., Алексеенко А. А., Дробышевская Н. Е., Урецкая О. В. // Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого: научно - практический журнал. – 2015. – № 2. – С. 31–41.
3. Schmitt, H. Studies on the effect of storage time and plasticizers on the structural variations in thermoplastic starch / H. Schmitt, A. Guidez, K. Prashantha, J. Soulestin, M.F. Lacrampe, P. Krawczak // Carbohydrate Polymers. – 2015. – Vol. 115. – P. 364–372.
4. Esmaeili, M. Optimizing the mechanical and physical properties of thermoplastic starch via tuning the molecular microstructure through coplasticization by sorbitol and glycerol / M. Esmaeili, G. Pircheraghi, R. Bagheri // Polymer International. – 2017. – Vol. 66. – № 6. – P. 809–819.

УДК 678.4

**Панфилова О.А., Мухаметханов И.И., Охотина Н.А.,  
Вольфсон С.И., Казаков Ю.М.**

(Казанский национальный  
исследовательский технологический университет)

**Шашок Ж.С.**

(Белорусский государственный технологический университет)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ШИННОГО РЕГЕНЕРАТА ПРОИЗВОДСТВА ООО «БОНУС-КАМА» В РЕЦЕПТУРАХ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Общемировые запасы отработавших автомобильных шин составляют около 25 млн т при ежегодном приросте не менее 7 млн т.

Из этого количества в мире только 23 % отработавших шин находят применение, а оставшиеся 77 % хранят как на полигонах, предназначенных для отработавших автошин, так и на смешанных свалках с другими отходами. В случае возникновения возгорания на подобных местах складирования возникают масштабные пожары, которые сложно потушить из-за хорошей горючести шин.

Разработан ряд методов утилизации автомобильных шин и других изношенных резинотехнических изделий, но, поскольку основным и

наиболее ценным для дальнейшего использования компонентом изношенных покрышек является резина, большое внимание уделено разработке методов регенерации резин. Сущность большинства методов заключается в процессе девулканизации, то есть в разрушении вулканизационной сетки резины [1].

Конечный продукт девулканизации изношенных шин – регенерат – представляет собой пластичную крошку, которая может использоваться, как в основном производстве резиновых изделий, так и для получения других материалов, для частичной замены исходного каучукового сырья [2]. В зависимости от сферы эксплуатации конечного изделия содержание регенерата может составлять от 5 % для ответственных изделий и до 50 % и выше для изделий неответственного назначения.

В ООО «Бонус-Кама» (г. Менделеевск, Респ. Татарстан, РФ) реализована переработка изношенных цельнометаллокордных резиновых покрышек, заключающаяся в освобождении их от обода и металлокордных слоев и измельчении с дальнейшей термомеханической девулканизацией крошки.

К регенерату для использования в составе резиновых смесей предъявляется ряд требований, в частности – отсутствие включений и определенные значения вязкости по Муни. Этот показатель обуславливает технологические свойства регенерата.

На первом этапе работ была проведена сравнительная оценка свойств регенератов ООО «Бонус-Кама», полученных в разных температурных условиях (табл. 1).

**Таблица 1 – Температурные режимы получения регенерата**

Температурный режим получения, °С	Регенерат ООО «Бонус-Кама»		
	№ 1	№ 2	№ 3
	145–150	165–170	165-170 (+ модификатор)

Согласно результатам испытаний (табл. 2), регенераты ООО «Бонус-Кама» имеют низкую вязкость по Муни, что может приводить к залипанию на валках и роторах смесительного оборудования. Для исследований на первом этапе был выбран регенерат № 3, как имеющий более высокое значение условной прочности при растяжении.

Образцы регенерата № 3 были исследованы в составе резиновой смеси на основе комбинации бутадиен-стирольного и бутадиенового каучуков. Регенерат вводился при изготовлении смесей как на вальцах, так и в смесительной камере пластикордера Brabender путем частичной замены каучукового сырья (заменяли 30, 50 и 70 % мас. каучука).

Отмечено, что в случае максимального содержания регенерата резиновые смеси имели повышенную липкость, что затрудняло процесс их изготовления. Согласно оценке реометрических характеристик полученных резиновых смесей, увеличение дозировки регенерата приводит к заметному сокращению продолжительности индукционного периода, оптимального времени вулканизации и, соответственно, увеличению скорости вулканизации.

Введение и увеличение дозировки регенерата отразилось и на уровне деформационно-прочностных свойств вулканизатов (табл. 3). Так, наблюдается снижение условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве с одновременным возрастанием твердости.

**Таблица 2 – Сравнительные свойства регенератов**

Показатель	РШТ Чехов	ООО «Бонус-Кама» № 1	ООО «Бонус-Кама» № 2	ООО «Бонус-Кама» № 3
Условная прочность при растяжении, МПа не менее	4,9	4,3	4,0	5,6
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	270	170	150	100
Вязкость по Муни, МБ 1+4 (100 °С), ед. Муни	30±10	19	18	18

**Таблица 3 – Деформационно-прочностные свойства вулканизатов резиновых смесей, содержащих регенерат № 3 (ООО «Бонус-Кама»)**

Показатели	Содержание регенерата, % мас.			
	0	30	50	70
Условная прочность при растяжении, МПа	9,5	9,1	7,5	6,4
Относительное удлинение при разрыве, %	250	170	140	120
Относительное остаточное удлинение, %	7	6	6	6
Твердость, ед. Шор А	77	83	84	87

Результаты проведенных испытаний показали возможность частичной замены исходного каучукового сырья в составе резиновых смесей на регенерат производства ООО «Бонус-Кама». Полученные результаты основных испытаний вулканизатов, содержащих регенерат, свидетельствуют о возможности введения до 70 % мас. регенерат в состав резиновых смесей для изделий неответственного назначения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рециклинг эластомеров: учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров» / Е. И. Щербина, Р. М. Долинская. – Минск : БГТУ, 2011 – 83 с.

2. Технология резиновых изделий: Учеб. пособие для вузов/ Ю.О. Аверко-Антонович, Р.Я. Омельченко, Н.А. Охотина, Ю.Р. Эбич / Под ред. П.А. Кирпичникова. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.

УДК 678.7-139-9

**Охотина Н.А., Панфилова О.А., Назипов И.И.**

(Казанский национальный  
исследовательский технологический университет)

**Долинская Р.М.**

(Белорусский государственный технологический университет)

### **ВЛИЯНИЕ ТИПА ПОЛИОЛЕФИНА НА СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО И БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКОВ**

Смесевые термоэластопластичные материалы (ТЭП), получаемые смешением каучуков и пластиков в присутствии вулканизирующих систем, называются термопластичными вулканизатами (ТПВ). Они представляют собой дисперсию вулканизованных частиц эластомера в термопластичной матрице, поэтому способны плавиться при переработке и приобретать свойства резин при охлаждении. Несомненным достоинством является также способность сохранять прочностные свойства после вторичной обработки, в том числе и многократной [1].

ТПВ на основе крупнотоннажных каучуков (изопренового, бутадиен-стирольного, бутадиен-нитрильного) и термопластов (полиэтилена (ПЭ), полипропилена (ПП)) изучены достаточно хорошо [2]. Показано, что для всех типов каучуков лучшие свойства имеют композиты, полученные при соотношении эластомерной и термопластичной фаз 60:40 и 70:30 мас. ч., а для улучшения упруго-прочностных свойств необходимо использовать компатибилизаторы, улучшающие совмещение термопластов и каучуков. Установлено также, что в случае эластомерной фазы на основе разнополярных каучуков, необходимо использовать добавки, влияющие на их взаимное распределение [3].

В настоящей работе представлены результаты сравнительного исследования влияния полипропиленов и полиэтиленов различной структуры на свойства термопластичных вулканизатов на основе бутадиен-стирольного СКМС-30 АРКМ-15 и бутадиен-нитрильного БНКС-28АМН каучуков. Так, в случае полипропилена сравнивались экструзионные марки – изотактический полипропилен (ПП Бален), статистические сополимеры пропилена и этилена (ПП Sibex, ПП НКНХ) и литьевая марка ПП Lukoil. При исследовании в качестве термопластичной фазы полиэтиленов были изготовлены ТПВ на основе полиэтиленов высокой плотности (ПЭ Казпелен 273-83, Снолен EP 0,26/51; линейных полиэтиленов низкой плотности LLDPE Sabic 118NJ, Sabic 318BJ, mLLDPE Ineos Eltex PF 6212 AA (получен на металлоценовом катализаторе); сшитые полиэтилены высокой плотности mHDPE Lucene SL 188, Lupolen. Линейные полиэтилены низкой плотности являются сополимерами полиэтилена с бутеном, гексеном или октеном; полимеризация на металлоценовых катализаторах с одним центром полимеризации позволяет регулировать структуру полимера [4]. Термопластичные вулканизаты изготавливались в смесительной камере пластикордера Брабендер в две стадии, на первой стадии получалась резиновая смесь с вулканизирующей системой, а на второй стадии при температуре расплава полиолефина резиновая смесь смешивалась с компонентами термопластичной фазы в присутствии малеинизированных совместителей. Процесс получения ТПВ контролировался по пластограмме смешения, затем материал экструдировался через плоскощелевую головку приставки пластикордера, и из полученных лент вырубались образцы для испытаний.

Результаты проведенных испытаний показали, что в композитах с термопластичной фазой на основе пропиленов, лучшим сочетанием прочности и эластичности обладают ТПВ на основе бутадиен-стирольного каучука (условная прочность порядка 10 МПа при удлинении до 500 %) по сравнению со смесями на основе бутадиен-нитрильного каучука (примерно тот же уровень прочности, но относительные удлинения не выше 100 %). Отмечено, что лучше экструдироваться композиты на основе ПП с более высокими значениями показателя текучести расплава.

При использовании в качестве термопластичной фазы полиэтиленов, а эластомерной фазы на основе каучука СКМС-30 АРКМ-15 в одинаковых режимах были получены термопластичные вулканизаты с достаточно высоким уровнем свойств, несмотря на структурные различия полиэтиленов (высокая или низкая плотность, поли- или бимодальное распределение, наличие коротких ветвей, в случае 1-алкеновых сомономеров). Некоторые

трудности в смешении и экструдировании отмечались в случае сшитых полиэтиленов.

При получении ТПВ на основе каучука БНКС-28 АМН и всех марок полиэтилена при смешении особых проблем не возникло, но полученные композиты не удалось нормально экструдировать даже при изменении температурного режима и скорости вращения шнека экструдера, ленты выходили из фильеры рваными и шероховатыми кусками, с закрученными в рог заусенцами по бокам.

В предыдущих исследованиях ТПВ на основе нитрильных каучуков и полипропилена [5] нами было отмечено улучшение свойств ТПВ при введении сополимера этилена с винилацетатом (СЭВА), в частности Сэвилена 11808-340. Поэтому при получении ТПВ на основе каучука БНКС-28 АМН на первой стадии в резиновые смеси было введено от 4 до 10 мас. ч. СЭВА. Оказалось, что введение 4-6 мас. ч. СЭВА положительно отразилось как на второй стадии смешения, так и на экструдировании: образцы получались гладкими за счет лучшего распределения эластомерной части в объеме термопласта. Результаты испытаний показали, что введение СЭВА не влияет на прочность ТПВ при содержании 4-6 мас. ч. при одновременном возрастании показателей относительного удлинения. Повышение дозировки СЭВА приводит к снижению прочностных показателей. Положительное влияние СЭВА отмечено для ТПВ с соотношениями каучуков и термопластов 70:30 и 60:40.

Одним из преимуществ термоэластопластичных материалов, в том числе динамически вулканизованных, является возможность повторной переработки, как отходов основных производств, так и бракованных и изношенных изделий методами экструдирования или литья под давлением.

Для оценки степени изменения свойств разработанных ТПВ при многократной обработке, была проведена пятикратная переработка композитов через экструзионную приставку «Extruder Type 19/25 D» пластикордера «Plasti-Corder® Lab -Station». Результаты испытаний ТПВ на основе разных каучуков и термопластов (60:40) представлены в таблице 1.

Для имитации поведения отработанных изделий при вторичной переработке условия повторной переработки были ужесточены: часть образцов подвергали четырехкратному последовательному экструдированию, а часть образцов перед каждым циклом экструдирования выдерживали в термостате при 120°C в течение 8 часов (общее время старения 32 часа).

**Таблица 1 – Влияние 5-ти кратной переработки на свойства ТПВ**

Показатели	Количество обработок				
	1	2	3	4	5
СКМС-30 АРКМ-15, ПЭ Казпелен 273-83					
Условная прочность при разрыве, МПа	9,2	9,6	9,6	9,5	9,0
Относительное удлинение при разрыве, %	457	480	493	460	440
СКМС-30 АРКМ-15, ПП Бален					
Условная прочность при разрыве, МПа	7,5	7,9	7,9	7,8	7,3
Относительное удлинение при разрыве, %	509	532	545	512	492
Относительное остаточное удлинение, %	142	152	154	136	130
БНКС-28 АМН, ПП Lukoil, СЭВА					
Условная прочность при разрыве, МПа	7,25	7,16	7,02	7,21	7,18
Относительное удлинение при разрыве, %	209	205,2	210	199	193
Относительное остаточное удлинение, %	40	41	37	34	35

Результаты испытаний показали, что разработанный материал сохраняет высокий уровень свойств: степень снижения показателей по прочности не превышала 14-15 %, а по относительному удлинению – 20-25 %. Такой высокий уровень сохранения свойств, вероятно, является следствием протекания дополнительной гомогенизации, упорядочения структуры материала, поствулканизации за счет 1,2-структур бутадиеновых звеньев сополимерных бутадиен-стирольного и бутадиен-нитрильного каучуков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Холден, Д., Крихельдорф, Х.Р., Куирк Р.П.. Термоэластопласты. ЦОП «Профессия». СПб. 2011. 720 с.
2. Вольфсон, С.И. Динамически вулканизированные термоэластопласты: получение, переработка, свойства. Наука. Москва, 2004. 170 с.
3. Свойства термопластичных вулканизатов на основе полипропилена и комбинации каучуков различной полярности / О.А. Панфилова [и др.] // Каучук и резина, 2018. Т. 77. № 2. С. 82-85.
4. Ethylene Polymers, LLDPE / Simpson, D.M., Vaughan, G. A. // Encyclopedia of Polymer Science and Technology, 2003. Vol. 2. P. 441–482.
5. Влияние сополимеров этилена с винилацетатом на свойства термопластичных вулканизатов на основе нитрильного каучука и полипропилена// Н.А. Охотина [и др.] // Вестн. Казан. технол. ун-та., 2019. Т. 22. № 124. С. 82-84.

УДК 54.064

**Лапекин Н.И., Ануфриева Т.В., Литвинова В.И., Баннов А.Г.**  
(Новосибирский государственный технический университет)

**Вишневская Т.А.**  
(Белорусский государственный технологический университет)

## **ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НАНОВОЛОКНИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Разработка эффективных методов быстрого и селективного детектирования опасных и токсичных газов в промышленности и быту представляет интерес с точки зрения охраны окружающей среды, промышленной безопасности и охраны труда [1].

Благодаря надежности и точности одним из способов детектирования опасных газов в воздухе является газовая хроматография–масс-спектрометрия. Однако данный метод имеет ряд недостатков, таких как высокая стоимость и громоздкость оборудования. Также данный метод препятствует мониторингу и анализу содержания газов в воздухе в режиме реального времени. Поэтому создание сенсоров, работающих при комнатной температуре, является актуальной задачей для разработки мобильных устройств анализа газов, присутствующих в воздухе [2].

Наноструктурные материалы имеют колоссальное значение с научной и практической точек зрения, ввиду уникальных физико-химических свойств, которые проявляются в процессе изменения размера частиц. Размерный эффект проявляется в изменении магнитных, электро- и теплопроводящих свойствах, а также в изменении значений температуры плавления, диэлектрической постоянной.

К числу перспективных наноматериалов можно отнести углеродные нановолокна (УНВ). УНВ в сенсорах могут быть реализованы, как в виде пленок, так и в виде компактов. Метод получения активного слоя материала в значительной степени оказывает влияние на характеристики газовых сенсоров.

В данной работе были получены сенсоры на основе углеродных нановолокон с различной удельной площадью поверхности. Активный слой сенсоров был нанесен на диэлектрическую подложку с медными контактами методом drop casting. УНВ были синтезированы путем каталитического разложения метана в проточной установке. Катализатор, содержащий 90Ni-10Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (масс. %), использовали в реакции при температуре 535 °С и диапазоне давления от 1 до 5 атм. Суспензия УНВ (< 100 мкм) была приготовлена путем диспергирования в растворе этанола в ультразвуковой ванне мощностью 85 Вт и частотой 22 кГц в течение 20 мин.

Исследования свойств сенсоров проводили в установке динамического типа. Установка включала в себя каналы подачи аналитов и газаносителя. В качестве газаносителя использовался синтетический воздух, содержащий 21% O<sub>2</sub>, 79% N<sub>2</sub> (об. %). Смесь диоксида азота (5000 ppm NO<sub>2</sub> в воздухе) и аммиака (5000 ppm NH<sub>3</sub> в воздухе) использовались в качестве модельных газов для донорно-акцепторного взаимодействия с УНВ.

Было установлено, что сенсоры с более развитой удельной поверхностью демонстрируют лучшие отклик и восстановление по отношению к 1–500 ppm NO<sub>2</sub> и 100–500 ppm NH<sub>3</sub>. Также было установлено, что сорбция диоксида азота более селективна по сравнению с поглощением аммиака и метана. Были рассчитаны константы сорбции и теплоты сорбции. Во всех случаях наблюдался механизм физической адсорбции диоксида азота.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lapekin N.I. et al. Solvent effect on the NO<sub>2</sub> sensing properties of multi-walled carbon nanotubes // *Chim. Techno Acta*. 2022. Vol. 9, № 3. P. 20229311.

2. Lapekin N.I. et al. Gas-Sensors for NO<sub>2</sub> Detection Based on Multi-Walled Carbon Nanomaterials and Their Mixtures // 2022 IEEE 23rd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM). 2022. P. 79–83.

УДК 678.046.3

**Боброва В.В., Прокопчук Н.Р.,  
Касперович А.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**Ефремов С.А., Нечипуренко С.В.**

(Казахский национальный университет имени аль-Фараби)

#### **ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛЕРОД-КРЕМНИСТОГО КОМПОЗИТА В РЕЗИНОВЫХ СМЕСЯХ**

Перспективным направлением развития шинной и резинотехнической промышленности является расширение применения натуральных наполнителей растительного происхождения [1]. При использовании таких наполнителей происходит улучшение ряда свойств резиновых

смесей и вулканизаторов, экономических и экологических показателей производства. Наиболее часто используемыми наполнителями являются технический углерод и диоксид кремния, однако они являются относительно дорогими. Поэтому их полная или частичная замена материалами из возобновляемых источников будет экономически целесообразна. Более того, использование отходов является необходимостью в современной промышленности. Ввиду этого, исследователи все больше интересуются преобразованием золы рисовой шелухи в продукт, представляющий коммерческий интерес, хотя до сих пор она считалась побочным продуктом промышленности. Отходы рисовой шелухи часто используются в качестве топлива в производстве энергии. Однако после ее сжигания остается большое количество золы, которая в основном состоит из кремнезема и может использоваться в качестве сырья в различных отраслях промышленности [2].

Зола рисовой шелухи (УКК), которая образовывается карбонизацией рисовой шелухи (РШ) и стебля при 550–600 °С, является интересным и перспективным функциональным наполнителем для эластомерных композиций на основе натурального каучука. При сжигании РШ может быть получено около 20 % золы, которая в свою очередь содержит около 87–98 % диоксида кремния [3].

С целью изучения влияния УКК на взаимодействие полимер-наполнитель, проводили измерения эффекта Пейна – уменьшение модуля эластичности (модуля сдвига) с увеличением амплитуды деформаций. Основная причина снижения модуля сдвига состоит в разрушении вторичной сетки агломератов наполнителя, а также физических связей наполнитель-каучук. Величина эффекта Пейна коррелирует со степенью диспергирования агломератов наполнителя, а величина максимального за цикл деформации модуля – с вязкостью материала в начале нагружения [4].

В результате исследования было изучено влияние частичной замены промышленного технического углерода марки N550 на УКК растительного происхождения на диспергирование наполнителя в объеме эластомерной матрицы на основе БНКС-18 (табл. 1).

Анализ полученных результатов показал, что введение в резиновые смеси УКК приводит к улучшению распределения наполнителей в объеме эластомерной матрицы. Для резиновой смеси на основе БНКС-18, не содержащей УКК, значение комплексного динамического модуля составляет 176,8 кПа, а для смесей с УКК значение  $G'$  находится в пределах 65,4–110,9 кПа.

Из полученных данных следует, что введение углерод-кремнистого композита в резиновую смесь улучшает качество диспергирования наполнителя в объеме полимера, т.е. наблюдается снижение эффекта Пейна.

**Таблица 1 – Качественные характеристики распределения комбинации наполнителей в объеме эластомерной матрицы на основе БНКС**

Соотношение УКК / N550, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука	$G'_0$ , кПа	$G'_\infty$ , кПа	$G'$ , кПа
0 / 90	219,4	46,6	176,8
10 / 80	150,0	39,1	110,9
20 / 70	165,1	41,7	123,4
30 / 60	143,8	39,0	104,7
40 / 50	120,1	34,8	85,3
50 / 40	110,9	33,7	77,3
60 / 30	102,8	31,1	71,8
70 / 20	99,9	31,6	68,3
80 / 10	88,8	28,8	60,0
90 / 0	95,2	29,8	65,4

Данные результаты подтверждаются ранее проведенными испытаниями на вязкость по Муни, которая косвенно связана с состоянием смешения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sathishkumar T. P., Navaneethakrishnan P., Shankar S., Rajasekar R. Mechanical properties and water absorption of short snake grass fiber reinforced isophthallic polyester composites. *Fibers and Polymers*, 2014, vol. 15, pp. 1927–1934. doi:10.1007/s12221-014-1927-8.
2. Natural rubber compositions with the partial/total replacement of carbon black/naphthenic oil by renewable additives: Rice husk ash and cashew nut oil / S. Moresco [et al.] // *Journal of Applied Polymer Science*. 2019. Vol. 137, no. 4. 48134. DOI:10.1002/app.48314.
3. Боброва В. В., Прокопчук Н. Р., Ефремов С. А., Нечипуренко С. В. Углерод-кремнистый наполнитель для эластомерных композиций // *Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология*. 2022. № 1 (253). С. 89–95.
4. Гришин Б. С. Теория и практика усиления эластомеров. Состояние и направления развития: монография. Казань: КНИТУ, 2016. 420 с.

**Боброва В.В., Касперович А.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**Тихомиров С.Г., Карманова О.В.**

(Воронежский государственный университет инженерных технологий)

## **УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ УСКОРЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ**

Разработка новых материалов на основе высокомолекулярных соединений, а также поиск путей модификации традиционных материалов является одним из приоритетных направлений науки и техники, так как обеспечивает технический прогресс в различных отраслях производства.

Необходимость в альтернативных технологиях модификации полимеров связана с многостадийностью традиционных процессов, высокими энерго- и трудовыми затратами, экологической напряженностью производства. Исследования отечественных и зарубежных ученых по применению электрофизических методов обработки материалов и изделий показали высокую эффективность использования для этой цели ионизирующего излучения.

Объемная обработка полимерных материалов и изделий позволяет значительно ускорить процесс модификации по сравнению с другими методами обработки, при этом повышается качество готовых изделий, уменьшаются термомеханические эффекты, габариты производственной установки, улучшаются экономические показатели процесса.

Ионизирующее излучение является одним из эффективных способов модифицирования полимерных материалов [1], поскольку вследствие высокой молекулярной массы полимера даже сравнительно небольшие дозы могут вызвать существенное изменение его свойств. В промышленности радиационное облучение широко используется как для сшивки полимеров при производстве различных изделий: изоляторов, термоусаживающихся материалов и других изделий, так и для разрушения полимерных цепей с целью улучшения процесса переработки полимеров [2].

С целью изучения влияния различных доз ионизирующего излучения на физико-механические свойства эластомерных композиций были изготовлены вулканизаты со степенью вулканизации  $t_{90}$  на основе натурального каучука, применяемые в протектор-беговой части крупногабаритных шин. Также для оценки влияния ускоренных электронов на структуру поперечных связей определялось изменение упруго-прочностных показателей резин в процессе теплового старения (таблица 1).

**Таблица 1 – Условная прочность при растяжении ( $f_p$ ), относительное удлинение при разрыве ( $\epsilon_p$ ) исследуемых резин на основе НК**

Доза облучения, кГр	$f_p$ , МПа			$\epsilon_p$ , %		
	до старения	72 ч	120 ч	до старения	72 ч	120 ч
Исходный	21,3	17,8	12,4	455	356	270
6,4	22,5	14,5	13,5	478	315	295
11,6	20,8	17,3	14,3	477	348	285
14,9	20,3	15,6	12,2	470	314	255
21,3	20,4	16,1	13,1	455	334	270
26,5	20,5	16,0	12,7	466	320	268
33,3	20,5	16,9	12,7	460	340	263
42	19,6	15,2	13,0	461	317	264
56	21,2	16,3	12,5	438	320	258
70	20,9	15,8	12,5	441	306	259
84	19,8	15,8	11,0	423	311	230
98	19,9	15,9	12,0	414	312	247

Сравнительный анализ данных показал, что ионизирующее излучения не вызывает существенного изменения физико-механических характеристик вулканизатов. Это обусловлено тем, что при степени вулканизации  $t_{90}$  структура поперечных связей эластомерных композиций считается сформировавшейся, что в свою очередь не дает возможности дополнительного сшивания макромолекул при воздействии пучка ионизирующего излучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гордиенко В.П. Радиационное модифицирование композиционных материалов на основе полиолефинов / В.П. Гордиенко. – Киев: Наук. думка, 1986. – 176 с.
2. Назаров. Поверхностная модификация полимеров, Москва, 2008. – 472 с.

УДК 678.046.3

**Боброва В.В., Прокопчук Н.Р., Касперович А.В.**  
(Белорусский государственный технологический университет)  
**Ефремов С.А., Нечипуренко С.В.**  
(Казахский национальный университет имени аль-Фараби)

### **ПЛАСТОЭЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИН, НАПОЛНЕННЫХ УГЛЕРОД-КРЕМНИСТЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ**

Рисовая шелуха, обычно считающаяся сельскохозяйственными отходами, может использоваться в качестве источника горения для электростанций, из которых получается зола рисовой шелухи (ЗРШ). Зола

рисовой шелухи состоит в основном из аморфного кремнезема и остаточной сажи от неполного сгорания. Количество кремнезема и сажи в золе варьируется в зависимости от условий сжигания. Каучуки редко используются в немодифицированном виде с точки зрения их применения: их часто смешивают с наполнителями для улучшения их технологичности и механической прочности, а также для снижения стоимости. Поскольку технический углерод и диоксид кремния известны как коммерческие наполнители [1,2] использование ЗРШ в качестве наполнителя в резиновых смесях вызывает все больший интерес из-за его низкой стоимости, экологических преимуществ и повышенного внимания к использованию возобновляемых ресурсов.

Целью работы являлось исследование влияния природы и дозировок углерод-кремнистого наполнителя (УКН) на пластоэластические свойства наполненных эластомерных композиций.

Объектами исследования являлись промышленные наполненные эластомерные композиции на основе комбинации синтетических полиизопренового (СКИ-3) и полибутадиенового (СКД) каучуков, предназначенных для изготовления виброизоляторов, боковин автомобильных шин, а также на основе синтетического бутадиен-стирольного (БНКС) каучука, предназначенного для изготовления резинотехнических изделий различного назначения.

В эластомерные композиции вводили углерод-кремнистый наполнитель растительного происхождения в дозировках 5; 10; 15 и 20 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. Данный наполнитель был получен путем измельчения рисового стебля на роторно-ножевой мельнице до фракции 5,0 мм. Затем смешивали рисовый стебель и рисовую шелуху в пропорции 2,0:0,5 или 0:2,0 соответственно.

Высушенная композиция подвергалась процессу карбонизации в пиролизной печи без доступа кислорода, при температуре 550–600°C. Далее полученный карбонизат измельчали до фракции ниже 25,0 мкм.

В качестве образца сравнения использовали стандартные промышленные смеси.

Результаты определения пластоэластических свойств наполненных резиновых смесей на основе комбинации каучуков общего назначения и на основе БНКС с исследуемым наполнителем представлены в таблице 1 и 2 соответственно.

Установлено, что добавление к промышленной стандартной резиновой смеси на основе комбинации каучуков общего назначения УКН приводит к некоторому увеличению вязкости по Муни. При этом

с увеличением содержания исследуемого наполнителя в промышленных смесях на основе каучука специального назначения вязкость по Муни резиновой смеси снижается на 0,1–9,6%.

**Таблица 1 – Пластоэластические свойства наполненных резиновых смесей на основе СКИ-3+СКД с УКН**

Резиновая смесь	Вязкость по Муни, усл. ед. Муни
Стандартная резиновая смесь СКИ-3+СКД	70,5
СКИ-3+СКД +5 мас. ч УКК	74,2
СКИ-3+СКД +10 мас. ч УКК	73,7
СКИ-3+СКД +15 мас. ч УКК	77,6
СКИ-3+СКД +20 мас. ч УКК	74,3

**Таблица 2 – Пластоэластические свойства наполненных резиновых смесей на основе БНКС с УКН**

Резиновая смесь	Вязкость по Муни, усл. ед. Муни
Стандартная резиновая смесь БНКС	64,4
БНКС +5 мас. ч УКК	58,2
БНКС +10 мас. ч УКК	59,8
БНКС +15 мас. ч УКК	64,1
БНКС +20 мас. ч УКК	64,3

Данный характер изменения вязкости показывает особенности взаимодействия УКН с каучуками различной полярности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Song Y., Zeng L., Zheng Q. Understanding the reinforcement and dissipation of natural rubber compounds filled with hybrid filler composed of carbon black and silica // Chinese Journal of Polymer Science. Vol. 35, no. 11. P. 1436–1446. DOI:10.1007/s10118-017-1987-5.
2. Tire tread compounds with reduced rolling resistance and improved wet grip / V. D. Velga [et al.] // Journal of Applied Polymer Science. 2017. Vol. 134, no. 39, 45334.
3. Боброва В. В., Прокопчук Н. Р., Ефремов С. А., Нечипуренко С. В. Углерод-кремнистый наполнитель для эластомерных композиций // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2022. № 1 (253). С. 89–95.

Музафарова Х.А, Мухамедов Г.В.,

Эшпулатова М.К.

(Ташкентский химико-технологический институт)

Касперович А.В.

(Белорусский государственный технологический университет)

## КИНЕТИКА ДЕВУЛКАНИЗАЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА МАТЕРИАЛА. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ

Повышение эффективности применения вторичных эластомерных материалов является важнейшей технико-экономической задачей в Республике Узбекистан. Вулканизованные резиновые отходы наиболее трудно поддаются переработке. В связи с этим проблема утилизации шин и резинотехнических изделий имеет большое экологическое и экономическое значение.

Известно, что одним из способов переработки вторичных резин является их восстановление путем их девулканизации.

Известно, что на первом этапе проводится измельчение отходов и последующее применение полученных порошков в качестве наполнителя эластомерных композиций. Вторым этапом является процесс их девулканизации.

В данной работе предлагается процесс девулканизации резин при использовании комплексных солей в зависимости от времени модификации на вальцах, таблица 1.

**Таблица 1 – Модификация образцов**

№	Наименование образца	Время модификации	Композит
1	Резиновая крошка + Комплекс солей № 1	15 минут	Девулканизат № 1
2	Резиновая крошка + Комплекс солей № 2	25 минут	Девулканизат № 2
3	Резиновая крошка + Комплекс солей № 3	35 минут	Девулканизат № 3

Процесс девулканизации осуществлялся на горячих валках при температуре 100–110°C в присутствии комплекса солей (КС) в течение 25–30 минут.

Для модификации образцов был использован комплекс солей (X, Y, Z) при различной концентрации, таблица 2.

**Таблица 2 – Концентрация солей**

№	Девулканизат	Наименование образца	Содержание солей, гр		
			X	Y	Z
1	Девулканизат №1	Девулканизат № 1.1	10,8	18,3	18,3
		Девулканизат № 1.2	7,5	15,0	7,5
		Девулканизат № 1.3	5,0	15,0	15,0
2	Девулканизат №2	Девулканизат № 2.1	10,8	18,3	18,3
		Девулканизат № 2.2	7,5	15,0	7,5
		Девулканизат № 2.3	5,0	15,0	15,0
3	Девулканизат №3	Девулканизат № 3.1	10,8	18,3	18,3
		Девулканизат № 3.2	7,5	15,0	7,5
		Девулканизат № 3.3	5,0	15,0	15,0

В результате проведенных работ, были получены образцы девулканизированных резин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Х.А. Музафарова, Г.В. Мухамедов, Э.У. Тешабаева. “Иккиламчи резинани деполимерлашининг инновацион технологияси” Ёш олимлар, магистрантлар ва бакавриат талабаларини ХХІХ илмий-техникавий анжуманининг маколалар туплами. «Умидли кимёгарлар – 2020», Тошкент-2020., с. 98

2. Б.Б. Хамралиев, Х.А. Музафарова, Г.В. Мухамедов. “Фтор сакловчи резина аралашмаларини физик механик хоссаларини тадқиқоти” Международная Узбекско-Беларусская научно-техническая конференция., Композиционные и металлополимерных материалы для различных отраслей промышленности и сельского хозяйства. 21–22 мая 2020 г. ГУП “Фан ва тараккиёт”, Ташкент 2020, с. 31.

УДК 547.995.1:677.469

**Прокопчук Н.Р., Прищепенко Д.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

#### **ПОЛУЧЕНИЕ НАНОВОЛОКОН ХИТОЗАНА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ**

Одним из перспективных направлений в области нанотехнологий является электроформование, которое позволяет получать материалы отличающиеся, сверхразвитой структурой и пористостью. Благодаря

этим свойствам они используются для создания перевязочных средств при лечении обширных ожоговых поверхностей, незаживающих ран и трофических язв различного происхождения.

В качестве антимикробного и ранозаживляющего вещества использование перспективно использование нановолокон природного полимера хитозана, обладающего антимикробными и ранозаживляющими свойствами.

Хитозан – природный полисахарид, представляющий собой деацетилированное производное хитина. Лекарственные препараты на основе хитозана находят все более широкое применение для лечения ожогов, трофических язв и ран различной этиологии, существенно угнетают рост микрофлоры и ускоряют заживление ожоговых ран. Хитозан имеет гемостатические, бактериостатические, фунгистатические свойства, полностью выводится из организма через разложение до производных гиалуроновой кислоты. Хитозан устойчив к воздействию радиации, совместим с различными веществами – антисептиками, антибиотиками, сульфаниламидами, местными анестетиками. Применение хитозана в виде нановолокон улучшает его ранозаживляющие – волокна образуют внеклеточный матрикс, способствуя пролиферации клеток [1].

Учитывая высокую резистентность микроорганизмов к применяемым в настоящее время антибактериальным и антисептическим средствам, имеется высокая потребность в эффективных перевязочных средствах, не содержащих антибактериальных средств, но обладающих антимикробными и регенеративными свойствами.

Хитозан обладает некоторой антибактериальной активностью, однако, применение раневых покрытий на основе хитозана без нанесения дополнительных антибактериальных средств представляется недостаточно эффективным. Антибактериальные свойства нановолокон обычно усиливают путем включения антибактериальных агентов в полимер. На сегодняшний день известно три способа включения веществ в нановолокна: смешиванием с формовочным раствором полимера перед электроформованием; изготовлением структуры сердцевина-оболочка посредством коаксиального электроформования и прикрепления к поверхности нановолокна. Коаксиальное формование и прикрепление модификатора к поверхности требуют или изменения аппаратного оформления процесса или введения дополнительной стадии модификации, что увеличивает себестоимость процесса получения нановолоконных покрытий. Введение модификатора в формовочный раствор на стадии его приготовления лишено подобных недостатков. Однако, в данном случае существуют требования к самому модифицирующему агенту: он должен

быть химический стоек в среде формовочного раствора и в процессе электроформования [1].

В качестве антибактериальных агентов использовали нитрат церия (III) и нитрат серебра. Они используются при лечении ожогов и совместимы с формовочным раствором на основе раствора уксусной кислоты с добавлением полиэтиленоксида.

Модификацию проводили на стадии приготовления раствора путем ввода нитрата церия (III) и/или нитрата серебра вместе с остальными компонентами. Формовочный раствор готовили на основе грибного хитозана. Образцы получали на установке NS LAB 500S. Использовали грибной хитозан марки «Kionutrime-Cs» производства KitoZyme (Бельгия) молекулярной массой 50000. Для улучшения формуемости раствора в качестве технологической добавки использовали полиэтиленоксид производства Sigma Aldrich (США) молекулярной массой 400000. Составы формовочных растворов: хитозан 7% мас., церия нитрат (III) 0,3% мас., полиэтиленоксид 0,3% мас.; хитозан 7% мас., серебра нитрат 0,3% мас., полиэтиленоксид 0,3% мас.; хитозан 7% мас., серебра нитрат 0,15% мас., мас., церия нитрат (III) 0,15% мас., полиэтиленоксид 0,3% мас. Образцы получали при напряжении 70 кВ, межэлектродное расстояние 125 мм. Поверхностная плотность нанесения полученных образцов находится в пределах 10-12 г/м<sup>2</sup>. Образцы переданы для испытания на антибактериальные свойства в Белорусский государственный медицинский университет.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Riccardo, A.A. Chitin and chitosans for the repair of wounded skin, nerve, cartilage and bone / A.A. Riccardo // Carbohydrate Polymers. – 2009. – Vol. 76. – P. 167–182.
2. Ramakrishna, S. An introduction to Electrospinning and nanofibers. / S. Ramakrishna, K. Fujihara, M. Zuwei. – Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2005. – 382 p.

**Секция III**  
**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКИХ  
И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ  
И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

---

УДК 502.3+658.567

**Цыганов А.Р.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**Якубовский А.С., Панасюгин А.С.**

(Белорусский национальный технический университет)

**ОЧИСТКА ЕМКостей ХРАНЕНИЯ ОДОРАНТОВ  
И ИХ УТИЛИЗАЦИЯ ПРИ ПОТЕРЕ ИМИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ  
СВОЙСТВ НА МОБИЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ**

Природный и сжиженные газы (пропан-бутаны) не имеют характерного запаха, и в связи с этим любая утечка может привести к самовоспламенению, отравлениям и взрывам. Одоранты – интенсивно пахнущие химические вещества – способны придать ему неприятный сигнальный запах. Одоризация газа является важным фактором обеспечения безопасности при промышленном и бытовом его использовании [1–3]. В газовой отрасли в настоящее время в качестве одоранта применяют смесь природных меркаптанов (СПМ), выпускаемую согласно ТУ 51-31323949-94-2002. Узел одоризации природного газа состоит из расходной ёмкости и ёмкости хранения одоранта. Срок службы ёмкостей хранения одоранта составляет порядка 30 лет. Выведенные из эксплуатации ёмкости представляют собой лом чёрных металлов с продуктами их сероводородной коррозии, загрязнённый меркаптанами. Существующие методы утилизации при экспериментальной проверке не проявили удовлетворительной эффективности, что обусловило актуальность создания нового экологически безопасного способа обезвреживания отходов одоранта, адаптированной к переработке как вновь образующихся, так и накопленных ранее серосодержащих отходов. Снижение негативного воздействия меркаптансодержащих отходов на окружающую среду путем создания экологически безопасного способа обезвреживания отходов одоризации природного газа. Выполнены физико-химические исследования меркаптансодержащих отходов одоранта природного газа; разработан экологически безопасный метод снижения токсичности

отходов, содержащих меркаптаны и ёмкостей их хранения путем ищерпывающего окисления сероорганических соединений озоном до сульфокислот; разработана оптимальная технологическая схема процесса переработки отходов одоранта.

Объектами исследования являются следующие отходы одоранта:

– жидкие отходы одоранта природного газа, накопленные в емкостях его хранения из-за отсутствия технологической возможности их полного удаления;

– донный шлам, образовавшийся в технологическом оборудовании и емкостях хранения одоранта в результате их эксплуатации;

– выведенные из эксплуатации емкости хранения одоранта.

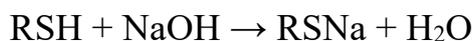
На основе изучения химических составов меркаптансодержащих отходов одоранта установлен факт изменения состава в процессе хранения, обусловленный конденсацией смеси природных меркаптанов в диалкилдисульфиды в количестве до 70 % от массы органической части отходов. Установлена стабильность диалкилдисульфидов, присутствующих в составе отходов, в стандартных условиях обезвреживания емкостей хранения газа, например с использованием щелочных растворов или окисления перманганатом калия, пероксидом водорода, надуксусной или азотной кислотой концентрацией менее 45 %. Экспериментально обоснована целесообразность проведения переработки меркаптансодержащих отходов в среде озонированного водного раствора поташа по замкнутому циклу без нагревания. Для снижения негативного воздействия отхода на окружающую среду предложен способ его обезвреживания с использованием в качестве реактора процесса выведенной из эксплуатации емкости хранения одоранта, являющейся основной составляющей частью отхода.

По характеру воздействия на организм человека меркаптаны отнесены к 1–3 классам опасности вредных веществ. При работе с меркаптанами возможно действие следующих опасных и вредных производственных факторов: повышенная загазованность воздуха рабочей зоны меркаптанами и продуктами их взаимодействия с другими веществами; токсичность меркаптанов и продуктов их взаимодействия с другими веществами, действующих на работающих через органы дыхания, обоняния, желудочно-кишечный тракт и кожный покров, пожар, взрыв. В ничтожных концентрациях пары меркаптанов вызывают рефлекторную тошноту и головную боль вследствие отвратительного запаха. Высшие меркаптаны обладают сравнительно слабым запахом. В более высоких концентрациях меркаптаны влияют на центральную нервную систему, вызывая судороги, параличи, аналогично действию сероводорода. Обладают наркотическим эффектом, характеризующимся особой мышечной

скованностью. Некоторые меркаптаны отличается возбуждающим эффектом, воздействуя, главным образом, на кору головного мозга. Первичные, вторичные и третичные меркаптаны отличаются по картине действия на центральную нервную систему. Токсичность убывает в гомологическом ряду, исключение составляет октилмеркаптан. Хорошо проникают через кожу, сенсibiliзирую ее, особенно низшие меркаптаны. Отмечены случаи полной непереносимости запаха меркаптанов. Повышенная чувствительность (непереносимость) к запаху меркаптанов является одним из противопоказаний для приема на работу с ними.

Одним из вариантов решения проблемы обеспечения экологической безопасности одоризации природного газа является отказ от токсичных меркаптанов и переход на нетоксичные сигнализаторы утечек газа.

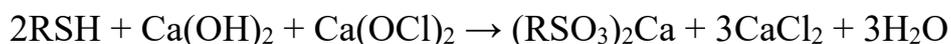
Перспективные реакции алкилмеркаптанов с образованием слаболетучих веществ. Выполненный анализ химических превращений тиолов показал, что принципиально возможны два направления исследований в целях совершенствования способа утилизации отходов одоранта. Первой группой хемотрансформаций меркаптанов являются кислотно-основные взаимодействия. В данных реакциях тиолы выступают в качестве слабых кислот, например, с сильными основаниями типа гидроксидов натрия (NaOH) или калия (KOH) дают соответствующие меркаптиды:



Эти соли являются твёрдыми веществами, причём лабораторное моделирование их получения показало, что в случае исключения из их состава исходных меркаптанов сигнального запаха почти не наблюдается. Однако, при хранении на воздухе меркаптиды щелочных металлов проявили себя как гигроскопичные вещества и уже через 12 часов был зафиксирован чёткий сигнальный запах меркаптанов. Всё это свидетельствовало о быстро идущем гидролизе меркаптидов. Данный факт легко объясним, поскольку общеизвестна склонность к лёгкому гидролизу солей, образованных слабыми кислотами и сильными основаниями.

В процессе поиска использования для целей утилизации отходов одоранта следующих промышленно доступных окислителей в кислых и щелочных средах: перманганат, хлорат и перхлорат калия, пероксид водорода, гипохлорит натрия, хлорная известь, азотная кислота.

Установлено, что хлорсодержащие окислительные системы менее предпочтительны ввиду выделения свободного хлора в процессе утилизации. Это происходит вследствие закисления раствора в процессе реакции, а также ввиду протекания равновесного диспропорционирования гипохлорит-аниона:



Свободный хлор, помимо общетоксического действия на персонал, осуществляющий дезактивацию, может, вступая в реакцию с органическими веществами, находящимися в ёмкости, привести к соединениям значительно более опасным, чем нейтрализуемые меркаптаны.

Поэтому от применения хлората и перхлората калия, гипохлорита натрия, хлорной извести рекомендуется воздержаться в целях обеспечения экологической безопасности технологического процесса утилизации.

Принципиальные конструкционные решения мобильного комплекса для очистки емкостей от остатков одорантов.

Устройство используется при процессах очистки, в частности к очистке внутренних поверхностей емкостей от одорантов, и может быть использовано в газовой промышленности. Резервуар, подлежащие утилизации, заполняют моющей жидкостью любым известным способом, включают напорный насос, Моющая жидкость под давлением поступает в аэратор, в который одновременно из генератора озона подают озоносодержащую газовую смесь. Из аэратора газожидкостную смесь подают в резервуар, в котором производят глубокое окисление загрязнений озоном – сильным окислителем – и добавляют поверхностно-активные вещества, увеличивающие моющую способность первоначальной моющей жидкости. Затем моющую жидкость с газами из резервуара под действием разности давлений подают в аппарат дожига «PLAZKAT Average 500», в котором осуществляют разделение моющей жидкости и газов. Моющую жидкость непрерывно регулируют напорным насосом в резервуаре, а газы выводят в атмосферу. Главная особенность этого процесса в том, что основным реактором процесса здесь является сама ёмкость хранения одоранта. Такое техническое решение позволяет значительно сократить количество необходимого оборудования и ограничиться одним насосом. В результате озонирования образуются очищенные от одорантов емкости, при этом сам технологический раствор можно использовать неоднократно.

Таким образом, осуществляется непрерывный процесс очистки резервуара и достигается полное обезвреживание и дезодорация резервуара, а также понижается класс его опасности за счет окисления остатка одоранта озоном.

Мобильный комплекс смонтирован на базе бортового автомобиля ЗИЛ 4334В1, его основные технические характеристики приведены в таблице. 1.

Мобильный комплекс включает в себя следующие элементы: автомобиль ЗИЛ 4334В1, генератор электричества, озонатор, дозатор, аппарат

дожиг, емкость с моющим раствором, аэратор, который монтируется в стандартном морском контейнере.

**Таблица 1 – Основные технические характеристики ЗИЛ 4334В1**

Параметр	Значение
Дизельный мотор ММЗ	Д-245.30
Рабочий объем, л	8,60
Номинальная мощность, кВт/л.с.	115/155
Количество цилиндров	8

Станция озонирования воды ОЗО-В5 (мод 2) состоит из озонатора, системы смешивания и колонны растворения и сброса газа.

Станция озонирования устанавливается на ровную и устойчивую поверхность и подключается к источнику питания, в данном случае к генератору электричества. Система наполняется водой и запускается линия водоподготовки. Чем ниже давление на входе/выходе из станции, тем выше производительность эжектора.

#### **Установка плазмокаталитической очистки воздуха (газов) «PLAZKAT Average 500».**

Устройство для фильтрации и очистки газов представляет собой промышленный очиститель воздуха и предназначено для очистки загрязненного воздуха при работе технологического оборудования, воздуха общеобменных вентиляций цехов, воздуха рабочей зоны, служебных и бытовых помещений, мест общего пользования. Принцип действия очистителя воздуха основан на плазмокаталитической технологии очистки воздуха.

Назначение установки – очистка газообразных выбросов от опорожненных емкостей хранения меркаптанов.

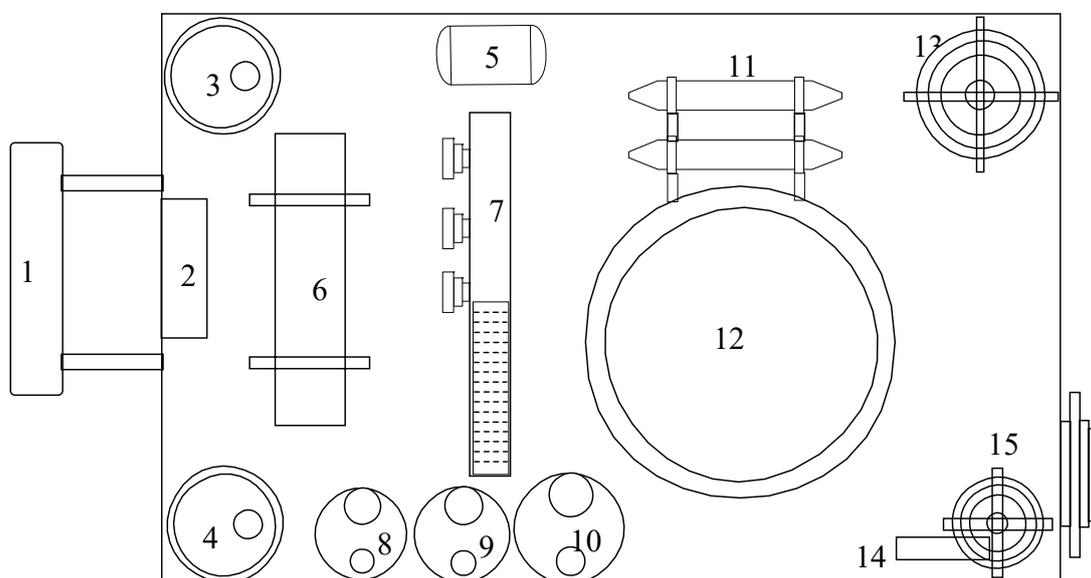
Для фильтрации и очистки газов эксплуатируется под разрежением.

Система управления служит для контроля и регулировки электрических параметров плазмокаталитического реактора установки газоочистки, а также блокировок, гарантирующих безопасную работу очистителя воздуха.

Характеристики установок газоочистки подбираются и оптимизируются в зависимости от условий эксплуатации для конкретного производства.

Загрязненный воздух, отбираемый вытяжной вентиляционной системой, содержащий газообразные и пылевидные загрязнители, поступает на очистку через противопылевой фильтр в плазменные модули (1 ступени). Газообразные загрязнители, проходя зону высоковольтного

разряда и взаимодействуя с продуктами электросинтеза, разрушаются и переходят в менее вредные соединения и безвредные, вплоть до  $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Глубина конверсии (очистки) зависит от величины удельной энергии, выделяющейся в зоне реакции, а также аэродинамических и физических параметров проходящего очистку газа. После плазменных модулей воздух подвергается финишной тонкой очистке в катализаторе (2 ступень). Основу реактора составляет сорбент-катализатор. Синтезируемый в газовом разряде плазменного модуля озон попадает на катализатор, где разрушается на активный атомарный и молекулярный кислород. Остатки загрязняющих веществ, не уничтоженных в 1-ой ступени очистки, разрушаются на катализаторе благодаря интенсивной реакции с кислородом. После катализатора очищенный воздух выбрасывается с помощью вентилятора в атмосферу.



**Рисунок 1 Расположение оборудования очистительной установки ВФС-2.5 ТО:**

- 1 – блок озонирования воды ОзО-В5 (мод 2) состоит из озонатора, системы смешивания и колонны растворения и сброса газа, 2 – электрогенератор,
- 3 – фильтр, 4 – фильтр, 5 – насос подачи воды, 6 – резервуар РДВ 5000,
- 7 – дозатор, 8, 9 – газоразрядные блоки «PLAZKAT Average 500», 10 – реактор с адсорбентом-катализатором, 11 – резервуар РДВ 100, 12 – смеситель,
- 13, 15 – блоки для упаковки рукавов, 14 – блок хранения ламп Д-6-50 и радиометр

Таким образом, как показали предварительные оценки, предложенный подход позволяет очистить 520 емкостей в год. Также установлено, что около 20–25 % емкостей после гарантийного срока эксплуатации (30 лет) теряют свои потребительские свойства и подлежат утилизации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мировой рынок нефтяной продукции / Семинар UTS, 14 сентября 2011 г, Stockholm, Sweden.
2. Общая химическая технология органических веществ / Зыков Д.Д, Деревицкая Е.Б., Чекалин М.А., Юкельсон И.И. М.: 1966. 608 с.
3. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза / Лебедев Н.Н. М.: Химия, 1988. 592 с.

УДК 628.345:669.05.83

**Залыгина О.С., Чепрасова В.И.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**Антоник У.Д., Грицкевич А.А.**

(Национальный детский технопарк)

### **ПОЛУЧЕНИЕ КОАГУЛЯНТОВ ИЗ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Вода играет исключительно важную роль в жизни человека. К основным потребителям пресной воды относятся: сельское хозяйство, промышленность, включая энергетику, коммунальное хозяйство. В промышленном производстве наиболее водоемкими являются химическая, целлюлозно-бумажная и металлургическая промышленность. Так, на изготовление 1 т синтетического волокна расходуется от 2500 до 5000 м<sup>3</sup> воды, пластмассы – от 500 до 1000 м<sup>3</sup>, бумаги – от 400 до 800 м<sup>3</sup>, стали и чугуна – от 160 до 200 м<sup>3</sup> [1].

В Республике Беларусь в 2020 году было добыто 1326 млн. м<sup>3</sup> воды из природных источников. Большая часть добытой воды (около 36 %, что составило 474 млн. м<sup>3</sup>) была израсходована на хозяйственно-питьевые нужды, около 25 % (326 млн. м<sup>3</sup>) – на промышленные нужды [2]. При использовании воды она загрязняется веществами минерального и органического происхождения, что приводит к образованию большого количества сточных вод.

Большинство сточных вод загрязнены взвешенными веществами и являются дисперсными системами, которые по степени дисперсности частиц подразделяются на взвеси (суспензии и эмульсии) с диаметром частиц более 10<sup>-5</sup> см и коллоидные системы с диаметром частиц от 10<sup>-5</sup> до 10<sup>-7</sup> см [3]. Многие природные и сточные воды представляют собой коллоидные системы, очищать которые крайне сложно вследствие их устойчивости, т.е. способности сохранять свое состояние

и свойства с течением времени. Естественное осаждение коллоидных частиц происходит очень медленно. Для нарушения устойчивости дисперсных коллоидных систем используют коагулянты и флокулянты, которые нашли широкое применение в практике очистки природных и сточных вод. Коагулянты – это химические реагенты, при введении которых в воду происходит укрупнение частиц дисперсной фазы, что облегчает последующую очистку воды. В качестве коагулянтов чаще всего используют соли алюминия и железа: сульфат железа  $\text{FeSO}_4$ , сульфаты алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , хлорид железа (III)  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , гидроксохлоросульфат алюминия  $\text{Al}(\text{OH})\text{SO}_4$ .

В настоящее время в Республике Беларусь коагулянты производит ООО «Ксант-Инвест», созданное на базе производственных мощностей ОАО «Гомельский химический завод». Также выпуск коагулянтов осуществляется на ОАО «ТехноХимРеагентБел», расположенном в г. Гродно. Однако потребность в коагулянтах постоянно растет, значительную их часть приходится закупать за рубежом (в России, Китае и других странах). Кроме этого, в Республике Беларусь отсутствует сырьевая база для получения коагулянтов, что затрудняет организацию их производства. Поэтому весьма актуально получение коагулянтов из отходов производства, которые в этом случае можно рассматривать как вторичный материальный ресурс.

Одним из производств, где образуются отходы, которые могут использоваться для получения коагулянтов, является литейное производство. В этом производстве образуются три вида отходов: земля формовочная горелая, металлургические шлаки и железосодержащая пыль (ЖСП). Высокое содержание железа в ЖСП позволяет предположить возможность ее использования для получения железосодержащих коагулянтов.

В работе исследовалась ЖСП одного из белорусских предприятий, которая образуется в процессе очистки поверхности отливок разными способами: в барабанах периодического и непрерывного действия, в дробеструйных барабанах, на дробеметных столах, в дробеметных камерах и др. Железосодержащая пыль с вредными примесями относится к 3 классу опасности, без вредных примесей – к 4 классу опасности [4].

Были определены такие свойства отхода как влажность, потери при прокаливании, содержание магнитной фракции, элементный и фазовый состав. Влажность отхода составила 0,84 %, потери при прокаливании 0,47 %, масса магнитного материала, извлеченного из 50 г исследуемого отхода с помощью магнита, 26 г, т.е. 52 масс. %.

Рентгенофазовый анализ свидетельствует о том, что основной кристаллической фазой ЖСП является кварцевый песок ( $\text{SiO}_2$ ). Учитывая

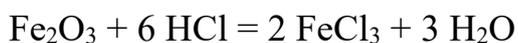
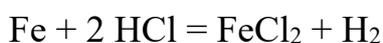
невысокую чувствительность рентгенофазового анализа, для уточнения состава отхода был определен его элементный состав. Также отдельно определялся элементный состав магнитной и немагнитной фракций (таблица 1).

**Таблица 1 – Элементный состав ЖСП и ее фракций, масс. %**

Элемент	ЖСП	Магнитная фракция	Немагнитная фракция
O	50,17	47,30	53,03
Si	40,06	36,70	43,42
Fe	8,27	14,51	2,03
Al	1,50	1,49	1,52

Как видно из таблицы 1, извлечь полностью железо из отхода не удалось, однако его содержание в магнитной фракции увеличилось более чем на 6% и составило 14,51 масс %. В состав этой фракции может входить не только металлическое железо, но и его оксиды ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), которые обладают магнитными свойствами. Следует отметить достаточно высокое содержание в этой фракции кварцевого песка.

Для получения коагулянта из магнитной фракции ЖСП ее обрабатывали соляной кислотой различной концентрации при различных соотношениях твердой и жидкой фазы при нагревании в течение 30 минут с последующей выдержкой при комнатной температуре от 30 минут до одной недели. При этом возможно протекание следующих реакций:



Соли образующихся катионов  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  являются хорошими коагулянтами, в результате гидролиза которых образуются крупные заряженные частицы, интенсифицирующие седиментацию мелкодисперсных и коллоидных примесей.

Концентрация  $\text{Fe}^{3+}$  в исследуемых растворах колебалась от 1,5 г/л до 23 г/л,  $\text{Fe}^{2+}$  – от 2,0 до 120 г/л в зависимости от условий обработки. Для дальнейших исследований был выбран раствор, полученный при обработке 5 г магнитной фракции ЖСП 36,5 мл 18%-ной соляной кислотой при температуре 100°C в течение 30 минут с последующим хранением в течение недели, т.к. в этом случае наблюдалась наибольшая концентрация  $\text{Fe}^{3+}$ . После фильтрования из него готовили 2%-ный раствор коагулянта, который использовали для очистки сточной воды, содержащей мелкодисперсные и коллоидные глинистые примеси (оптическая плотность сточной воды 1,669). Результаты пробного коагулирования представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты пробного коагулирования при отстаивании в течение 15 мин**

Доза коагулянта, полученного из ЖСП, мг/л	Оптическая плотность после отстаивания		Эффективность очистки, %	
	pH = 5,5	pH = 7	pH = 5,5	pH = 7
25	0,415	0,008	75,13	99,52
50	0,447	0,007	73,21	99,58
75	0,524	0,011	68,60	99,34
100	0,539	0,014	67,70	99,16
150	0,542	0,021	67,52	98,74

Как видно из таблицы 2, полученный из отхода коагулянт обеспечивает высокую эффективность очистки сточных вод от взвешенных веществ при pH = 7. При этом высокая эффективность очистки (более 99%) достигается при малых дозах коагулянта. Также было установлено, что очистка происходит интенсивнее, чем при использовании выпускаемого промышленностью коагулянта FeCl<sub>3</sub>, что может быть связано с образованием кремниевых кислот при обработке отхода соляной кислотой. При этом возможен процесс их поликонденсации, в результате которого образуется гель поликремниевых кислот, проявляющий флокулирующие свойства, что обеспечивает повышение эффективности очистки сточных вод от мелкодисперсных и коллоидных примесей.

Немагнитную фракцию, учитывая ее элементный и фазовый состав, предлагается использовать в керамической промышленности, например, в производстве керамического кирпича, облицовочной плитки, керамзита и др.

Таким образом, комплексная переработка ЖСП позволит получить востребованную продукцию (коагулянты и керамические изделия) и снизить воздействие литейного производства на окружающую среду за счет предотвращения размещения в ней отходов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Первов, А.Г. Водоснабжение промышленных предприятий / А.Г. Первов. – Издательство: Инфра-Инженерия, 2022 г. – 440 с.
2. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник. – Минск, 2021. – 203 с.
3. Карюхина, Т.А. Химия воды и микробиология / Т.А. Карюхина, И.Н. Чурбанова – М.: Стройиздат, 1995. – 208 с.
4. Общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 021-2019 «Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь»: утвержден Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 9 сентября 2019 г. № 3-Т // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2019. – № 8/34631.

**МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКИ АРАЗ**

Будучи главным притоком р. Куры и вторым по величине водности на Закавказье, р. Араз берет свое начало с горных местностей Бингел, на территории Турции. В верховьях бассейн р. Араз граничит с бассейном р. Ефрат [1]. Водосборная площадь р. Араз составляет 102 тыс км<sup>2</sup>, что равна 54.2% площади бассейна р.Куры связана с территориями Турции, ИИР, Армении и Азербайджаном. Из общей длины Араза, а это 1072 км, на территории Турции длина русла составляет 357 км, что в 2 раза больше протяженности р.Куры в Турции. Многолетними-повторными исследованиями установлено, что на территории Турции и ИИР р.Араз слабо подвержен антропогенным воздействиям, т.к. протекает среди горных массивов, а до гиперсапробности загрязняется на территории Армении [2]. Достаточно напомнить, что вся территория Армении относится к водосборной площади р.Араз и все промышленно-бытовые сточные воды сбрасываются на прямую в реку, без очистки или попадают в воды р.Араз по местным левобережным притоками. Вторым, отправляющим источником вод р.Араз является р. Охчучай, которая несет сотни тонн солей тяжелых металлов, тысячи кубометров концентрированных кислот металлобогатительных промышленных объектов городов Кафан, Каджаран и шахтенные воды, в составе которых указанные поллюанты, превышающие ПДК в сотни раз.

Р. Араз является главной рукав р. Куры и второй по величине большой рекой Закавказья. Она тоже берет свое начало из горных массивов Бингель в Турции. Длина р. Араз составляет 1072 км, а площадь водосбора – 102 тыс. км<sup>2</sup>. Верхняя часть реки длиной более 370 км протекает внутри, предгорья Турции. Начиная с пункта слияния р.Араза с западным Арпачаем служит границей с Арменией, в районе выхода из территории г. Игдыра. На расстоянии 12 км считается зоной границы с Азербайджаном (Нахичеванская АР). Река Араз с давних времен является границей Турции с Арменией, Ирана с Азербайджаном, Арменией. Микробиологические, гидрохимические и гидробиологические исследования р. Араз за пределами Азербайджана проводились поэтапно в разное время. В отличие от р. Куры, на наше предложение о совместном исследовании на водосборной площади р. Араз со специалистами АН Армении с 70 –х годов не проводились. Известно, что вся территория Армении относится к площади водосбора р. Араз, и что крупные города, по специальному коллектору сбрасывают в реку, в погранзоне

с Нахичеванской АР сточные воды без очистки. – В 1966, 1976, 1983, 1987 гг. учеными Азербайджана (Аз ССР) проводили исследования состояния реки и основных ее рукавов в пределах Араратской долины. Начиная с 2005 по 2013 гг. систематически, более 8 раз проводились исследования р. Араз на территории Турции, включая участки пограничной зоны с Арменией. Сбор материала и наблюдения по сезонам с повторностью в 2 раза проводились на 16 станциях, 5 из которых были назначены в зоне границы с Арменией. Образцы воды и грунта отобраны с соблюдением асептики бутылочным батометром Ю.И.Сорокина [3], малой трубкой ГОИН-а. Общее число микроорганизмов определена по методу А.С. Разумова [4], сапрофитные, колиформные и физиологические группы бактерий учтены путем посева на селективные среды, составы которых указаны в лабораторных руководствах В.И.Романенко, С.И.Кузнецова [5] и А.Г.Родиной [6]. Величина деструкции органического вещества, как один из надежных показателей степени самоочистки учтена, согласно Г.Г. Винберга [7]. Для установления количественно-качественного состава присутствующего органического вещества в воде глубину его распада и степени сапробности воды в реке Араз применены расчеты соотношения количества сапрофитных бактерий общей численностью по прямому счету [8; 9].

Изучение концентрации биогенных элементов, состоящих из нитрат-нитритов и фосфатов в воде р. Араз на территории Турции и в зоне границы с Арменией показали, что в районе Текман и Керпикой соли минерального азота и фосфора составляют, в среднем, 0,5 и 0,07 мг/л соответственно. Показатели по содержанию минерального азота и фосфора в реке Араз после слияния с Арпачаем, принимающий сточные воды г. Гюмри возрастают в 6 и 13 раз соответственно. Основное, масштабное загрязнение р. Араз происходит в зоне Араратской долины, где расположены крупные города и промышленные центры Армении, включая гг. Еревана, Абовяна, Масиса, Эчмиадзина, Октамберяна и др. Река Араз загрязняется еще и водами левобережных рукавов – Раздан, Севджюр, Памбак, Гетап и др. несущих огромные массы неочищенных промышленно-бытовых сточных вод гг. Севан, Царенцаван, Арзни. Если в районах периферийных городов основное загрязнение связано с производством сельского хозяйства, пищевой, молочной промышленностью, то в таких городах, как Ереван, Абовян, Кировакан, Туманян, Алаверди и другие сосредоточены химическая, металлургическая, нефтехимическая промышленность. Характерно, что первые исследования, проведенные более 50 лет назад (1966г) показали, что количество сапрофитных и колиформных бактерий в воде р. Раздан превышают санитарно-гигиенические нормы в десятки раз, уже тогда наметилась тенденция к возрастанию по течению и по времени (таблица 1).

**Таблица 1 – Численность (тыс/мл) сапрофитных и колиформных бактерий в воде р. Раздан (среднее летом)**

Пункты	Сапрофитные бактерии			Колиформные бактерии		
	1966	1976	1987	1966	1976	1987
г. Севан	3,6	7,6	14,8	1,2	3,1	4,1
г. Чаренцован	9,8	14,8	21,3	3,4	6,6	11,4
г. Раздан	16,2	21,9	39,6	5,4	8,7	13,6
г. Абовян	30,0	38,4	51,3	9,3	17,4	26,3
г. Ереван (мост)	44,0	64,2	86,8	14,6	22,6	37,9
г. Масис	70,0	90,4	126,0	21,3	19,4	28,6
Кратность увелич.	19,4	12,0	8,5	18,0	6,3	7,0

Особенностью вод р. Араз является то, что они постоянно отравляются ядохимикатами, солями тяжелых металлов, нефтепродуктами, фенолами и др. поллютантами медно-молибденовых обогатительных комбинатов городов Каджарана, Кафана, шахтенными водами многочисленных штольни месторождений металлов и водами р. Охчичая, лишенной полностью фауны-флоры по всему течению до слияния с р. Араз [10]. Отравления водой р. Охчичай растительности, деревьев, даже домашнего скота и птиц в деревнях-селениях по течению были отмечены еще в 60-ые годы прошлого века [4]. Известно, что в технологии обогащения из руд молибдена, меди и др. тяжелых металлов применяются концентрированные минеральные кислоты: серная и соляная. По данным С.Н.Алиева [11] только в 1974 г со стоком р.Охчичая в р.Араз поступило свыше 940 м<sup>3</sup> растворов кислот. Результаты проведенных в 1978 г М.Салмановым исследований показали, что после слияния воды р. Охчичай с водой Араза, на расстоянии более 25 км по течению численность сапрофитных бактерий сократилась на 60 % [10]. Проводимые мониторингового характера анализы воды на приграничных участках р. Араз и некоторых трансграничных рек Гидрометеослужбой Минстерства Экологии и Природных Богатств Азербайджана показывают превышение многих поллютантов в них (таблица 2).

**Таблица 2 – Среднегодовые ПДК некоторых гидрохимических ингредиентов в воде р. Охчичай у с. Шайыфлы на границе с Арменией**

Год	Медь, мг/л	Молибден, мг/л	Железо, мг/л	О <sub>2</sub> , мг/л	pH
ПДК	0,001мг/л	0,004 мг/л	0,005мг/л	Не менее 4,0	6,5–8,5
1987	710–810	120–140	16–17	0	2,10
1988	19–22	25–30	8–10	0	2,20
1989	25–30	200–240	30–40	0	2,20
1990	130–180	260	29	0	2,40
1991	890	1290	46	0	3,40
1992	980	2500	38	0	2,30
1993	950	2100	50	0	2,20

Усугубляется проблема экологической безопасности воды р. Араз еще с поступлением в него сточных вод АЭС Мецамор, Турция. Микробиологические исследования вод в реке Араз на территории Турецкой Республики выполнены посезонно в 2005–2006 гг.

Следует подчеркнуть, что основная часть водосборной площади р. Араз на территории Турции пологая сравнительно ровная, растительный покров слабый, особенно лесной массив здесь гораздо меньше. Сток самой реки и ее рукавов используются местными населенными больше, нежели на бассейне верхней Куры. На площади водосбора р. Араз, населенных пунктов с большим числом жителей гораздо больше. В тоже время, сточными водами таких городов как Игдыр, Сарыкамыш, Карс, Пасинляр, Кагзман и др. р. Араз непосредственно не загрязняются. Характерно, что сточные воды в них отводятся в сторону, подвергаются биологической очистке методом орошения и фильтрации, а затем используются в аграрном производстве. Полученные результаты по числу сапрофитов, колигрупп и общего количества микроорганизмов сгруппированы в таблице 3, из которой видно, что все показатели до поступления воды р. Арпачай с территории Армении соответствуют группе мезосапробного водоема.

**Таблица 3 – Общее число микроорганизмов (млн/мл), количество сапрофитных (тыс/мл) и колиформных (кл/л) бактерий в воде р. Араз (среднее, летом)**

Пункты	Общее число микроорганизмов	Количества сапрофитных бактерий	Число колиформных бактерий
Пасинляр	4,5	4,8	160
Керпикой	4,1	2,8	90
Далидара	5,6	4,8	240
Буланьгсу	3,8	1,1	26
Карагурт	4,4	2,1	38
Сарыкамыш	5,6	1,1	20
Карсчай	7,9	13,2	130
Кагзман	6,3	9,8	290
Арпачай	9,8	24,6	360
Дузлуджа	12,6	36,8	680
Садарак	19,7	46,3	800

Следует отметить, что по сравнению с водой р. Куры, вода р. Аракса на территории Турции гораздо мутнее. Несмотря на это, интенсивное увеличение микробиоты аллохтонно-почвенного происхождения не удалось установить. В некоторых пунктах, например, у гг. Пасинляр, Сарыкамыш, Карсчай и Хорасан было отмечено локальное загрязнение воды. В тоже время, как в верхней Куре, здесь по течению

на расстоянии 15–22 км. Экосистема реки восстанавливает свою стабильность в воде и в донных отложениях физиологические группы бактерий, как свободноазотфиксирующие, клетчаткаразлагающие, сульфатредуцирующие, денитрификаторы весьма слабо развиты и выделяются в единичных таксонах. Также не велики и показатели биологического потребления кислорода, хотя сравнительно заметно возрастает оно в образцах воды ниже слияния р. Арпачай. Поэтому можно полагать, что обогащение воды в пределах Армении аллохтонным органическим веществом связано с поступлением сточных вод. Летом 2007 г. проводили специальное исследование на р. Араз в Армении и Турции, определяли общее число микроорганизмов, количество сапрофитных и колиформных бактерий и суточное потребление кислорода воды по биологическому потреблению кислорода (БПК).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рустамов С.Г., Кашкай Р.М. Водной баланс Азербайджанской ССР. Баку, «Элм», 1978, 110 с.
2. Салманов М.А. Вопросы экологической безопасности трансграничных водоисточников Азербайджана. Мат. III конф. РЭЦ Кавказа. Тбилиси, 2003, с. 210-216
3. Сорокин Ю.И. Батометр для отбора проб воды на бактериологический анализ. Бюлл. Ин-та БВ АН СССР, 1060, 6, с. 53-54.
4. Разумов А.С. Прямой метод учета бактерий в воде, сравнение его с методом Коха. Микробиология, 1932, т. 1, с. 131-146.
5. Романенко В.И., Кузнецов С.И. Экология микроорганизмов пресных водоемов (Лабор. руководство). 1974, 194 с.
6. Родина О.Г. Методы водной микробиологии. Л., «Наука», 1965, 354 с.
7. Винберг Г.Г. К вопросу о балансе органического вещества в водоемах. Тр. Лимнолог. станции в Косине, 1934, вып. 18, с. 5-24.
8. Горбенко Ю.А. О наиболее благоприятном количестве «сухого питательного агара» в средах для культивирования гетеротрофных микроорганизмов. Микробиология, 1961, т. 30, вып. 1, с. 168-172.
9. Романенко В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. 1985, «Наука», 295 с.
10. Мансуров А.Э., Салманов М.А. Экология р. Куры и водоемов ее бассейна. Баку, 1996, 160 с.
11. Алиев С.Н. Микрофлора р. Куры и ее роль в процессах самоочищения. Автореф. дисс. к.б.н., Киев, 1980, 22 с.

**Маркевич Р.М., Мархотко К.Ф.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**Романова Л.В.**

(Институт микробиологии НАН Беларуси)

## **БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

Нефтешламы – сложные физико-химические смеси, образующиеся при добыче, транспортировке и переработке нефти. Нефтешламы состоят из нефтепродуктов, механических примесей (глины, окислов металлов, песка) и воды. Соотношение составляющих нефтешлам компонентов может быть самым различным [1].

К основным методам переработки нефтешламов относятся складирование, термическое, химическое, физико-химическое и механическое воздействие, биоремедиация. Преимуществами биологического метода являются экологическая безопасность, возможность деградации загрязняющих веществ до безвредных промежуточных продуктов без дополнительного загрязнения окружающей среды. Скорость биодegradации зависит от многих факторов: температуры, влажности, растворимости и степени дисперсности углеводородов, численности и оксигеназной активности микроорганизмов [2].

Применение технологий, основанных на деструкции органических соединений биопрепаратами на основе активных штаммов микроорганизмов-нефтедеструкторов, является перспективным способом ликвидации техногенных загрязнений. Объектом исследования послужил шлам, образовавшийся в ходе бурения на Речицком месторождении. В качестве препарата использовался Родобел-ТН, разработанный в Институте микробиологии НАН Беларуси. Задача исследования заключалась в установлении условий обезвреживания образцов с различным исходным содержанием нефтепродуктов.

Препарат Родобел-ТН представляет собой консорциум высокоактивных микроорганизмов-деструкторов углеводородов нефти, титр – не менее  $1,0 \cdot 10^9$  КОЕ/мл. Препарат добавляли согласно рекомендациям по применению: в образец объемом  $250 \text{ см}^3$  вносили 13,75 мл исходного препарата, для обеспечения меньшей концентрации клеток препарат разбавляли в 10 и 100 раз, для увеличения концентрации клеток повышали дозу препарата. Подпитка микроорганизмов биогенными элементами проводилась дважды на 14 и 42 сут культивирования. Для подпитки использовались азотно-фосфатно-калийные удобрения Belfert 16-16-16 % в количестве 15 мл в виде 5 % раствора. Инкубирование

образцов проводили при температуре 20°C. Кроме того, оценивали ход деструкции нефтепродуктов при температурах 7 и 30°C.

Для определения содержания углеводородов использовали мультфильный анализ, основанный на разделении и последующем измерении объемов водной, нефтяной и твердой фаз нефтешлама.

Для оценки состава микробиоты проводилось исследование суспензии, приготовленной из образцов нефтешлама: навеску массой 1 г ресуспендировали в 10 мл воды, высевали 0,1 мл суспензии на плотную среду (питательный агар) методом Коха, инкубировали в термостате при 30°C в течении 2 сут. Готовили препарат «раздавленная капля» и микроскопировали при на увеличении 100х. По морфологическим признакам оценивали долю микробиоты препарата в образцах с различным исходным содержанием нефтепродуктов.

При инкубировании образцов нефтешлама с высокой концентрации нефтепродуктов наблюдалось так называемое нефтяное зеркало, т.е. сорбирование нефти на поверхности. В ходе инкубирования данный эффект исчезал вследствие уменьшения содержания нефтепродуктов. В таблице 1 приведена степень деструкции нефтепродуктов при инкубировании образцов.

**Таблица 1 – Степень деструкции нефтепродуктов**

Концентрация препарата КОЕ/мл	Исходное содержание нефтепродуктов, % об.	Степень деструкции нефтепродуктов (%) при продолжительности обработки, сут						
		14	28	42	56	70	84	98
5,5·10 <sup>5</sup>	1,0	0	0	5,0	10,0	20,0	25,0	30,0
5,5·10 <sup>6</sup>	1,0	0	20,0	25,0	30,0	40,0	45,0	50,0
5,5·10 <sup>7</sup>	1,0	10,0	25,0	35,0	50,0	60,0	65,0	70,0
1,1·10 <sup>8</sup>	1,0	15,0	25,0	35,0	50,0	60,0	70,0	80,0
1,65·10 <sup>8</sup>	1,0	15,0	25,0	40,0	60,0	70,0	75,0	80,0
5,5·10 <sup>5</sup>	2,0	0	0	0	5,0	7,5,0	10,0	12,5
5,5·10 <sup>6</sup>	2,0	2,5	5,0	10,0	15,0	20,0	27,5	30,0
5,5·10 <sup>7</sup>	2,0	7,5	10,0	17,5	25,0	30,0	37,5	40,0
1,1·10 <sup>8</sup>	2,0	7,5	15,0	20,0	25,0	32,5	45,0	50,0
1,65·10 <sup>8</sup>	2,0	10,0	17,5	20,0	30,0	35,0	47,5	52,5
5,5·10 <sup>5</sup>	4,0	0	0	0	2,5	3,8	6,3	7,5
5,5·10 <sup>6</sup>	4,0	0	2,5	6,3	10,0	13,8	15,0	17,5
5,5·10 <sup>7</sup>	4,0	0	3,8	3,7	7,5	16,3	23,8	25
1,1·10 <sup>8</sup>	4,0	1,3	5,0	8,8	15,0	20,0	25,0	27,5
1,65·10 <sup>8</sup>	4,0	1,3	3,8	8,8	17,5	25	28,8	30,0
5,5·10 <sup>5</sup>	6,0	0	0	0	1,2	2,5	4,2	5,0
5,5·10 <sup>6</sup>	6,0	0	0,8	2,5	6,7	9,2	10,0	11,7
5,5·10 <sup>7</sup>	6,0	0,8	1,7	3,3	8,3	10,8	15,8	16,7
1,1·10 <sup>8</sup>	6,0	0,8	1,7	2,5	10,0	13,3	18,3	20,0
1,65·10 <sup>8</sup>	6,0	0,8	1,7	3,3	11,7	16,7	20,0	22,5

Микробиота исходных образцов представлена 5–6 морфологически различающимися группами аборигенных микроорганизмов. Результаты микроскопирования в ходе инкубирования свидетельствуют о том, что повышенное содержание нефти замедляет рост и развитие клеток препарата, однако полностью не угнетает, и аборигенная микробиота постепенно вытесняется.

Из приведенных данных следует, что при невысоком исходном содержании нефтепродуктов (1 и 2 %об.) уже к 14–28 сут наблюдается разница в степени деструкции нефтепродуктов в образцах с разной дозой препарата. Более высокое содержание нефтепродуктов оказывает ингибирующее действие на микробиоту препарата и только к 42 сут для 4 %об. и к 56 сут для 6 %об. нефтепродуктов начинается их деструкция.

К концу эксперимента (98 сут) наибольшая степень деструкции нефтепродуктов (80%) достигнута для образцов с исходным их содержанием 1 % об. при использовании дозы препарата, обеспечивающей концентрацию клеток  $1,1 \cdot 10^8$  и  $1,65 \cdot 10^8$  КОЕ/мл. При возрастании исходного содержания нефтепродуктов степень их деструкции снижалась и составила 52,5; 30,0 и 22,5 % для образцов с исходным содержанием нефтепродуктов 2,0; 4,0 и 6,0 %об. соответственно.

Таким образом, дозу препарата необходимо подбирать в зависимости от исходного содержания нефтепродуктов и желаемой продолжительности и степени их деструкции.

Температура 7°C не благоприятна для развития микробиоты препарата, за время эксперимента значимой деструкции нефтепродуктов не зафиксировано. Инкубирование образцов при температуре 30°C ускорило процесс развития биомассы и разложения нефтепродуктов, однако с течением времени разницы между скоростью деструкции при температурах 20 и 30°C не наблюдалось. Температура 20 °C является благоприятной для инкубирования и легче достигаемой с практической точки зрения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов, Л.И. Переработка и утилизация нефтесодержащих отходов: монография / Л. И. Соколов – М.: Инфра-Инженерия. – 2017. – 160 с.

2. Афанасьев, С.В. Анализ методов переработки нефтешламов. Проблемы и решения / С.В. Афанасьев и др. // Инновации и «Зелёные» технологии: материалы Второй Всероссийской науч.-практ. конф. – Тольятти, 19 апреля 2019 г. – С. 22–27.

**К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГУЗА-ПАИ.  
УСАДКА ГУЗА-ПАИ В ПРОЦЕССЕ ПРОВЕДЕНИЯ  
ДВУХ СТУПЕНЧАТОГО КИСЛОТНОГО ГИДРОЛИЗА**

Гуза-пая – перспективный вид сырья для гидролизной переработки. Содержание легкогидролизуемых полисахаридов (ЛГП) – 20,55 % от а.с.с. и трудногидролизуемых полисахаридов (ТГП) – 38,32 % от а.с.с. [1]. Из этого сырья можно получать массу ценных и востребованных на рынке готовых продуктов, а также продукты, которые используются в других отраслях промышленности в качестве исходного сырья. К этим продуктам необходимо отнести: фурфурол, этиловый спирт (биоэтанол), гидролизные кормовые дрожжи и на их основе белковые витаминные добавки с различными функциональными свойствами за счет обогащения витаминами различных групп, продукты переработки лигнина. Гидролизные дрожжи вследствие высокого содержания в них полноценных, хорошо усвояемых белков, биологически активных веществ, витаминов, ферментов, гормонов и микроэлементов идут на корм для домашних животных и птиц. Добавка кормовых дрожжей к растительным кормам, богатым углеводами, значительно улучшает их качество и повышает биологическую ценность. Гидролизные дрожжи по питательности и усвояемости не уступают кормам животного происхождения. В дрожжах содержится 43–55 % белка, который в свою очередь содержит жизненно необходимые аминокислоты. В золе кормовых дрожжей содержатся также ценные для животных и птиц макро- и микроэлементы. Содержание золы в абсолютно сухом сырье составляет в гуза-пая до 10 %, для сравнения в хлопковой шелухе – 2,64 % [2].

Цель настоящего исследования – определить усадку гуза-пая при проведении двухступенчатого кислотного гидролиза, фурфурольно-гексозной варки.

При одноступенчатом гидролизе уровень сырья в гидролизаппарате снижается не более 5–10 %, но при последующей варке с выдачей гидролизата из нижнего конуса гидролизаппарата вследствие значительной разницы в давлениях под нижним фильтром и над сырьем наблюдается значительное сжатие и оседание сырья. Уровень сырья снижается на 40–50 %. При кислотном гидролизе полисахаридов растительного сырья лигнин обычно сохраняет свою структуру. Фрагменты лигнина в большинстве случаев сохраняют размеры и форму исходного сырья.

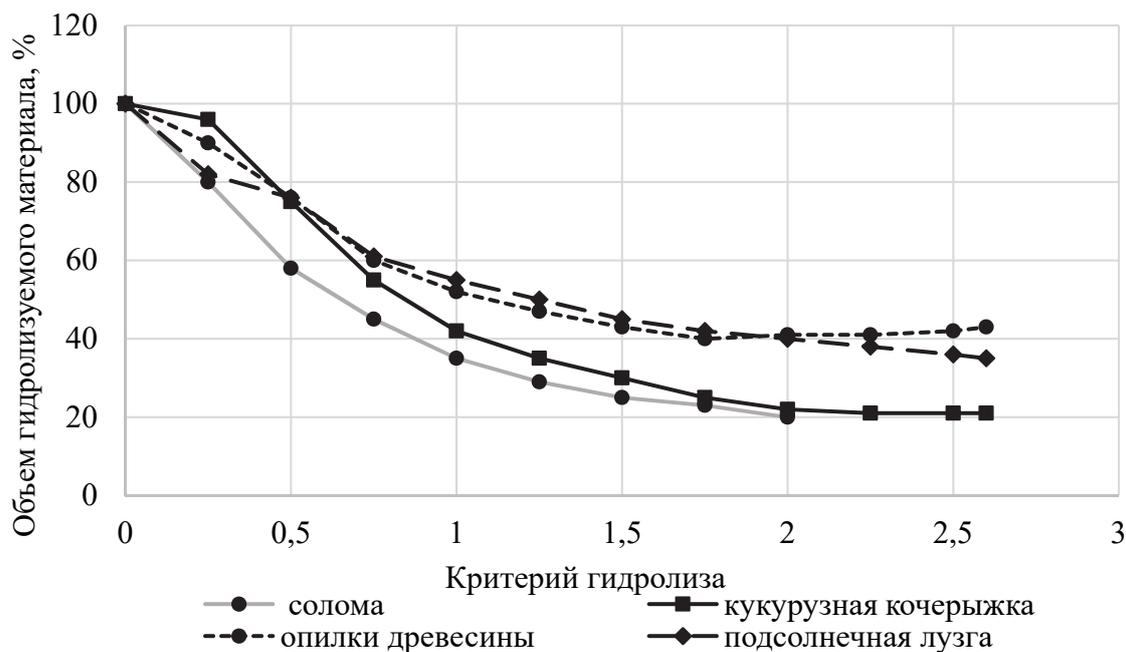
Перколяционный способ гидролиза предусматривает наличие так называемой варочной кислоты над гидролизуемым сырьем. При отборе гидролизата эта жидкость встречает сопротивление гидролизуемого материала, в результате чего возникает перепад давления между верхней и нижней зонами гидролизатора. Уровень сырья в процессе перколяции непрерывно снижается, и это оседание остатков исходного сырья (лигнина) достигает 60–65%. Оседанию остатка при перколяции способствует также почти полное удаление целлюлозы, которая в процессе перколяции подвергается незначительной деструкции и в известной степени предохраняет лигнин от сильного сжатия. Для обеспечения равномерного послойного вытеснения гидролизата из аппарата при перколяции уровень жидкости в гидролизаторе должен быть не ниже уровня сырья.

Скорость оседания сырья при перколяции зависит от структуры и качества исходного сырья, и особенно от природы лигнина.

Изменение объема сырья во времени при перколяционной варке зависит от качества сырья, глубины гидролиза, определяемой принятым режимом, и разности давлений над сырьем и под фильтрующими слоями. Эта величина устанавливается эмпирически для каждого вида сырья. По мере углубления гидролиза, сырье претерпевает значительные физические и химические изменения, которые приводят к усадке его в аппарате. Одновременно с усадкой сырья происходит и уменьшение рабочего запаса жидкости. Сжатие сырья при перколяционном гидролизе оказывает существенное влияние на скорость протекания через него гидролизата. В начале варки скорость движения гидролизата через слой сырья практически не ограничена, но по мере сжатия сырья скорость протекания жидкости через него замедляется и в дальнейшем становится лимитирующим фактором технологического режима гидролиза. Для сохранения заданной скорости движения гидролизата через слой сырья в производственных условиях приходится вести процесс с постоянным повышением давления в гидролизаторе.

Изменение объема различных видов растительного сырья в процессе варки, по мере удаления содержащихся в нем полисахаридов показано на рисунке 1. Контроль над запасом жидкости в гидролизаторе в процессе варки осуществляется с помощью весомеров. Весомеры регулируются перед каждой варкой так, чтобы нулевое положение стрелки его соответствовало весу пустого гидролизатора.

Знание степени усадки перерабатываемого сырья необходимо для установления оптимальных технологических параметров режима гидролиза.



**Рисунок 1 – Изменение объема различных видов растительного сырья в гидролизаторе при перколяционном гидролизе**

Исследования проводились на лабораторном аппарате, позволяющем вести последовательно процесс отгонки фурфуролсодержащего пара (ФСР) и кислотного гидролиза целлюлозного гуза-паи. Отгонка ФСР проводилась при температуре 80–110°C, кислотный гидролиз при температуре 120–160°C с периодическим отбором проб на каждой стадии процесса. В процессе исследований использованы статистические и аналитические методы, системный анализ и проведено обобщение теоретических источников научной литературы. Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием компьютерных программных приложений MS Excel.

Аппарат объемом 4,0 л загружали предварительно измельченным и смоченным раствором серной кислоты сырьем (размер фрагментов гуза-паи 2,0–4,0 см, диаметр 5,5–7,5 мм), модуль смачивания – 0,4. Проводили прогрев паром и далее проводили подачу пара и отбор фурфурол-содержащего пара (ФСР), затем проводили варку целлюлозного гуза-паи. ФСР пропускать через холодильник, где конденсировался. После достижения определенной глубины гидролиза, процесс останавливали, аппарат отключали от технологического потока, снижали давление путем сброса в атмосферу, открывали верхнюю крышку, соблюдая особые правила техники безопасности, измеряли уровень сырья в аппарате и отбирали пробу гидролизующего сырья из верхнего слоя. В аппарат подавали пар из пароперегревателя. Давление насыщенного водяного пара, подаваемого в аппарат 4–10 атм, продолжительности двухфазного гидролиза составил 220–300 мин.

Усадку гуза-пай в аппарате определяли на следующих операциях варки: после прогрева; после выдачи ФСП; через каждые 20 мин от начала варки, перколяции; перед отжимом; после отжима.

Данные по усадке сырья получали путем замера линейкой расстояния от верхнего уровня сырья по вертикали до горловины аппарата.

Объем гидролизуемой массы в аппарате рассчитывали, исходя из геометрических размеров аппарата.

Расчет количества целлолигнина гуза-пай, оставшегося после парофазного гидролиза, вычисляли по формуле [4]:

$$V_1 = V - V[(0,21 + 0,383(1 - e^{-R_1})],$$

где:  $V_1$  – количество оставшегося сырья (кг),  $V$  – количество исходного сырья (кг), 0,21 – содержание легкогидролизуемых полисахаридов (20,55,00 %); 0,383 – содержание трудногидролизуемых полисахаридов (38,30 %).  $R_1$  – критерий гидролиза варки;  $e$  – основание натурального логарифма (2,3).

Критерий гидролиза, находили по параметрам варок по формуле:

$$R_1 = (\beta kct)_1 + (\beta kct)_2 + \dots,$$

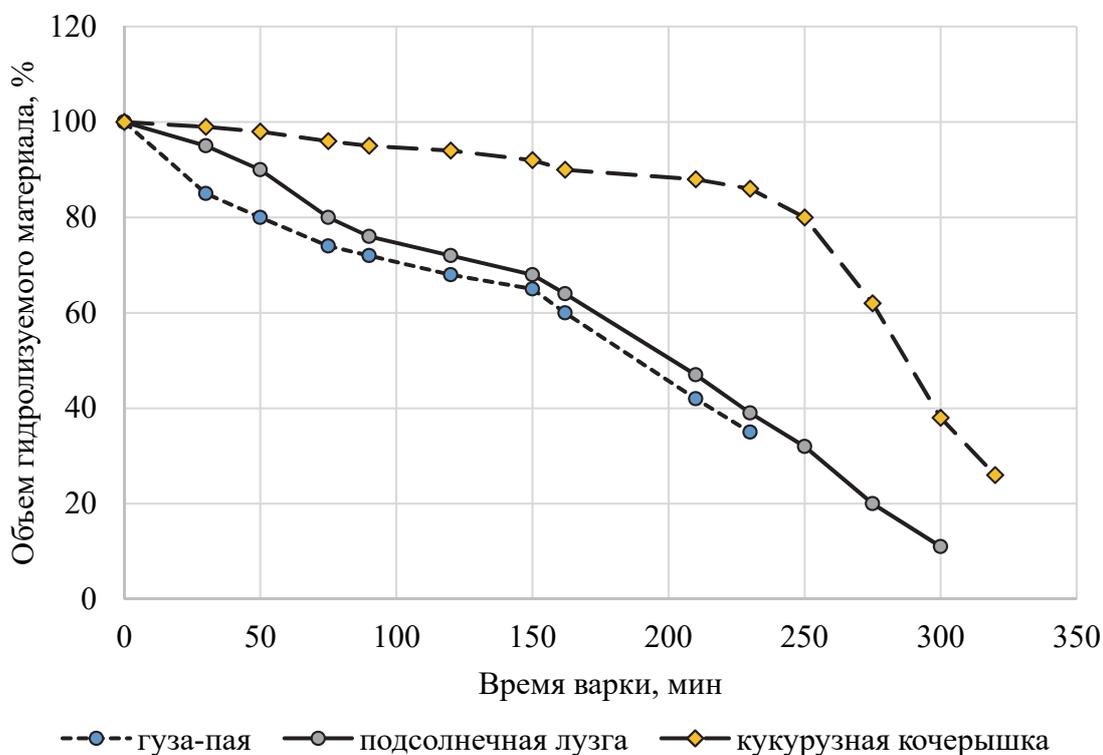
где  $R_1$  – критерий гидролиза;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий гидролизуемость целлюлозы гуза-пай по отношению к скорости гидролиза древесной целлюлозы (по экспериментальным данным 0,93 [3]);  $k$  – минутная константа скорости гидролиза древесной целлюлозы для соответствующих температур [1,51 Кц (целлюлозы) при той же температуре];  $c$  – концентрация рабочего раствора серной кислоты, 0,8–1,0 %;  $t$  – время варки, мин.

Объем жидкости в аппарате (в нашем случае запас жидкости) определяли по разности показаний влажного целлолигнина и веса а. с. целлолигнина. Полученные результаты по усадке гуза-пай в процессе отбора ФСП и перколяционного гидролиза и содержанию жидкости в аппарате приведены на графике рис. 2.

На рисунке 2 показана динамика усадки в процессе варки рисовой лузги и кукурузной кочерыжки, и усадка гуза-пай, определенная нами. Данные по усадке рисовой лузги и кукурузной кочерыжки приведены из литературных источников [5].

Как видно из графика рисунка 2, объем гидролизуемой массы в конце варки составляет для гуза-пай – 36 %, подсолнечной лузги – 23%, кукурузной кочерыжки – 16% от первоначального объема. Значительное различие в усадке трех видов сырья при сравнительно одинаковой глубине их гидролиза (конец варки), объясняется разными физико-

химическими свойствами и строением исследованного сырья. Для гуза-пай характерной особенностью при кислотном гидролизе является незначительная степень деструкции. На всех стадиях варки гуза-пай сохраняла первоначальную морфологическую структуру в отличие от подсолнечной лузги и кукурузной кочерыжки.



**Рисунок 2 – Изменение объема сырья в процессе гидролиза**

Если принять удельный вес прогретой гидролизуемой массы сырья за единицу и сравнить ее общий вес с ее объемом в процессе варки, то по запасу жидкости эти величины в процессе перколяции и промывки должны быть примерно одинаковыми.

Гуза-пай в процессе варки практически неподвержена деструкции, сохраняет первоначальную морфологическую структуру.

Подача варочного раствора при перколяции должна соответствовать объему гидролизуемого сырья в аппарате. В этом случае при варке сырье будет полностью покрыто варочной кислотой, будет соблюдено одно из главных условий перколяционного гидролиза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дернович А.В., Приз Л.А. «О возможности использования гуза-пай в гидролизном производстве». Журнал «Гидролизная и лесохимическая промышленность», № 6, 1987 г.

2. Морозов Е.Ф. Производство фурфурола. – М.: Лесная промышленность, 1979.

3. Корольков И.И. Перколяционный гидролиз растительного сырья. – М.: Лесная промышленность, 1978.

4. Корольков И.И., Папашников Л.М. «Об изменении рабочего запаса жидкости и внутреннего гидромодуля при перколяции» НТИ ЦБТИ бумажной и деревообрабатывающей промышленности., 1960.

5. Шарков В.И. «Исследования в области изучения химического состава растительного сырья и теории гидролиза». Сб. Трудов ВНИИГС, XIV, 30.

УДК 622.765.622.2

**Хурсанов А.Х., Негматов С.С., Негматова К.С.,  
Абед Н.С., Икрамова М.Э., Негматов Ж.Н.,  
Рахимов Х.Ю., Бозоров А.Н., Раупова Д.Н.**

(ГУП «Фан ва тараккиёт» при ТГТУ имени Ислама Каримова)

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
ХИМИЧЕСКИХ ФЛОТОРЕАГЕНТОВ-ВСПЕНИВАТЕЛЕЙ  
НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ,  
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИИ  
МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД**

Проблема разработки эффективной технологии получения композиционных химических флотареагентов-вспенивателей на основе местного сырья и отходов производств является одним из перспективных направлений в области разработки новых составов и технологии получения композиционных химических флотареагентов-вспенивателей для флотации руд цветных и благородных металлов [1, 2].

Существуют более двухсот пенообразователей для флотации руд. Реагенты-пенообразователи по классам делят на спирты, фенолы, кислоты, эфиры, гетероциклические, кремнийорганические и серосодержащие соединения [3, 4].

Следовательно, для получения качественных композиционных химических флотареагентов-вспенивателей на основе органоминеральных ингредиентов из местного сырья и отходов производств необходимо иметь высокоэффективную технологию и на ее основе оригинальную технологическую линию, включающую в себя основной узел: реакторы в комплексе с соответствующими рубашкой, двигателем, редуктором,

мешалкой, краном, дозатором и приспособлениями, обеспечивающими получение качественного и более дешевого композиционного химического флотореагента-вспенивателя типа КХФ-ВС.

*Целью исследования* является технология получения композиционных химических флотореагентов-вспенивателей на основе местного сырья и отходов производств для применения в процессе флотации медно-молибденовых руд.

По результатам проведенных исследований выявлено, что взаимодействие химических флотореагентов-вспенивателей с частицами металлов в основном зависит от природы и поверхности руды и от физико-химических свойств органо-неорганических ингредиентов в составе композиционного химического флотореагента-вспенивателя типа КХФ-ВС.

В этом плане важным физико-химическим свойством твердых тел является способность к смачиванию жидкостями, в частности, к смачиванию водой. Это различие в смачиваемости минералов водой и заложено в основу флотационного метода обогащения полезных ископаемых. Различие в смачиваемости обусловлено природой химической связи кристаллической решетки. Минералы, хорошо смачиваемые жидкостью, относятся к группе лиофильных (буквально – любящие растворяться). Леофильные вещества активно взаимодействуют с растворителями. В условиях флотации жидкой фазой является вода, поэтому используется термин гидрофильность [5].

Для получения композиционных химических флотореагентов-вспенивателей нами разработана технологическая схема процесса получения композиционных химических флотореагентов-вспенивателей на основе местного сырья и отходов производств.

Разработанная технология получения композиционных химических флотореагентов-вспенивателей на основе органо-неорганических ингредиентов из местного и вторичного сырья включают в себя следующие процессы:

- приготовление сырьевых материалов;
- приготовление отходов производств;
- смешивание с модифицированной порошкообразной госсиполовой смолой и глицерином;
- перемешивание их с сосновым маслом, алкил бензолом и лаурилсульфатом натрия;
- перемешивание предварительно полученной композиции с ИАФом;
- готовая продукция;
- перевозка готовой продукции.

Таким образом, разработаны научно-методические принципы технологического процесса получения эффективного состава композиционных

химических флотореагентов-вспенивателей типа КХФ-ВС на основе местного сырья и отходов производств, которые позволяют создать их производство.

На основе разработанной технологии были получены опытные партии разработанного нового состава композиционного химического флотореагента-вспенивателя и проведены опытно-промышленные испытания в производственных условиях на Опытно-обогащительной фабрике ТЦРиВИТ АО «Алмалыкский ГМК» для флотационного обогащения медно-молибденовых руд месторождения «Кальмакыр».

Для проведения опытно-промышленных испытаний на ООФ ТЦРиВИТ с целью определения возможности замены дорогостоящего флотореагента-вспенивателя Т-92 российского производства без снижения технологических показателей была доставлена проба руды «Кальмакырского» месторождения в количестве ~400 т. Согласно паспортным данным содержание в руде: меди – 0,331 %, молибдена – 0,00713 %, золота – 0,675 г/т и серебра – 2,694 г/т.

В период испытаний производился отбор балансовых проб продуктов обогащения и исходной руды (с конвейерной ленты) для расчета технологических показателей и формирования суточных проб с целью определения вещественного и фазового состава руды. Вещественный и фазовый состав проб руды согласно анализам ЦАЛ приведен в таблицах 1 и 2.

Сульфидность руды по этапам составила от 83,2 % до 84,2%.

**Таблица 1 – Вещественный состав руды месторождения «Кальмакыр»**  
(отбор проб руды производился с конвейера перед мельницей 1 стадии измельчения)

Исходная руда, дата	Содержание									
	г/т		%							
	Au	Ag	Cu	Mo	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	S <sub>общ.</sub>	Fe
9-13.08.21 г.	0,44	2,36	0,37	0,0098	12,03	1,29	2,28	59,95	2,10	6,02
16-23.08.21 г.	0,43	2,05	0,34	0,011	11,99	2,36	2,63	58,08	1,16	5,25
24-27.08.21 г.	0,40	2,20	0,36	0,01	11,73	1,63	2,50	56,30	1,89	7,66

**Таблица 2 – Фазовый состав Cu в руде**  
(отбор проб руды производился ежечасно со слива гидроциклона)

Исходная руда, дата	Содержание фазовых составляющих, %				Содержание в сумме фракций, %	Сульфидность, %
	Окисленные минералы		Сульфидные минералы			
	Свободные	Связанные	Первичные	Вторичные		
I этап (9-13.08.21 г.)	0,043	0,012	0,298	0,018	0,372	84,2
II этап (16-23.08.21 г.)	0,052	0,01	0,268	0,025	0,351	83,2
III этап (24-27.08.21 г.)	0,054	0,01	0,279	0,024	0,361	83,8

Для определения размеров частиц и гранулометрический состав медно-молибденовой руды использовали ситовой метод анализа.

Выполнен гранулометрический анализ руды с распределением металлов по классам крупности. Выход готового класса – 0,071 мм в исходной руде по результатам гранулометрического анализа составил 18,11%. Наибольшее содержание меди – 0,49%, золота 0,58 г/т, молибдена 0,016% находится в классе – 0,071 мм. Меди, молибдена и золота на 24,34, 29,47 и 24,82% соответственно распределено в классе – 0,071 мм.

Проведены опытно-промышленные испытания созданных импортозамещающих композиционных химических флотореагентов-вспенивателей типа КХФ-ВС в ООФ ТЦРиВИТ АО «Алмалыкский ГМК», в котором извлечение меди в черновом концентрате составило 77,57 %, при сравнении со стандартным флотореагентом Т-92, извлечение меди в черновом концентрате составило 75,70 %.

Таким образом выявлено, что с увеличением концентрации флотореагента-вспенивателя в растворе, увеличивается извлечение меди в черновом концентрате и уменьшается содержание меди в растворе, а также по сравнению со стандартным вспенивателем Т-92 при одинаковых расходах получены практически равноценные показатели по извлечению меди и по качеству черного концентрата.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Негматов С.С., Хурсанов А.Х., Негматова К.С., Икрамова М.Э., Рахимов Х.Ю. Технология получения импортозамещающих композиционных химических флотареагентов - вспенивателей на основе органо-минеральных ингредиентов из местного сырья и отходов производств для применения в процессе флотации руд в условиях АО «Алмалыкский ГМК» // Композиционные материалы. 2020. №1. С. 60–67.

2. Негматов С.С., Хурсанов А.Х., Негматова К.С., Икрамова М.Э. Современное состояние флотореагентов-вспенивателей и применение их в процессе флотации руд цветных и благородных металлов в металлургии // Композиционные материалы, Ташкент, 2019, №3, С. 74–78.

3. Хурсанов А.Х., Негматов С.С., Негматова К.С., Икрамова М.Э. Изучение особенности классификации флотореагента–вспенивателя применительно к процессу флотации для обогащения руд цветных и благородных металлов // Композиционные материалы, Ташкент, 2019, №3. – С. 80–86.

4. Абрамов А.А. Роль форм сорбции в элементарном акте флотации // ФТПРПИ. 2005. №1. С. 96–105.

5. Бухоров Ш.Б., Қодиров Х.И., Абдикамалова А.Б., Эшметов И.Д. Значения флотационного процесса, исследование флотационных реагентов и механизмов их действия на поверхности раздела фаз // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2020. № 9(75). С. 57–63, URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/10620>.

**Сороко О. Л., Беспалова Е. В., Пинчук Г. П.,  
Бареко Э. А., Галактионова Н. В.**  
(РУП «Институт мясо-молочной промышленности»)

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕВРАЩЕНИЯ ОТХОДОВ В ДОХОДЫ**

Согласно сводным данным БелНИЦ «Экология», определено, что в общей массе отходов за 2020 г. (21404,77 тыс. т.) доля отходов растительного и животного происхождения составила 24,61 %, отходов жизнедеятельности населения и подобных им отходов промышленности – 3,81 %.

Молочные продукты с утраченными потребительскими характеристиками, полученные в результате розничной и оптовой продажи потребительских товаров относятся к отходам производства. Данные виды отходов классифицируются как, неопасные. По природе относятся к отходам микробиологического воздействия, по степени воздействия – к незначительным.

Помимо самих молочных продуктов с утраченными потребительскими характеристиками образуются и отходы эксплуатационные и утилизационные. Эксплуатационные отходы возникают в процессе реализации молочных продуктов в торговых точках.

В Беларуси обращение с отходами регулируется на законодательном уровне путем вступления в силу закона РБ от 20.07.2007 г. №271-3 «Об обращении с отходами», который направлен на уменьшение объемов образования отходов и предотвращение их вредного воздействия на окружающую среду, здоровье граждан, имущество, находящееся в собственности государства, имущество юридических и физических лиц. А также на максимальное вовлечение отходов в гражданский оборот в качестве вторичного сырья.

Ежегодно увеличивается количество образующихся отходов, в том числе молочных продуктов с утраченными потребительскими характеристиками, что связано с ростом производственных мощностей молокоперерабатывающих предприятий республики. В то время как развитие путей утилизации идет более медленными темпами, что приводит к нарастанию загрязнений окружающей среды.

Тем временем, животноводство испытывает трудности с обеспечением полноценных рационов кормления и комбикормов для сельскохозяйственных животных и птицы из-за дефицита важнейших биологически активных веществ. Таких как макро- и микроэлементы, витамины, ферменты, аминокислоты, антибиотики, антиокислители и др. Наблюдается нестабильность поставки закупаемых за пределами республики

премиксов, которые не всегда соответствуют требованиям по обеспечению полноценного кормления скота и птицы. В них зачастую отсутствуют необходимые элементы питания, или они вводятся в недостаточном количестве. Кроме этого, приобретаемые по импорту премиксы имеют высокую стоимость. По данным Министерства сельского хозяйства Беларуси в 2019 г. для балансирования кормов по протеину до 0,6 млн. тонн белкового сырья импортировано в страну. С целью рационального использования сырьевых ресурсов при наличии резерва молочных продуктов с утраченными потребительскими свойствами, поступившими из сетей розничной торговли, целесообразным является переработка данных продуктов на корма животного происхождения, корма молочно-белковые, которые могут быть использованы для составления кормовых рационов.

Считаем обоснованной организацию в стране переработки различных групп молочных продуктов совместно с иными пищевыми продуктами с утраченными потребительскими характеристиками, поступившими от торговых организаций, предприятий общественного питания на корма для животных.

Около 50 % отходов молочных продуктов с утраченными потребительскими характеристиками направляются на утилизацию, на биогазовые установки.

Согласно данным Департамента по энергоэффективности государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, в республике сегодня насчитывается 18 биогазовых действующих установок общей установленной электрической мощностью 27 МВт, из них 11 предназначены для переработки животноводческих и производственных отходов.

При утилизации отходов молочных продуктов с утраченными потребительскими характеристиками на полигонах происходит микробиологическое загрязнение окружающей среды за счет молочных продуктов, которые подвергаются микробиологической и окислительной порче компонентов. А в результате разложения отходов образуются парниковые газы.

Наличие отходов молочных продуктов с утраченными потребительскими характеристиками и нехватка кормов, особенно животного происхождения, создают предпосылки для вовлечения данного вида сырья в кормопроизводство.

Молочные белки включают в рацион питания большого числа групп животных: свиней, КРС, пушных зверей, птиц и др. Данные белки относятся по классификации к кормам животного происхождения.

Корма животного происхождения характеризуются высоким содержанием биологически полноценного белка (34–70 %). В 1 кг его содержится от 28 до 50-56 г лизина. По содержанию этой незаменимой аминокислоты протеин кормов животного происхождения в 2,5 раза превосходит протеин злаковых культур, жмыхов и шротов кроме соевого. Наиболее высокая потребность в лизине у поросят-сосунов, у молодняка свиней и птицы. Для свиней и птицы протеин нормируется в % от сухого вещества: для молодняка свиней на откорме – 15–17 % сырого протеина в рационе, для кур-несушек – 16–17 %, для цыплят-бройлер – 19–21 %. К тому же корма, полученные путем переработки отходов молочного производства богаты кальцием и фосфором.

Выделение белковой фракции способами коагуляции белка. В результате научно-исследовательской работы был проведен отбор жидких и пастообразных образцов молочных продуктов с истекшим сроком годности. Данные продукты подвергнуты технологической обработке в лаборатории оборудования и технологии молочно-консервного производства РУП «Институт мясо-молочной промышленности» с целью получения молочно-белковой добавки кормового назначения.

Составлены три партии смесей. Смеси отличаются по составу:

- партия 1 включает молочные продукты без добавления пищевкусных компонентов сроком после истечения годности в пределах равных сроку годности, умноженному на коэффициент резерва, плюс 10 суток;
- партия 2 включает молочные продукты с добавлением пищевкусных компонентов сроком после истечения годности в пределах равных срок годности, умноженный на коэффициент резерва, плюс 10 суток;
- партия 3 включает молочные продукты с добавлением пищевкусных компонентов сроком после истечения годности в неограниченных пределах (от 1,3 до 22,3 сроков годности);

Хранение продуктов из 3 (трех) партий осуществлено при условиях, установленных требованиями нормативной документации.

Полученные смеси направлены на технологическую переработку соответственно способам производства:

1 – термокислотной коагуляции: пастеризация при температуре  $(93\pm 2)$  °С – регулировка кислотности 20–25 % раствором молочной кислоты при непрерывном перемешивании до значений активной кислотности 4,4–4,6 – выдержка в течение 5 минут – самопрессование сгустка – охлаждение готового продукта;

2 – кислотно-сычужной коагуляции: пастеризация при температуре  $(87\pm 2)$  °С 10–15 минут – охлаждение до температуры заквашивания  $(30\pm 2)$  °С – внесение компонентов (закваска, производства РУП «Институт мясо-молочной промышленности», Lc. Lactis, diacetylactis,

cremoris, Str. thermophilus в количестве 5 %, 40 %-ный раствор хлорида кальция в количестве 400 г/т смеси, сычужный фермент в количестве 1 г на 1 т смеси) – сквашивание при температуре  $(32\pm 2)$  °С в течение 6 часов – самопрессование сгустка – охлаждение готового продукта.

Образцы смесей 2 и 3 в результате термокислотной коагуляции имели более крупные сгустки по сравнению со смесью 1 и со смесями, сквашенными кислотно-сычужным способом.

В результате анализа данных молочно-белковой добавки установлено, что при производстве термокислотным способом наблюдается более высокие значения титруемой кислотности в продукте в 1,26 и 1,21 раза. По сравнению с классическим творогом данный показатель в 2,3 и 2,8 раза выше для кислотно-сычужного способа. Однако в кормопроизводстве титруемая кислотность регламентируется только требованиями нормативным документом (ветеринарно-санитарными правилами) на конкретную кормовую добавку или корм. По показателям окислительной порчи (кислотному и перекисному числу) полученные образцы не превышают установленных норм и равны не более 8,9 мг КОН/г и 0,021 %  $J_2$ .

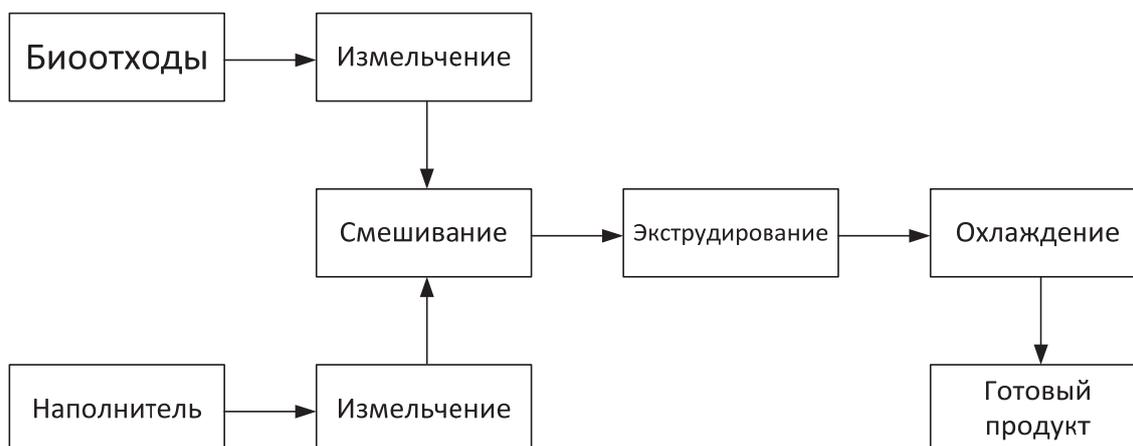
По содержанию жира, белка и влаги максимально приближен к творогу образец, полученный из смеси 1. Определено, что образцы молочно-белковой добавки, полученные термокислотной коагуляцией, имеют большее содержание белка, как абсолютное на 3,7–3,9 г/100 г, так и относительное на 0,5–1,5 %.

В результате при данных способах производства наблюдается более высокое отделение сухих веществ в сравнении с классической творожной или подсырной сывороткой (5,8–6,2 %), так как это связано с качеством входящего сырья: его высокой кислотности.

Полученные молочно-белковые добавки исследованы по показателям кормовой ценности. По кормовым единицам и обменной энергии молочно-белковые добавки приближены к показателям, характерным для творога влажностью от 65 до 73 %, и составляют в диапазоне 6,4–9,3 МДж/1 кг и 67,4–96,4 КЕ соответственно. Наибольшее количество обменной энергии содержится в молочно-белковой добавки, полученной кислотно-сычужным способом из смеси второй партии.

Экструдирование. Одним из эффективных способов воздействия на биохимические показатели зерновых компонентов является обработка в экструдерах, в которых продукт подвергается действию высокого давления и температуры. В результате резкого перепада давления происходит так называемый «взрыв» – готовый продукт увеличивается в объеме, приобретает пористую структуру. На рисунке 1 представлена схема экструзии.

Нами был проведен отбор молочных продуктов, а именно творога обезжиренного и жирного с массовой долей жира 5%, 6% и 9% с истекшими сроками годности. В качестве некондиционной бакалейной продукции выступала крупа ячменная ячневая (сечка) с истекшим сроком хранения от ОАО «Бобруйский комбинат хлебопродуктов», производственный участок Осиповичи.



**Рисунок 1– Схема экструзии**

Анализ литературных данных показал, что оптимальной массовой долей влаги смеси является влажность от 15 % до 30 %. Нами было изготовлено 3 образца с разной массовой долей влаги: 15 % (образец 1), 17% (образец 2), 20 % (образец 3). Рецептурный состав смесей для экструдирования представлен в таблице 1.

**Таблица 1 – Рецептурный состав комбикормовой добавки с разной массовой долей влаги на 1 т готового продукта без учета потерь**

Наименование сырья	Масса сырья на 1т готового продукта без учета потерь, кг		
	15 %	17 %	20 %
Творог, кг	109,3	187,3	266,0
Крупа ячменная ячневая, кг	890,7	812,7	734,0

Установлено, что в смеси с наименьшей массовой долей влаги (15 %) наблюдалось уменьшение массовой доли белка и увеличение массовой доли углеводов, а именно 9,2 % и 73,3 % соответственно. В смеси с наибольшей влажностью (20 %) отмечалось наибольшее количество белка и меньшая массовая доля углеводов. А именно 10,5 % и 67,2 % в сравнении со смесями с массовой долей влаги 15 % и 17 %. Это связано с тем, что для увеличения массовой доли влаги, необходимо увеличить количество творога и уменьшить количество крупы ячменной.

По показателям окислительной порчи (кислотному и перекисному числу) полученные смеси не превышают установленных ветеринарно-санитарными правилами норм и равны не более 11,4 мг КОН/г и 0,052 %  $J_2$ . Внешний вид готовых кормовых добавок представлен на рисунке 2.



Кормовая добавка из смеси с массовой долей влаги 15% (образец 1)



Кормовая добавка из смеси с массовой долей влаги 17% (образец 2)



Кормовая добавка из смеси с массовой долей влаги 20% (образец 3)

**Рисунок 2 – Внешний вид готового продукта**

Во время процесса экструзии в экструдере имеет место потеря влаги смеси от 5,4 % до 6,1 %.

Выявлено, что при производстве кормовой добавки из смеси с 15% влажностью способом экструзии отмечается наибольшее количество массовой доли белка и углеводов, а именно 11,7% и 77,2% соответственно. Массовая доля белка в кормовой добавке из смеси с 17% влажностью составляет 11,7%, а массовая доля углеводов – 74,0%. Массовая доля белка в кормовой добавке из смеси с 20% влажностью составляет 11,4%, а массовая доля углеводов – 71,8%. Это связано с уменьшением массовой доли влаги и увеличением сухих веществ, так как смеси в экструдере подвергаются высокотемпературной обработке.

За счет температурной обработки при получении кормовых добавок наблюдается снижение общей обсемененности в  $10^3$  раза. Содержание плесневой микрофлоры уменьшилось только в кормовой добавке из смеси с 15% влажностью от  $9,0 \cdot 10^1$  КОЕ/г до  $1,0 \cdot 10^1$  КОЕ/г.

По кормовым единицам кормовые добавки приближены к показателям, характерным для молока сухого обезжиренного, и составляют в диапазоне 136,9–145,7 КЕ. По обменной энергии кормовые добавки приближены к показателям, характерным для тритикале экструдированного, и составляют в диапазоне 14,4–15,7 МДж/1 кг. Наибольшее

количество обменной энергии для свиней, птиц и пушных зверьков содержится в 1 образце.

В результате научно-исследовательских работ были изучены 2 способа получения кормовых добавок: выделение белковой фракции и экструдирование молочного белка.

По кормовым единицам преобладают также кормовые добавки, полученные способом экструдирования, и равны в пределах 136,9–145,7 КЕ.

При выделении белковой фракции молочного белка мы получаем на выходе молочно-белковые добавки, которые используются в качестве составного компонента для корма. По кормовым единицам преобладают молочно-белковые добавки, полученные методом выделения белковой фракции и равны в пределах 67,4–96,4 КЕ.

Преимуществом экструдирования является то, что можно переработать не только молочные, но и некондиционные бакалейные продукты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Технология молока и молочных продуктов : учебник / Г. В. Твердохлеб [и др.] ; ред. Е. Н. Соколова. – М. : Агропромиздат, 1991. – 463 с.

2. Горбатова, К.К. Физико-химические и биохимические аспекты производства молочных продуктов / К.К. Горбатова. – СПб. : ГИОРД, 2004. – 352 с.

3. Лактоза и ее производные Б.М. Синельников, А.Г. Храмцов, И.А. Евдокимов, С.А. Рябцева, А.В. Серов . научн. ред. акад. РАСХН А.Г. Храмцов. – СПбЖ Профессия, 2007. – 768с.

4. Кунижев, С.М. Новые технологии в производстве молочных продуктов/ С.М. Кунижев, В.А. Шуваев. – Москва, ДеЛи принт, 204. – 203с.

5. Вестергаард, Вагн. Технология производства сухого молока. Выпаривание и распылительная сушка / ВагнВестергаард. – NiroA/S. Копенгаген, Дания. – 304 с.

6. Липатов, Н.Н. Восстановленное молоко (теория и практика производства восстановленных молочных продуктов) / Н.Н. Липатов, К.И. Тарасов– М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.

7. Литвяк, В.В. Получение и исследование мальтодекстринов / В.В. Литвяк. – Пищевая промышленность: наука и технологии.– 2014.– № 4 (26). – С. 15-27.

8. Мальтодекстрин (en. Maltodextrin) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://add.futuris.by/index.php/zameniteli-sakhara/maltodekstrin>. – Дата доступа: 15.04.2019.

9. Dimpler, J. Heat stability of concentrated milk systems / J. Dimpler // Munich, Germany, 2018 – 201 с.

Левицкий И.А., Голуб А.О., Кучерова Д.В.  
(Белорусский государственный технологический университет)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ КАТАЛИЗАТОРОВ СИНТЕЗА МОНОМЕРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦВЕТНЫХ ГЛАЗУРЕЙ

Объектом исследования явились отходы катализатора, используемого для синтеза мономеров, образующегося в ОАО «Синтез-Каучук» г. Стерлитамак.

Отходы представляют собой цилиндрические и близкие к ним гранулы, окатанные и реже остроугольные, неправильной формы. Максимальный размер их составляет в диаметре 7 мм, минимальный – до 0,1 мм.

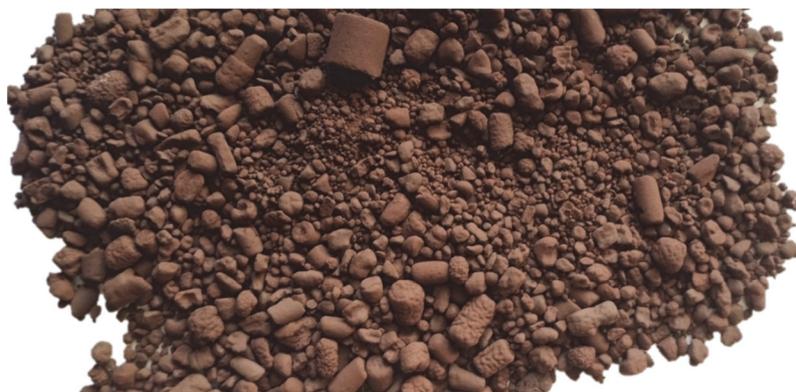


Рисунок 1 – Отходы катализатора, используемого для получения мономеров

Цвет отходов темно-коричневый, окраска равномерная.

Химический состав отходов катализаторов, исследованный на двух пробах, показал их идентичность и характеризуется содержанием оксидов, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав отходов катализаторов

Наименование	Оксиды и их содержание, мас. %					
	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	FeO	CeO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>
Проба 1	4,20	16,73	5,76	66,71	6,60	–
Проба 2	4,18	16,68	5,74	66,46	6,58	0,36

Влагосодержание отходов находится в пределах 1,7–2,3 %.

Радиоактивность отходов, исследованная с помощью радиометра РУГ 92-2 по ГОСТ 30108, составляет 67 Бк/кг.

Анализ химического состава отходов катализатора показал, что они могут быть применены в составе глазурных покрытий для керамических

изделий, обеспечивающих их окраску в связи с наличием оксида железа [1] и глушителя – оксида циркония [2].

В качестве объекта исследования выбраны цветные полуфриттованные глазури для керамогранита, применяемого для устройства полов, фасадов зданий, облицовки пешеходных переходов, бассейнов и других объектов.

Получение цветных покрытий для керамогранита обеспечивается в настоящее время за счет применения импортируемых жаростойких красителей, поставляемых из России, Китая, Испании и других стран.

Состав исследуемой глазури включал матрицу полуфриттованного состава, содержащую следующие исходные материалы, мас. %: фритту прозрачной глазури марки 2/154; доломитовую муку класса 4 марки 1; глинозем марки NO–105; кварцевый песок ОВС–050; глину огнеупорную марки «Гранитик-Веско»; полевой шпат ПШС–0,02–21. Отходы катализатора вводились в состав смеси в количестве 5 и 10 мас. %.

В составе полуфриттованной глазури применялась фритта прозрачной глазури производственного состава ОАО «Керамин», синтезированная в оксидной системе  $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ . Фритта изготавливается методом плавления составляющих в газопламенной печи ОАО «Керамин» при температуре  $1450 \pm 10$  °С. Фритта рентгеноаморфна. Температура размягчения ее составляет 580 °С. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) –  $67,2 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ .

Приготовление глазурных суспензий проводилось путем мокрого помола составляющих в лабораторной шаровой мельнице Speedy (Италия) при влажности 32–35 % и тонине помола, составляющей остаток на сите №0063 в количестве 0,3–0,5 мас. % сырья.

В качестве электролита, обеспечивающего требуемую текучесть глазури, применялся триполифосфат натрия в количестве 0,2 мас. %. Для повышения степени сцепления глазурной суспензии с керамической основой в воздушно-сухом состоянии применялась карбоксилметилцеллюлоза, вводимая в количестве 0,05 мас. %. Обе составляющие вводились сверх 100 % компонентов глазури.

После помола глазурная суспензия выстаивалась в течение 3-х суток, а затем наносилась с помощью фильеры на поверхность высушенного до влагосодержания не более 2,0 % полуфабриката керамогранита. Далее пробы подсушивались при температуре  $120 \pm 5$  °С в течение 30 мин, а затем обжигались в промышленной печи FMS–2950 при  $1200 \pm 5$  °С в течение 60 мин в промышленных условиях ОАО «Керамин».

В процессе обжига сформировались качественные глазурные цветные покрытия, характеризующиеся окраской, установленной по атласу

цветов «RAL», как охра коричневая (5 мас. % отходов), махагон коричневый (10 мас. % отходов). Сформировавшиеся глазури имеют высокую степень укрывистости, обладают бархатистой фактурой гладкого и равномерного разлива, высокой степенью растекаемости. Дефекты поверхности отсутствуют. Покрытие характеризуется эффектом иризации.

Блеск покрытия, измеренный на блескомере ФБ–2 с применением эталонна – черного увиолевого стекла, составляет 14–16 %. Покрытие относится к матовым.

ТКЛР глазури определялся с помощью дилатометра DIL 402 PC фирмы «Netzsch» (Германия) в интервале температур 20–400 °С при постоянной скорости нагрева 5 °С/мин. Значения ТКЛР составляют  $(75,9–76,3) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ .

Изделия обладают термостойкостью, составляющей 320 °С, определенной по методике ГОСТ 27180.

Глазурные покрытия обеспечивают химическую стойкость покрытий по ГОСТ 27180 к раствору № 3 в течение 6 ч. Раствор № 3 – стандартный раствор, который приготовлен из 10 г сухого вещества в 100 дм<sup>3</sup> воды. Сухое вещество представляет собой обработанную при 150°С смесь следующих компонентов, мас. %: углекислого натрия безводного – 3,3; тетрабората натрия – 7; силиката натрия плотностью 1330 кг/м<sup>3</sup> – 7; олеата натрия – 30.

По истираемости, установленной испытаниями на абразиметре JSO–8 «Gabtec» (Италия) по ГОСТ 27180, глазурные покрытия характеризуются степенью 2.

Фазовый состав покрытий исследовался на установке D8 Advance фирмы Bruker (Германия) при излучении  $\text{CuK}\alpha$ . Основными кристаллическими фазами являются гематит ( $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), маггемит ( $\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Присутствует в небольшом количестве анортит ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ).

Дифференциально-сканирующей калориметрией на установке DSC 404 F3 Pegasus фирмы «Netzsch» (Германия) в интервале температур 25–1200 °С установлено наличие ряда термических эффектов [3].

Экзотермический эффект, наблюдаемый при 315–320 °С, связан, очевидно, с переходом маггемита ( $\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) в гематит ( $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

При температуре 536–539 °С фиксируется эндотермический эффект малой интенсивности, вызванный удалением химически связанной воды из глинистых минералов.

Разложение  $\text{MgCO}_3$  происходит при 562–757 °С с образованием  $\text{MgO}$ , что фиксируется глубоким эндотермическим эффектом.

Экзотермический эффект небольшой интенсивности отмечается при 865–867°С. Он, очевидно, связан с формированием анортита. Здесь

одновременно может происходить обратное изоморфное превращение гематита в маггемит [3], обусловленное эндотермическим эффектом.

Электронно-микроскопическими исследованиями с помощью сканирующего микроскопа JSM-5610LV (Япония) установлено наличие многочисленных, плотно прилегающих друг к другу, кристаллических образований преимущественно призматического габитуса и множества изометричных округлых образований. Их размеры составляют от 3 до 10 мкм, более редки кристаллы призматического габитуса с наибольшими измерениями 20–25 мкм. Участки стеклофазы занимают 25–35 % поверхности огневого зеркала покрытия.

Определение цветовых характеристик проводилось на спектрофотометре «PROSCAN» модели ИС-122 (Германия–Беларусь). Коэффициент отражения покрытий составляет 0,3–0,6, что характерно для матовых покрытий. Чистота цветового тона глазурей находится в интервале 21–26%. Яркость – 34–36 %. Цветовой тон находится в интервале 578–584 нм.

Проведенные лабораторные испытания показали, что изменением содержания отходов катализатора может быть получена расширенная палитра цветных покрытий коричневой гаммы.

Проведенные исследования показывают реальную возможность использования отхода катализатора для получения цветных глазурей в производстве керамогранита и других строительных материалов. Это обеспечит импортозамещение и снижение себестоимости продукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аппен, А.А. Химия стекла/ А.А. Аппен. – Л.: Химия, 1970. – 352 с.
2. Штейнберг, Ю.Г. Стекловидные покрытия для керамики / Ю.Г. Штейнберг, Э.Ю. Тюрн. – Л.: Стройиздат, 1989. – 192 с.
3. Термический анализ минералов и горных пород. В.П. Иванова [и др.]. – М.: Недра. – 1974. – 399 с.

УДК: 621.892.272

**Азимова Ш.А.**

(Ташкентский химико-технологический институт)

### **СМАЗКИ НА ОСНОВЕ БАЗОВЫХ И ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ**

Для экономики нашей страны важное значение имеет состояние ресурсов различных энергоносителей, в первую очередь нефти, природных газов, угля, а также их потребление. Повторное использование уже

отработанных материалов с помощью регенерации существенно может повлиять на экономику страны.

Проблема утилизации отработанных смазочных материалов является острой, так как попадая в окружающую среду, они могут нанести колоссальный урон флоре и фауне. Тем временем как, потребность в смазочных материалах, в развитых странах, частично покрывается за счёт создания смазок из регенерированных масел. Современные методы регенерации обеспечивают буквально абсолютное восстановление качеств отработанных масел.

Существующие на сегодняшний день способы получения и составы пластичных смазок предполагают использование дорогостоящих и ограниченных ресурсов, таких как нефтяные базовые масла и присадки, а технологии их производства энергоёмки и высокозатратны.

Отработанные моторные масла представляют собой продукт, требующий утилизации, при этом они содержат сильно загрязнённую основу базового масла и остаточный запас присадок, которые при определенных условиях могут быть использованы при производстве вторичных масел и смазок.

Удаление из отработанных моторных масел, смол, асфальтенов, карбенов, карбоидов позволит получить практически масляную основу – дисперсионную среду для пластичных смазок, при этом в отличие от традиционно используемых дорогостоящих базовых масел, очищенные отработанные масла содержат 25–30 % антиокислительных, противозносных, антикоррозионных присадок, которые повышают эксплуатационные свойства дисперсионной среды а следовательно и свойства пластичной смазки [1].

Пластичная смазка, исследованная в настоящей работе, приготовлена с добавлением отработанного минерального автомобильного масла «М-5з/12 г SAE 10W-30» (универсальное всесезонное минеральное масло). Данное масло рекомендуется к использованию для высокофорсированных топливных двигателей, которые работают в тяжелых эксплуатационных критериях, и высокофорсированных дизелей без наддува или же с небольшим наддувом. Всесезонное минеральное автомобильное масло. Производства НПЗ г. Уфа. Использовалось масло на грузовом автомобиле марки «Газель». Оно выглядит в виде непрозрачной жидкости тёмного цвета с свойственным запахом.

Его физико-химические характеристики представлены в таблице 1.

Технология приготовления смазки разделена на 5 последовательных стадий [2].

**Таблица 1 Физико-химические характеристики отработанных масел**

Наименование показателя	Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с, при температуре 40°С	Температура вспышки в открытом тигле, °С	Массовая доля механических примесей, % не более:	Массовая доля воды % не более	Содержание загрязнений	Температура застывания, °С	Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup>
ОММ	26	100	1	2	нет	-	0,905

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что свойства смазки приготовленной с добавлением отработанных масел (базовое масло + ОММ 30/70) не имеют больших отличительных свойств от смазок, приготовленных из базовых нефтяных масел (таблица 2).

**Таблица 2 – Свойства смазок, приготовленных на базовых маслах и с добавками отработанных масел**

Наименование масла	Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с, при температуре 40° С	Защитная способность в термовлагокамере Г-4, в баллах	Смываемость, %
Базовое нефтяное масло	62,6	0,5	7,4
ОММ+ Базовое нефтяное масло (30/70)	62,6	0,5	7,4

Следственно, разработка простых технологических процессов очистки отработанных масел от примесей и загрязнений, и получения на их основе востребованных пластичных смазок позволяет решать многогранную актуальную проблему ресурсосбережения, снижения затрат на приобретение смазочных материалов и рациональное решение задач утилизации отработанных масел в местах их потребления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ren G., Zhang P., Ye X. et al. Comparative study on corrosion resistance and lubrication function of lithium complex grease and polyurea grease. Friction, December 2019. <https://doi.org/10.1007/s40544-019-0325-z>.
2. Азимова Ш.А., Арсланов Ш.С., Азимов Д.М., Арипджанов О.Ю. Литиевые смазки с добавками отработанных моторных масел. Журнал «Нефть и газ». №1. Ташкент, 2020

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ИЗБЫТОЧНЫМ АКТИВНЫМ ИЛОМ НА ОАО «ЛАКОКРАСКА»

Открытое акционерное общество «Лакокраска» г. Лида является крупнейшим предприятием в Республике Беларусь, производящим лакокрасочные материалы.

В результате анализа производственной деятельности предприятия, а также целевых и плановых экологических показателей установлено, что актуальной для предприятия является проблема совершенствования системы обращения с ИАИ. Для пояснения источника образования рассмотрим технологический процесс очистных сооружений.

Технологический процесс очистных сооружений производственных сточных вод ОАО «Лакокраска» состоит из следующих стадий (рисунок 1):

- физико-химической очистки производственных сточных вод;
- биохимической очистки.

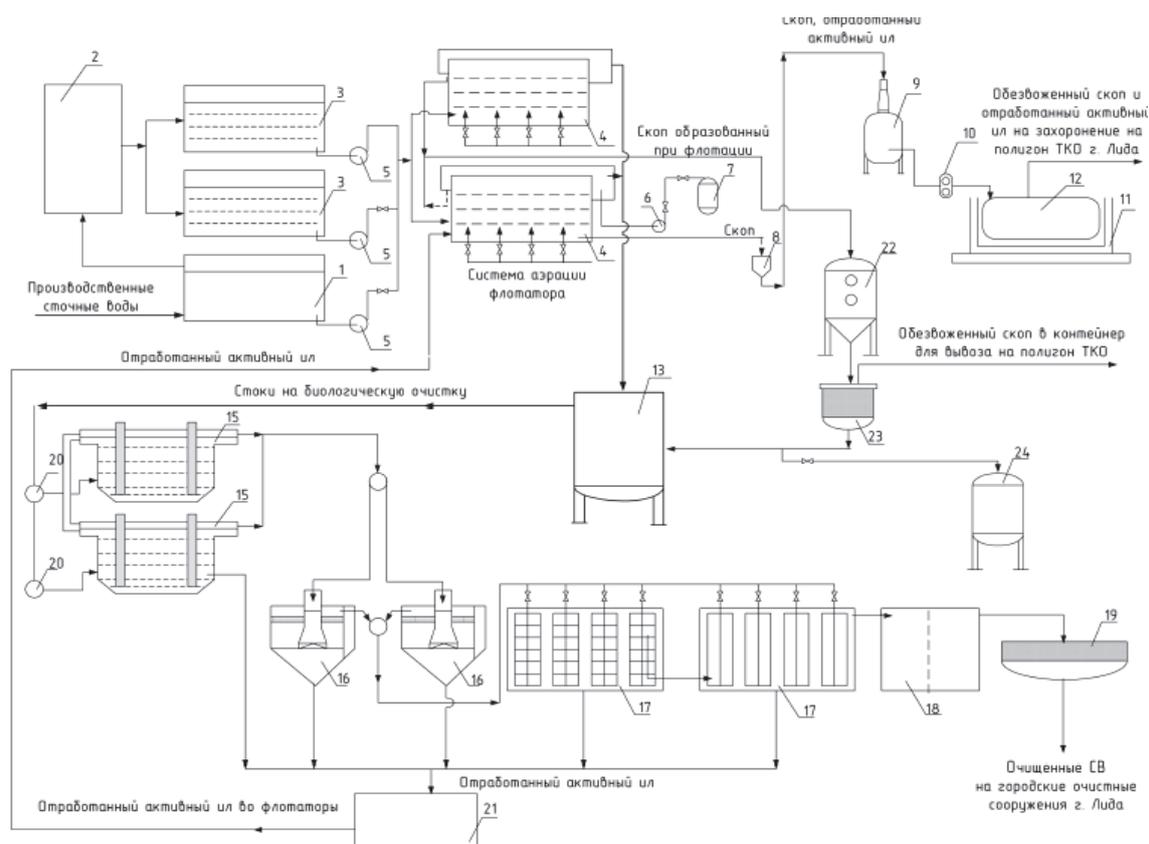


Рисунок 1 – Принципиальная схема локальных сооружений очистки производственных сточных вод ОАО «Лакокраска»

Производственные сточные воды из приемной камеры 1 поступают в распределительную емкость 2, где происходит их нейтрализация. Пройдя бассейны-усреднители 3 насосами 5 сточные воды направляются для последующей обработки на флотационную очистку в флотаторы 4. Скоп, образованный при флотации, с помощью скребкового устройства сгребается в сборник 8, после заполнения которого содержимое перекачивается в накопители 9. Обезвоженный скоп вывозится автотранспортом на полигон ТКО.

Сточные воды, прошедшие физико-химическую очистку собираются в промежуточной емкости 13 и затем поступают на биологическую очистку.

Прошедшие очистку производственные сточные воды через переливную трубу резервуара 18 и отстойника 19 через систему хозяйственно-бытовой канализации предприятия поступают на городские очистные сооружения.

Осадок и отработанный активный ил, образующийся в анокситенках 14, в аэробных биореакторах 15, в биореакторах-отстойниках 16, аэротенках 17 собирается в приемный резервуар 21.

Ежегодно на предприятии образуется более 103 т избыточного активного ила. В соответствии с классификацией отходов, принятой в Республике Беларусь код отхода – 8430300, класс опасности – 4. Элементный состав сухого вещества активного ила содержит, %: 74,0- 78,5 С; 5-8,2 Н; 0,9-2,7S; 3,3-9,8 N; 12,5-43,2 О. Содержание валового фосфора в осадках колеблется от 0,3 до 2,0 % сухого вещества. Содержание калия в активном иле – 0,3-0,8 %. В осадках могут содержаться соединения кремния, алюминия, железа, оксиды кальция, магния, калия, натрия, цинка, хрома, никеля и др.

Избыточный активный ил по содержанию азота, фосфора, органических веществ не уступает подстильному навозу, торфу, торфонавозным компостам и другим традиционным удобрениям. Внесение такого ила в почву (в жидком или подсушенном виде) позволяет повышать плодородие сельскохозяйственных угодий.

Поэтому предпочтительным направлением использования ИАИ является получение почвогрунтов. В данном случае, это целесообразно потому что на очистные сооружения предприятия не поступают хозяйственно-бытовые сточные воды, что исключает бактериальную загрязненность получаемого продукта.

Целью выполненных исследований являлось проведение сравнительного анализа вариантов получения почвогрунтов с использованием избыточного активного ила ОАО «Лакокраска».

Почвогрунты были получены при смешении почвы с избыточным активным илом (ИАИ), дополнительно обработанным пастеризацией

и/или с добавлением негашеной извести, удобрений (NPK с микроэлементами).

Эксперимент проводился в несколько этапов. На первом этапе был осуществлен отбор пробы избыточного активного ила на очистных сооружениях ОАО «Лакокраска». Место отбора пробы – геотубы, в которых обезвоженный ИАИ вывозится в места его хранения.

На втором этапе приготавливали почвогрунты. Для этого использовали ИАИ в сыром виде и подвергнутым пастеризации. Пастеризация осадка предусматривалась для уничтожения яиц гильминтов и патогенных микроорганизмов. При приготовлении почвогрунтов использовали не только ИАИ в чистом виде, но и с добавками, такими как известь и удобрения.

На третьем этапе определяли фитотоксичность полученных почвогрунтов. Для оценки фитотоксичности использовали такие растения, как горчица Салатная «Муравушка», редис «Суперстар» и пшеница озимая. Зерна проращивали и затем в каждый из почвогрунтов высаживали по 10 пророщенных зерен. В процессе выращивания растений увлажняли почву и проводили визуальное наблюдение за количеством и качеством выросших ростков.

Эффективность использования полученных почвогрунтов определяли по следующим показателям: количество проросших семян; биомасса растений; средняя длина, состояние корневой системы и листовой части, зольность. Также контролировали состав почвогрунтов по показателям: массовая доля сухого вещества, золы; водородный показатель солевой вытяжки, массовая доля азота, фосфора, указанных на плакате.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что, почвогрунт, полученный с использованием избыточного активного ила, обработанными разными способами позволяет увеличить продуктивность растений. Так, при исследовании почвогрунта с использованием ИАИ увеличение биомассы пшеницы наблюдалось в 3,5 раза больше по сравнению с необработанной почвой. Также можно отметить, что в почвогрунтах, полученных с использованием ИАИ без обработки и после пастеризации наблюдалось увеличение продуктивности горчицы. Во всех остальных опытах горчица не проросла. Пастеризация, при получении почвогрунта с ИАИ, обработанным известью показала ухудшение проращивания редиса, уменьшение биомассы редиса наблюдалось в 2 раза по сравнению с аналогичной пробой без пастеризации. При исследовании почвогрунта с пастеризованным избыточным активным илом наблюдалось увеличение биомассы горчицы в 4,3 раза по сравнению с почвогрунтом с необработанным активным илом. А биомасса выращенной пшеницы практически одинакова – в 1,1 раза больше.

Наилучшие результаты с учетом изменений биомассы всех трех растений наблюдались в пробе почвогрунта, полученного с использованием пастеризованного избыточного активного ила.

На основании анализа всех полученных результатов исследований можно сделать вывод, что для выращивания сельскохозяйственной продукции лучше всего использовать почвогрунты, полученные при смешении почвы с пастеризованным ИАИ.

Преимущества производства почвогрунта из отработанного активного ила пастеризацией: технология позволяет одновременно перерабатывать осадок и производить полезный агроматериал для выращивания растений; экологически и экономически выгодная технология обезвреживания осадков отработанного активного ила; из 103,49 т илового осадка можно получить около 517 т почвогрунта.

Область применения почвогрунтов:

1) Благоустройство:

- формирование придорожного полотна и откосов с целью высева газонных трав при проведении ландшафтных работ;
- озеленение придомовых и общественных территорий, для создания парковых зон в городах;
- для зонирования участков;
- выращивание цветочных газонов и клумб, а также для высадки рулонного газона;
- при посадке деревьев и кустарников.

2) Сельское хозяйство:

- замена почвы в грядках, теплицах;
- для выращивания овощных культур, рассады;
- при посадке деревьев и кустарников;
- для производства агроматериала для высаживания растений.

Реализация предложенных проектных решений по совершенствованию системы обращения с отходами на ОАО «Лакокраска» г. Лида обеспечит выполнение целевых и плановых экологических показателей, принятых на предприятии в части переработки отработанного активного ила очистных сооружений.

**Секция IV**

**АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ.  
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННОЙ  
АППАРАТУРЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.  
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.**

---

УДК 658.567.1:66.078.5

**Павлечко В.Н., Францкевич В.С.**  
(Белорусский государственный технологический университет)  
**Шалухо Ю.И.**  
(ОАО «Крион»)

**УТИЛИЗАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ  
ВТОРОЙ СТУПЕНИ ВОЗДУШНОГО КОМПРЕССОРА**

Вопросы экономии топлива путём использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) в последние годы превратились в актуальную проблему и являются общегосударственной задачей. Промышленные потребители используют в настоящее время свыше 60 % всего добываемого топлива и около 70 % всей вырабатываемой электроэнергии. Коэффициент полезного использования энергии в технологических процессах остаётся все ещё невысоким и составляет порядка 35–40 %.

Приблизительно 10 % всей электроэнергии, используемой в промышленности, приходится на системы сжатого воздуха, в которых примерно 95 % подводимой энергии преобразуется в тепло и выпускается в атмосферу вместе с теплом, рассеиваемым двигателем и системой охлаждения.

В процессе эксплуатации компрессорная установка выделяет большой объем внутренней энергии – тепла, выделяющегося из-за работы движущихся внутренних механизмов, а также в процессе сжатия рабочей среды. Чтобы сделать компрессор более экономичным и обеспечить его безопасную работу, вырабатываемое тепло необходимо отводить.

Во многих производящих сжатый воздух установках возможность сбережения энергии путем ее рекуперации значительна, но зачастую не используется. В большинстве отраслей промышленности в цене сжатого воздуха расходы на энергию составляют практически 80 %. В крупногабаритных безмасляных винтовых компрессорах можно рекуперировать до 94 % поставляемой компрессором энергии в виде горячей воды с температурой 90°C. Это означает, что все мероприятия по сбережению энергии характеризуются быстрой экономической отдачей [1].

Жидкостное охлаждение воздушных компрессоров является более эффективным способом снижения тепловой нагрузки, чем воздушный способ. Этим фактом объясняется сфера применения компрессоров с водяным охлаждением – их используют в крупных технологических процессах, на химических заводах, предприятиях металлургии, и других производствах, где необходимо стабильное получение сжатого воздуха в больших объемах.

В одноступенчатых центробежных компрессорах температурные уровни ниже и потому меньше степень рекуперации. Однако рекуперация тепла в мощных многоступенчатых центробежных компрессорах весьма актуальна и реализуема. Так в работах [1, 2] проведен анализ целесообразности рекуперации тепловой энергии в компрессорных станциях на базе компрессорных центробежных установок, показавший перспективность и целесообразность данного мероприятия по энергосбережению.

Рекуперация энергии компрессоров с водяным охлаждением наилучшим образом подходит для компрессоров с мощностью двигателя более 10 кВт. Рекуперация энергии с использованием воды означает использование установки более сложной, чем при использовании воздуха. В этом случае основное оборудование состоит из насосов, теплообменника и регулирующих клапанов.

Используя водяную рекуперацию энергии, можно также подводить тепло к удаленным зданиям с помощью труб относительно малых диаметров (40–80 мм) без существенных потерь тепла. Высокая первоначальная температура дает возможность использовать энергию для повышения температуры обратной воды водогрейного котла. Поэтому обычный нагревательный источник можно периодически отключать и заменять отходящим теплом компрессора.

Срок окупаемости затрат на рекуперацию энергии обычно составляет около 5–8 лет. Рекуперация энергии с помощью замкнутой системы охлаждения означает улучшение условий эксплуатации компрессора, повышение надежности его работы и увеличение сроков службы благодаря поддержанию в компрессоре постоянной температуры и использованию большого количества охлаждающей воды.

В настоящее время на ОАО «Крион», как и во многих крупнотоннажных отраслях промышленности (химической, нефтехимической, газоперерабатывающей) используются многоступенчатые компрессоры, предназначенные для сжатия газа до определенного давления. Газ сжимается в последовательно расположенных ступенях и охлаждается для снижения температуры. Неиспользуемое тепло обычно отводится в окружающую среду, а потенциальное – теряется.

В качестве исходных данных использованы параметры радиального компрессора ОАО «Крион», имеющего 3 ступени сжатия. Сжатый воздух расходом 45000-50000 м<sup>3</sup>/час после 2-й ступени компрессора имеет давление 1,85-1,95 МПа и температуру 100–120°С. В настоящее время



(ХНГ) и с температурным компенсатором на кожухе одноходовой по трубам с поверхностью теплообмена  $124 \text{ м}^2$  [3].

В качестве доохладителя 3 предполагается использовать имеющийся кожухотрубчатый теплообменник поверхностью теплообмена  $57 \text{ м}^2$ , который в настоящее время используется для охлаждения воздуха оборотной водой после 2-й ступени компрессора.

Производительность насоса 5 для циркуляции отопительной воды  $16 \text{ м}^3/\text{час}$ . Создаваемый им напор определяется гидравлическим сопротивлением тракта отопительной воды и ориентировочно равен  $0,1 \text{ МПа}$  (давление до насоса  $0,3 \text{ МПа}$ , после него –  $0,4 \text{ МПа}$ ). Для циркуляции оборотной воды может быть использован имеющийся в ОАО «Крион» насос и дополнительных устройств не требуется. Ориентировочный объем сборника 4 –  $1 \text{ м}^3$ , в качестве которого возможно использование имеющихся на предприятии емкостей.

Из результатов расчетов следует, что при использовании тепла 2-ой ступени компрессора достигается экономия тепловой энергии  $861,98 \text{ кВт} = 4,241 \text{ ГДж}$  или  $144,7$  тонн условного топлива в течение отопительного периода длительностью 205 суток.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шадрин, В.С. Рекуперация тепловой энергии в компрессорных станциях на базе компрессорных центробежных установок / В.С.Шадрин, В.В.Козлов // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. 2016. – № 02. – С. 38–50.

2. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф.Павлов, П.Г.Романков, А.А.Носков – Л.: Химия, 1976. – 552 с.

3. Стандартные кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего назначения: Каталог. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1988. – 40 с.

УДК 661.152.3'1'2'3.022.5.011 (476)

**Высоцкая Н.А.**  
(ЗАО «СИПР с ОП»)

#### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НРК-УДОБРЕНИЙ В ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»**

В технологической схеме производства НРК-удобрений в ОАО «Беларуськалий» в качестве сырья используется кек калия хлористого, аммофос, диаммофос, карбамид, сульфат аммония, микродобавки.

Производственная мощность комплексных сложно-смешанных NPK-удобрений – 240 тыс. тонн в год, при этом производственная мощность в час, составляет 30-35 тонн удобрения [1].

Рынки сбыта NPK-удобрений – Республика Беларусь и страны ближнего и дальнего зарубежья.

В ОАО «Беларуськалий» выпускаются NPK-удобрения различных марок: 5:16:35 Cu, Mn; 6:12:20 B, Mn; 6:12:20 B, Cu; 7:15:30 Cu, Mn, Mo; 7:16:31:0,25 B.

Цель технологического процесса производства NPK-удобрений цеха по производству сложно-смешанных удобрений на Третьем рудоправлении ОАО «Беларуськалий» – производство азотно-фосфорно-калийных удобрений в соответствии с требованиями пускового технологического регламента в объеме, соответствующем плану по производству комплексных удобрений.

Проводится результативная оценка технологического процесса. Оцениваются экономические показатели и продукция (полуфабрикат).

Экономические показатели подразумевают под собой процент выполнения плана по производству NPK-удобрений и себестоимость продукции.

Показатели продукции определяют качество выпускаемой продукции (полуфабриката) – комплексных азотно-фосфорно-калийных (NPK) удобрений. При оценке выпускаемой продукции (полуфабриката) учитываются нормируемые показатели в соответствии с пусковым технологическим регламентом для каждой марки складываемой продукции за данный период времени.

Процесс гранулирования считается нерезультативным, если процент выполнения плана производства комплексных NPK удобрений менее 90 %; себестоимость продукции превышает плановую более чем на 10 %.

Оценка результативности процесса выполняется ежеквартально и по результатам работы за год [2].

Насыпная плотность NPK-удобрений варьируется от 0,92 до 1,24 г/см<sup>3</sup> и зависит от марки удобрений.

Для уменьшения слеживаемости гранулы удобрений обрабатываются кондиционирующей смесью.

По химическому составу комплексные удобрения должны соответствовать данным из таблицы 1.

На 3 сальвинитово-обогащительной фабрике ОАО «Беларуськалий» гранулирование происходит методом окатывания в барабанном грануляторе. С целью повышения результативности работы процесса образования гранул в гранулятор дополнительно подается водяной пар и, если есть необходимость, дополнительно распыляется вода.

**Таблица 1 – Химический состав комплексных удобрений**

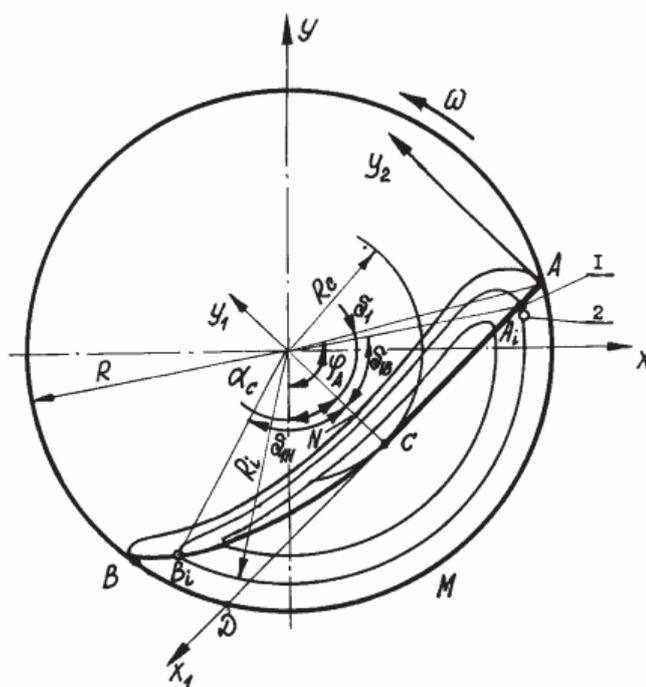
№ п/п	Марка удобрения	Характеристика и норма для марки			
		Массовая доля, %			
		общего азота (N)	общих фосфатов (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	калия (K <sub>2</sub> O)	воды, не более
1	7-20-30	7±1	20±1	30±1	1,8
2	8-17-27	8±1	17±1	27±1	1,8
3	15-15-15	15±1	15±1	15±1	1,8
4	7-16-30+0,15B+0,2Zn	7±1	16±1	30±1	1,8
5	13-11-19+0,15Cu+0,2Mn	13±1	11±1	19±1	1,8

Процесс гранулирования осуществляется в результате двух последовательных процессов:

- сегрегация частиц по размерам в поперечном сечении вращающегося барабана – процесс, при котором происходит перераспределением неоднородных частиц материала.

- рост гранул.

В пределах участков барабана гранулометрический состав не изменяются во времени. Весь материал в барабане можно условно разделить на поднимающиеся и скатывающиеся слои (рисунок 1). Гранулометрический состав является функцией радиуса движения частиц в поднимающемся слое.



**Рисунок 1 – Схема к определению параметров движения сыпучего материала**

При вращении барабана на частицу, находящуюся на открытой поверхности сегмента материала, действуют гравитационные и центробежные силы. Немаловажными параметрами в процессе окатывания являются угол наклона барабана, при котором начинается движение частиц по открытой поверхности; внутренний радиус барабана; коэффициент трения между частицами сыпучего материала и угол перехода частицы в движение, а также масса частицы.

Из рисунка 1 видно, что в точке А частица находится в самом невыигрышном положении, т.к. на нее действует тормозящая составляющая от центробежной силы. Значение угла, при котором начинается движение частицы из этой точки, можно определить из выражения (1).

$$\alpha_{\omega} = \arccos \left\{ \frac{-f_{\Pi} \omega^2 R (\sin \delta_0 + f_{\Pi} \cos \delta_0) + \sqrt{f_{\Pi}^2 + 1 - \frac{\omega^4 R^2 (\sin \delta_0 + f_{\Pi} \cos \delta_0)}{g^2}}}{f_{\Pi}^2 + 1} \right\}, \quad (1)$$

где  $f_{\Pi}$  – коэффициент трения между частицами сыпучего материала;  $\omega$  – угловая скорость вращения барабана;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\varphi$  – угол перехода частицы из состояния покоя к движению.

Площадь поперечного сечения неподвижного материала относительно обечайки барабана является суммой двух площадей – кругового сегмента  $AD$  и фигуры, характеризуемой прямой  $CD$ , кривой  $CB$  и дугой окружности  $BD$ .

Массу материала, находящегося в барабане, можно вычислить из выражения (2) [3].

$$M = \frac{0,5L\rho R^2}{2\delta_0 - \sin 2\delta_0}, \quad (2)$$

где  $L$  – длина барабана;  $\rho$  – насыпная плотность материала;  $R$  – внутренний радиус барабана.

В свою очередь масса поднимающегося слоя определяется выражением (3).

$$M_{\Pi} = LS_{\Pi}\rho, \quad (3)$$

где  $S_{\Pi}$  – площадь поперечного сечения материала, находящегося в барабанном грануляторе.

При определении массы материала, находящегося в барабане и массы поднимающегося слоя, не учитывается степень разрыхления

материала. Коэффициент заполнения барабана-гранулятора материалом является величиной постоянной.

Время движения  $i$ -й частицы на участке разгона определяется как (4):

$$\tau_{pi} = \frac{\omega R_c}{a} + \sqrt{\left(\frac{\omega R_c}{a}\right)^2 + \frac{2}{a} \sqrt{R_i^2 - R_c^2}}, \quad (4)$$

где  $R_c$  – радиус центра циркуляции частицы, при котором на тяжелые частицы воздействуют силы поперечной циркуляции частицы перемещаются в центр вращения;  $a$  – ускорение движения частицы;  $R_i$  – радиус, на котором находится точка перехода частицы из поднимающегося слоя в скатывающийся.

Частицы движутся равнозамедленно на участке торможения. Время торможения  $i$ -й частицы представлено в выражении (5)

$$\tau_{ti} = L_{ti} \frac{\left(1 + \frac{v_{ik}}{v_{ic}}\right)}{\left(\frac{v_{ic}}{2} - \frac{v_{ik}^2}{v_{ic}}\right)}, \quad (5)$$

где  $L_{ti}$  – путь торможения частицы;  $v_{ik}$  – проекция скорости частицы, в момент перехода из скатывающегося слоя в поднимающийся;  $v_{ic}$  – скорость частицы, при прохождении центрального сечения, находится из выражения (6)

$$v_{ic} = \sqrt{\omega^2 R_c^2 + 2a \sqrt{R_i^2 - R_c^2}}, \quad (6)$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Цех по производству NPK-удобрений [Электронный ресурс] // ОАО «Беларуськалий». URL : <https://belaruskali.by/company/proizvodstvo/tsekh-po-proizvodstvu-npk-udobreniy/>. (Дата обращения : 28.09.2022).

2. Описание технологического процесса производства комплексных азотно-фосфорно-калийных (NPK) удобрений Цеха по производству комплексных сложно-смешанных удобрений в Третьем рудоуправлении ОАО «Беларуськалий». – Введ. 17.03.2015. – Солигорск : ОАО «Беларуськалий», 2015. – 4 с.

3. Першин, В.Ф. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа : монография / В.Ф.Першин., В.Г. Однолько, С.В.Першина . – Москва : «Машиностроение», 2009. – 141 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТАНОВОК ГРАНУЛИРОВАНИЯ ГАЛУРГИЧЕСКОГО ХЛОРИСТОГО КАЛИЯ**

Выполнено исследование влияния температуры прессования галургического мелкозернистого хлористого калия на производительность процесса гранулирования и физико-механические свойства гранулята в условиях сильвинитовой обогатительной фабрики Четвертого рудоуправления ОАО «Беларуськалий». Разработаны рекомендации по совершенствованию технологического процесса и оборудования.

Исследование производилось в рамках следующих технологических этапов получения гранулированного продукта.

Этап 1: обезвоженная шихта, состоящая из мелкого хлористого калия, подается из отделения сгущения и центрифугирования в отделение сушки и грануляции на сушильные установки кипящего слоя для сушки и подогрева. Далее подогретый до нужной температуры продукт подается системой элеваторов и конвейеров на установки гранулирования;

Этап 2: в установках гранулирования производится прессование шихты, дробление и классификация прессата с получением гранулята товарного фракционного состава, который системой конвейеров направляется в установку облагораживания гранулята.

Методика исследования предусматривала замеры параметров работы оборудования установок гранулирования при трех устоявшихся режимах работы с температурами в шахте валкового пресса соответственно около 120 °С, 130 °С, 140 °С. Для каждого режима работы грануляционных установок оценивалась их максимальная производительность, физико-механические характеристики получаемого продукта, а также влияние температуры на изменение соотношения формирующихся потоков гранулята, прессата и подрешетного продукта (ретура). Принципиальная схема оборудования исследуемых установок гранулирования и основных потоков продукта представлена на рисунке 1.

Температурные режимы прессования обеспечивались изменением температуры подогрева шихты в печах кипящего слоя в пределах 130-160 °С с тем, чтобы с учетом потерь тепла при транспортировке материала и подмешивании подрешетного продукта грохотов и просеивающих машин обеспечить необходимую температуру в шахтах валковых прессов.

В таблице представлены обобщенные результаты замеров параметров работы установок гранулирования с указанием позиций оборудования согласно рисунку 1.



**Рисунок 1 – Схема установки гранулирования:**

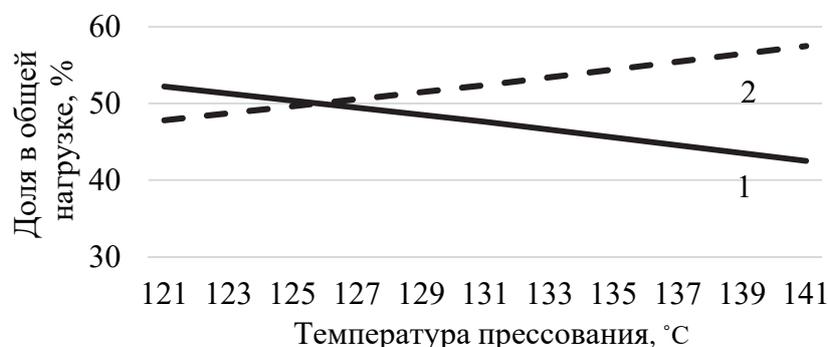
- 1-4 – валковые прессы; 5-8 – подпрессовые грохоты; 9-11 – роторные дробилки;  
 12 – ударно-отражательная дробилка; 13 – молотковая дробилка;  
 14, 15, 18, 19 – элеваторы ковшовые;  
 16-17 – трехпродуктовые просеивающие машины

Анализ представленных в таблице 1 параметров работы оборудования свидетельствует, что с увеличением температуры прессования увеличивается выход гранулята, то есть повышается производительность установок. Причину этого позволяет установить анализ закономерностей изменения соотношения токов приводов групп элеваторов подачи подрешетного продукта с шихтой поз. 14, 15 и элеваторов подачи прессата поз. 18, 19 при изменении температур прессования, которые графически представлены на рисунке 2. Как видно из этого рисунка, при увеличении температуры прессования относительная доля токовой нагрузки элеваторов поз. 18 и 19 снижается, а элеваторов поз. 14 и 15 – повышается. Это свидетельствует о том, что с увеличением температуры прессования относительно общей нагрузки на валковый пресс снижается выход подрешетного продукта грохотов поз. 5-8 и просеивающей машины поз. 16 и 17, и повышается выход надрешетных фракций, что, в свою очередь, свидетельствует о соответствующем повышении качества плитки, формируемой в валковом прессе.

**Таблица 1 – Параметры работы грануляционных установок**

Выход гранулята, т/ч	№ замера	Температура в шахте валковых прессов, °С				Ток привода элеваторов, А			
		Поз. 1	Поз. 2	Поз. 3	Поз. 4	Поз. 18	Поз. 19	Поз. 14	Поз. 15
65	1	141	140	140	135	46,5	37,9	52,0	59,7
	2	142	141	141	141	45,3	35,7	51,8	60,7
53	3	134	133	127	132	42,6	41,2	41,9	50,1
	4	134	134	127	133	43,4	40,9	41,5	51,7
49	5	120	113	119	121	55,3	51,3	44,7	52,2
	6	123	115	122	124	54,6	51,0	45,1	52,2

По нашему мнению, это объясняется тем, что с ростом температуры прессования в исследуемых пределах имеет место повышение интенсивности процесса рекристаллизации частиц, описанного в работах [1-3]. Кроме того, при высоких температурах и давлениях начинает оказывать заметное влияние процесс образования расплава в местах контакта частиц в зоне пластической деформации, в результате этого при последующем охлаждении прессата обеспечивается большая прочность межчастичных контактных связей за счет образования дополнительных связей кристаллизационного типа, на возможность чего указывалось в работе [1]. Таким образом увеличение температуры прессования галургического хлористого калия в исследуемых пределах существенно повышает производительность грануляционных установок за счет снижения объемов циркуляционной нагрузки неспрессовавшихся частиц (ретура) на валковые прессы.



**Рисунок 2 – Изменение соотношения относительной доли токовых нагрузок приводов элеваторов при изменении температуры прессования:**

1 – относительная доля токовой нагрузки приводов элеваторов подачи подрешетного продукта с шихтой; 2 – относительная доля токовой нагрузки приводов элеваторов подачи прессата

В процессе проведения исследований было также изучено влияние изменения температуры прессования на изменение физико-механических свойств гранулята. Установлено, что при увеличении температуры в шахтных прессах в пределах от 120 °С до 142 °С при соответствующем

изменении объемов выхода гранулята сколько-нибудь заметных изменений физико-механических свойств продукта не наблюдается.

В целом результаты выполненных исследований показали, что одним из путей увеличения производительности установок гранулирования мелкозернистого галургического хлористого калия является повышение температуры прессования, по меньшей мере, до 140–145 °С. При этом в процессе исследования была выявлена серьезная техническая проблема, ограничивающая возможность непосредственного внедрения режима повышенных температур прессования в технологический процесс, а именно – при температурах прессования свыше 130 °С происходит очень заметная интенсификация адгезионного взаимодействия солей хлористого калия и рабочих поверхностей валков. Достаточно быстро формирующие элементы на рабочих поверхностях валков заполняются налипшим прессуемым материалом. Валки становятся практически гладкими, покрытыми слоем припекшейся соли. Соответственно снижается производительность пресса. Поэтому для решения проблемы налипания материала на валки было предложено заменить существующие установки прессования на модернизированные, оборудованные охлаждаемыми валками, конструкция которых разработана автором совместно со специалистами ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кочетков, В. Н. Гранулирование минеральных удобрений / В. Н. Кочетков. – М., Химия, 1975. – 224 с.
2. Кувшинников, И. М. Минеральные удобрения и соли: Свойства и способы их улучшения. – М., Химия, 1987. – 256 с.
3. Классен, П. В. Гранулирование / П. В. Классен, И. Г. Гришаев, И. П. Шомин. – М., «Химия», 1991. – 240 с.

УДК 66.021.3

**Мытько Д.Ю., Вайтехович П.Е.**

(Белорусский государственный технологический университет)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ОТНОСИТЕЛЬНОГО БРЫЗГОУНОСА В МАССООБМЕННОЙ КОЛОННЕ С РЕГУЛЯРНО-СТРУКТУРИРОВАННОЙ НАСАДКОЙ**

Брызгоунос из массообменных аппаратов, в особенности в нефтепереработке, является нежелательным явлением. Он загрязняет целевой газообразный (паровой) продукт на выходе из аппаратов. Для снижения

уноса после массообменных аппаратов устанавливают крупногабаритные сепараторы. Для их расчета с целью уменьшения габаритов и снижения металлоемкости необходимы данные по уносу капельной жидкости из массообменных аппаратов. В этой связи разработка и внедрение любого контактного устройства требует проведения исследований по определению величины брызгоуноса. Это в полной мере относится и к регулярно структурированной насадке, являющейся объектом наших исследований.

Для выполнения этого этапа нами были проведены сравнительные исследования нескольких типов насадок, определены их гидродинамические и массообменные характеристики [1, 2]. На основе этих исследований выбран оптимальный тип насадки, выполненной в виде концентрических коаксиально-расположенных цилиндров, между которыми установлены зигзагообразные перегородки с образованием контактных каналов треугольного сечения. Такая насадка условно была названа зигзагообразной. Комплекс исследований, проведенных ранее, позволил определить рациональный размер этих каналов, характеризующийся стороной треугольника 15÷20 мм [3]. Единственным параметром, не вошедшим в сферу исследований, остался унос жидкой фазы из насадочного аппарата. Поэтому задачей работы является – установление закономерностей изменения уноса жидкой фазы из слоя регулярно структурированной насадки нового типа.

Для выполнения поставленной задачи, было сконструировано и изготовлено на 3D-принтере по три вида зигзагообразной насадки с длиной стороны ячейки канала 12 мм, 17 мм, 22 мм. Далее будем использовать их следующие условные обозначения: 3-12; 3-17; 3-22 [3]. Основные пакеты насадки высотой 300 мм были набраны из трех равных секций. Для определения количества унесенной жидкости на расстоянии 500 мм над насадкой устанавливался гравитационный сепаратор с отбойником. В дополнительной серии опытов в структуру насадки вносилось два изменения. Первое заключалось в том, что отдельные ее секции раздвигались с образованием между ними дополнительного сепарационного пространства высотой 40 мм, а второе отличалось уменьшением общей зоны сепарации до 400 мм.

Варьируемыми параметрами в процессе экспериментов являлись скорость газа и плотность орошения, значения которой  $q$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$  задавались:  $3 \cdot 10^{-3}$ ;  $3,6 \cdot 10^{-3}$  и  $4,3 \cdot 10^{-3}$ .

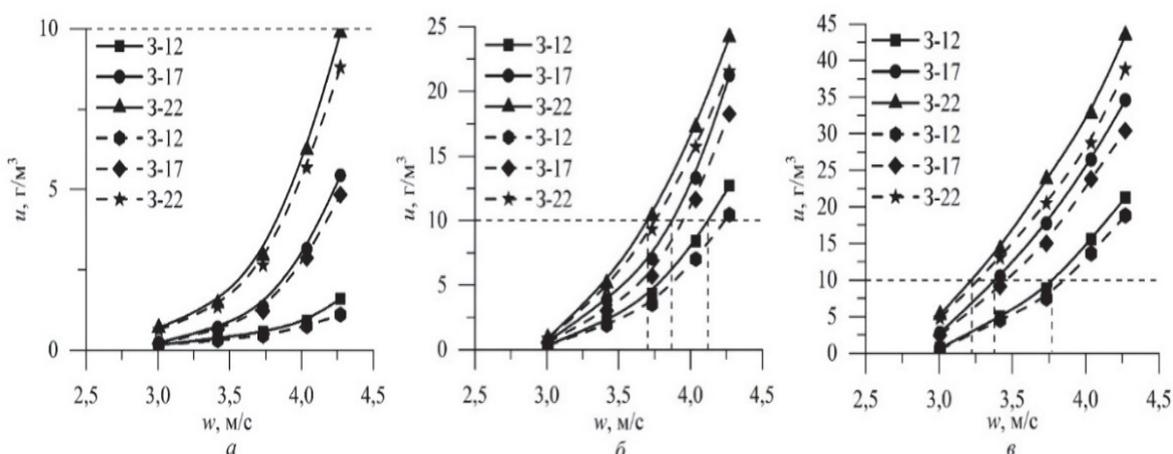
Относительная величина брызгоуноса  $u$ ,  $\text{г}/\text{м}^3$  определяется по формуле [4]:

$$u = \frac{m}{\tau \cdot V}$$

где  $m$  – масса жидкости, уловленная сепаратором, г;  $\tau$  – время, с;  $V$  – объемный расход газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Часто при исследовании уноса вводится его максимально допустимая величина. Например, для тарельчатых массообменных аппаратов межтарельчатый унос допускается до 10%. С учетом того, что в литературе по изучению регулярно-структурированных насадок не указан предел по допустимому уносу из насадочного аппарата, на наш взгляд в указанных аппаратах можно ограничиться однопроцентным уносом, как граничным для верхнего предела устойчивой работы по скорости газа [4].

На рисунке 1 представлены графические зависимости изменения относительного брызгоуноса жидкости  $u$ , г/м<sup>3</sup> из массообменного аппарата с блоком зигзагообразной регулярно-структурированной насадки от средней скорости газа в колонне  $w$ , м/с. Сплошной линией обозначена зависимость для цельного блока, штриховой – для пакета с дополнительным сепарационным пространством.



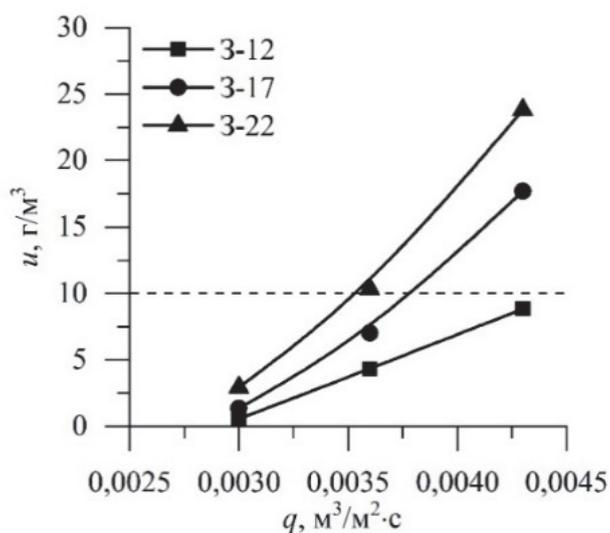
**Рисунок 1 – Относительный брызгоунос жидкости при трех плотностях орошения (при  $H = 500$  мм):**  
 а –  $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ ; б –  $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ ; в –  $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$

Из рисунка 1 (а, б, в) видно, что величина относительного брызгоуноса возрастает с увеличением средней скорости газа в колонне. Причем для всех вариантов насадки его изменение описывается степенной функцией. При уменьшении размера ячейки унос снижается. Объяснение этому может быть дано только после детального изучения пленочного течения жидкости в каналах насадки, которое намечается провести в ближайшей перспективе. Установка насадки с дополнительным сепарационным пространством способствует уменьшению уноса, но не очень значительно.

Максимальная величина брызгоуноса  $10 \text{ г/м}^3 = 0,01 \text{ м}^3/\text{м}^3$  или 1% не была достигнута при  $q = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$  (рисунок 1 а) для всех вариантов насадок. Однако с увеличением плотности орошения (рисунок 1 б, в),

она была значительно превышена. По зависимостям на рисунке 1 (б, в), можно определить максимальные рабочие скорости газа в колонне. Для 3-12 (рисунок 1 б) она равна 4,2 м/с, для 3-17 и 3-22 – 4,0 м/с и 3,7 м/с соответственно. При максимальной плотности орошения (рисунок 1 в) скорости будут равны 3,75 м/с для 3-12, 3,4 м/с для 3-17 и 3,2 м/с для 3-22.

Для большей наглядности на рисунке 2 представлены графические зависимости изменения относительного уноса в массообменной колонне со сплошным блоком насадок от плотности орошения, при одной скорости газа в колонне 3,5 м/с.



**Рисунок 2 – Изменение относительного брызгоуноса от плотности орошения ( $H = 500$  мм)**

Здесь четко видно, что с увеличением плотности орошения величина относительного брызгоуноса возрастает. Причем это изменение происходит почти линейно.

На рисунке 3 представлены графические зависимости изменения относительного брызгоуноса жидкости  $u$ , г/м³ из массообменного аппарата с цельным блоком регулярно-структурированной насадки от средней скорости газа  $w$ , м/с, при плотности орошения  $3,6 \cdot 10^{-3}$  м³/м²·с. Сплошной линией обозначена зависимость для блока с высотой зоны сепарации 500 мм, пунктирной – 400 мм.

Из рисунка 3 видно, что при изменении сепарационного пространства над сплошным блоком насадок с 500 до 400 мм величина относительного брызгоуноса возрастает.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что повышение плотности орошения ведет к увеличению уноса. Рекомендуется работать на 80% от максимальной рабочей скорости для снижения выбросов.

Наиболее предпочтительный размер стороны ячеистого канала зигзагообразной регулярно-структурированной насадки для снижения количества уносимой жидкости из аппарата равен 12 мм.

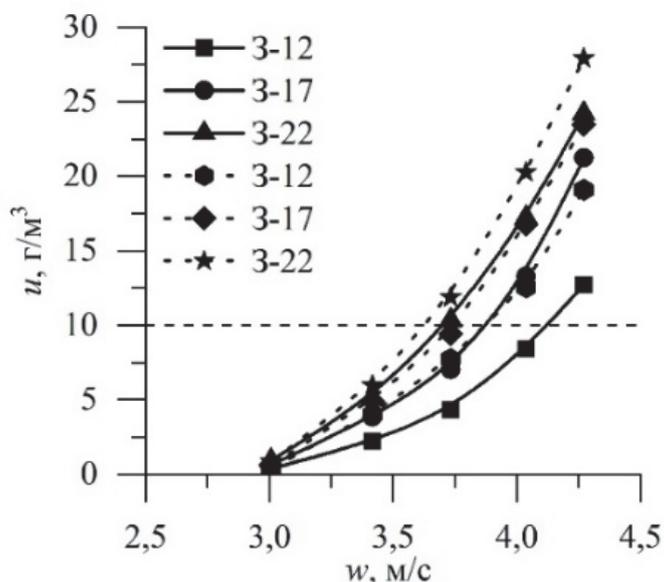


Рисунок 3 – Относительный брызгоунос жидкости при плотности орошения  $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$

Результаты работы могут быть использованы в области химической и нефтехимической промышленности на предприятиях Республики Беларусь (ОАО «Нафтан», Мозырьский нефтеперерабатывающий завод, ОАО «Гродно Азот» и т.д.).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вайтехович П. Е., Мытько Д. Ю. Сравнительный анализ эффективности регулярных насадок для массообменных аппаратов, Труды БГТУ, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2020. № 2. – С. 44–49.

2. Мытько Д. Ю., Вайтехович П. Е. Гидравлическое сопротивление регулярных насадок массообменных аппаратов, Вестник Полоцкого государственного университета, Строительство, Прикладные науки. – 2020. – № 8. – С. 33–38.

3. Мытько Д. Ю., Вайтехович П. Е. Гидродинамика и эффективность регулярно-структурированных зигзагообразных насадок, Химическая технология и техника: материалы 85-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск. – 2021. – С. 56–58.

4. Рамм, В.М. Абсорбция газов. Москва: Химия. – 1976. – 656 с.

**Левданский А.Э.**

(Белорусский государственный технологический университет),

**Мороз И.А.**

(ПРУП «ФреБор»),

**Калишук Д.Г., Саевич Н.П., Ковалева А.А.,**

**Федарович Е.Г., Опимах Е.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

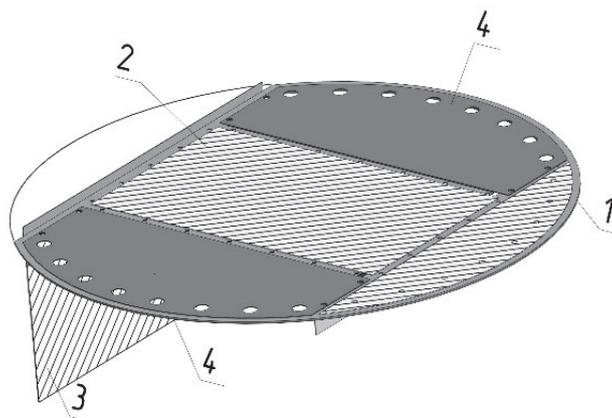
## **КОНЦЕПЦИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН УСТАНОВКИ РЕГЕНЕРАЦИИ ПРОДУКТОВ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИСУЛЬФОНОВОГО ВОЛОКНА**

Одним из видов продукции производственного унитарного предприятия «ФреБор» (г. Борисов) являются гемодиализаторы. Мембранные элементы гемодиализаторов представляют собой полые полисульфоновые волокна, которые производятся на этом же предприятии. При производстве волокон образуются отходы – жидкий гомогенный продукт, состоящий из воды, диметилацетамида и примесей. С целью снижения потерь ценных компонентов (дименирированной воды и диметилацетамида) и возврата их в производственный цикл, а также уменьшения количества не утилизируемых отходов указанную смесь подвергают разделению ректификацией. Процесс разделения ведут в установке непрерывного действия, включающей в свой состав колонные тарельчатые и роторный пленочный аппараты. При этом используются тарельчатые колонны двух типов: с ситчатыми тарелками и с колпачковыми тарелками с туннельными колпачками.

Из-за изменившейся рыночной конъюнктуры предприятие «ФреБор» сократило объемы производства гемодиализаторов и, соответственно, полисульфонового волокна. Это повлекло также уменьшение количества жидких отходов, поступающих на разделение в установку регенерации. В связи с указанными причинами установка в настоящее время переведена на полунепрерывный режим работы. При пониженных нагрузках по исходным жидким отходам колонное и теплообменное оборудование установки не способно обеспечить регламентные условия своей работы (в первую очередь, заданные гидродинамические режимы, при которых сохраняется необходимая разделительная способность колонн). Поэтому жидкие отходы накапливаются в количестве, необходимом для работы установки в течение некоторого времени в непрерывном режиме разделения при

ранее установленной ее регламентной производительности. Такая работа установки требует частых ее пусков и остановок, вызывает повышенные удельные расходы греющего пара, электроэнергии и охлаждающей воды. Кроме того существует необходимость периодического перевода технологического персонала установки на другие работы, усложняется управление процессом разделения. Замена оборудования установки на соответствующее уменьшенной ее производительности при обеспечении непрерывного режима работы требует больших капиталовложений.

Сотрудниками Белорусского государственного технологического университета совместно с работниками производственного унитарного предприятия «ФреБор» разработано техническое предложение по модернизации установки регенерации жидких отходов производства полисульфонового волокна при сохранении непрерывного режима ее работы, не требующее замены существующего колонного оборудования. Для этого следует несколько изменить конструкции массообменных тарелок в ректификационных колоннах. На рисунках 1 и 2 показано устройство существующих ситчатых и колпачковых тарелок колонн установки регенерации.

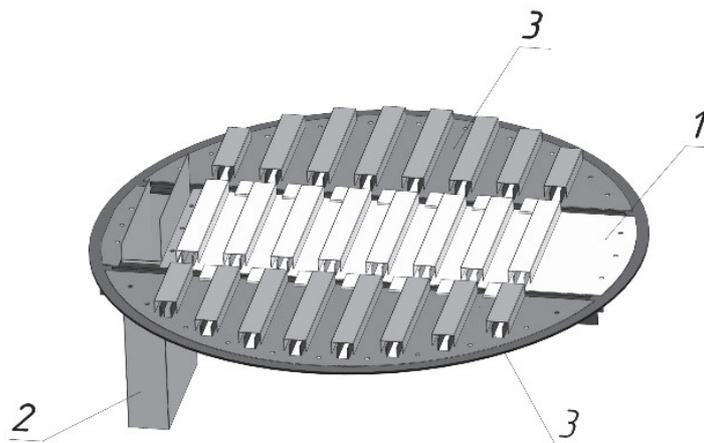


**Рисунок 1 – Ситчатая тарелка существующая**

1 – глухое полотно перелива; 2 – центральное перфорированное полотно;  
3 – сливной лист; 4 – боковые перфорированные полотна

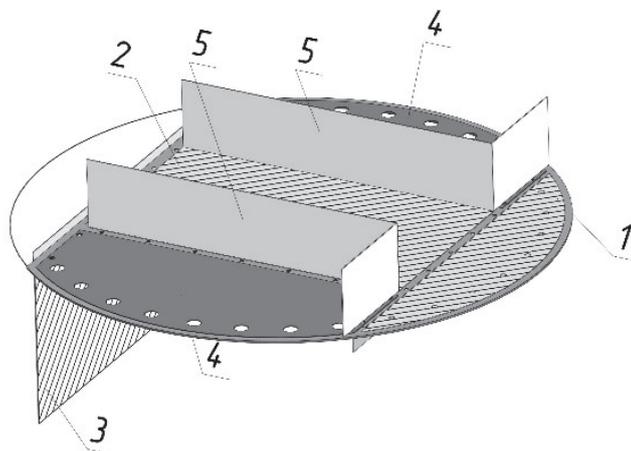
При сниженной нагрузке в существующих тарелках значительно уменьшается скорость истечения пара: для ситчатых – через их отверстия; для колпачковых – через щели колпачков. При этом ситчатые тарелки переходят в нерегламентный малоэффективный провальный гидродинамический режим [1–4]. У колпачковых тарелок при значительном уменьшении скорости истечения пара через щели ощутимо снижается

эффективность [1–4]. Из-за указанных причин заданное разделение жидкой смеси отходов на целевые компоненты не достигается.



**Рисунок 2 – Колпачковая тарелка существующая**  
 1 – центральное полотно с колпачками; 2 – труба слива;  
 3 – боковые полотна с колпачками

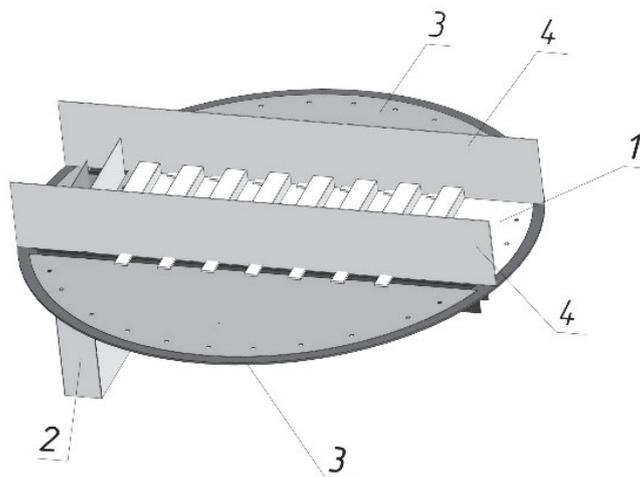
С целью обеспечения высокой эффективности и непрерывного режима работы установки регенерации при сниженном расходе жидких отходов производства полисульфонового волокна нами предложено модернизировать массообменные тарелки в существующих ректификационных колоннах. Сущность их модернизации иллюстрируют рисунки 3 и 4.



**Рисунок 3 – Предлагаемая модернизация ситчатых тарелок**  
 1 – глухое полотно перелива; 2 – центральное перфорированное полотно;  
 3 – сливной лист; 4 – боковые глухие полотна; 5 – направляющие перегородки

Общая черта работ по модернизации ситчатых и колпачковых тарелок – уменьшение их относительного свободного сечения для

прохода пара. При этом в отверстиях ситчатых тарелок обеспечивается скорость пара, не допускающая их работы в провальном режиме. Также при этом скорость истечения пара через щели колпачков сохраняет высокое значение, что необходимо для эффективной работы тарелок.



**Рисунок 4 – Предлагаемая модернизация колпачковых тарелок**

1 – центральное полотно с колпачками; 2 – труба сливная;  
3 – боковые глухие полотна; 4 – направляющие перегородки

Для достижения указанного выше следует уменьшить суммарную площадь поперечного сечения отверстий у ситчатых тарелок и суммарную площадь поперечного сечения паропроводящих патрубков у колпачковых тарелок. Поэтому предлагается демонтировать боковые полотна тарелок (у ситчатых – перфорированные, у колпачковых – с колпачками). На место демонтированных необходимо установить глухие полотна. Для предотвращения течения байпасных потоков жидкости по тарелкам, снижающих эффективность массообмена, на них рекомендуется установить направляющие перегородки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кафаров, В.В. Основы массопередачи / В.В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1979. – 379 с.
2. Александров, И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты: Методы расчета и основы конструирования / И.А. Александров. – М.: Химия, 1978. – 280 с.
3. Рамм, В.М. Абсорбция газов / В.М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
4. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2004. – 751 с.

**Гомалинский В.А.**  
(ОАО «НПО «Центр»),

**Боровский Д.Н.**

(Белорусский государственный технологический университет),

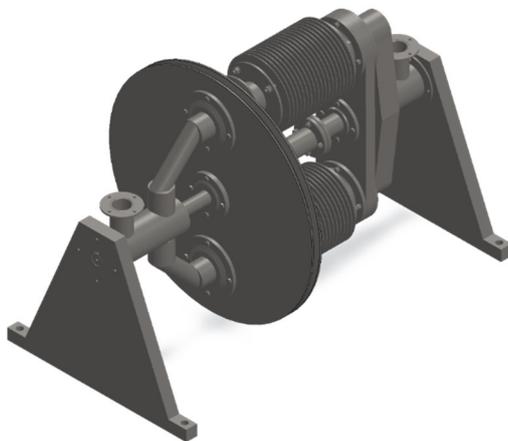
**Семененко Д.В.**

(ОАО «НПО «Центр»)

## **АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ ЗАГРУЗКИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ**

Процесс измельчения в промышленности строительных материалов имеет большое значение. В настоящее время предъявляются все более новые и высокие требования к измельчителям и схемам процесса, что требует дальнейшего совершенствования техники измельчения.

Особый интерес с этой точки зрения представляют планетарные мельницы (рисунок 1) [1]. Они обычно включают несколько полых барабанов, в которые загружается материал и мелющие тела. Ось барабанов закрепляется на водиле, а своей поверхностью они опираются на неподвижное колесо. Таким образом, при вращении водила барабаны вращаются относительно его оси и вокруг собственных осей. При таком характере движения на мелющие тела действуют значительные инерционные силы, что способствует интенсификации помола.



**Рисунок 1 – 3D модель горизонтальной планетарной мельницы**

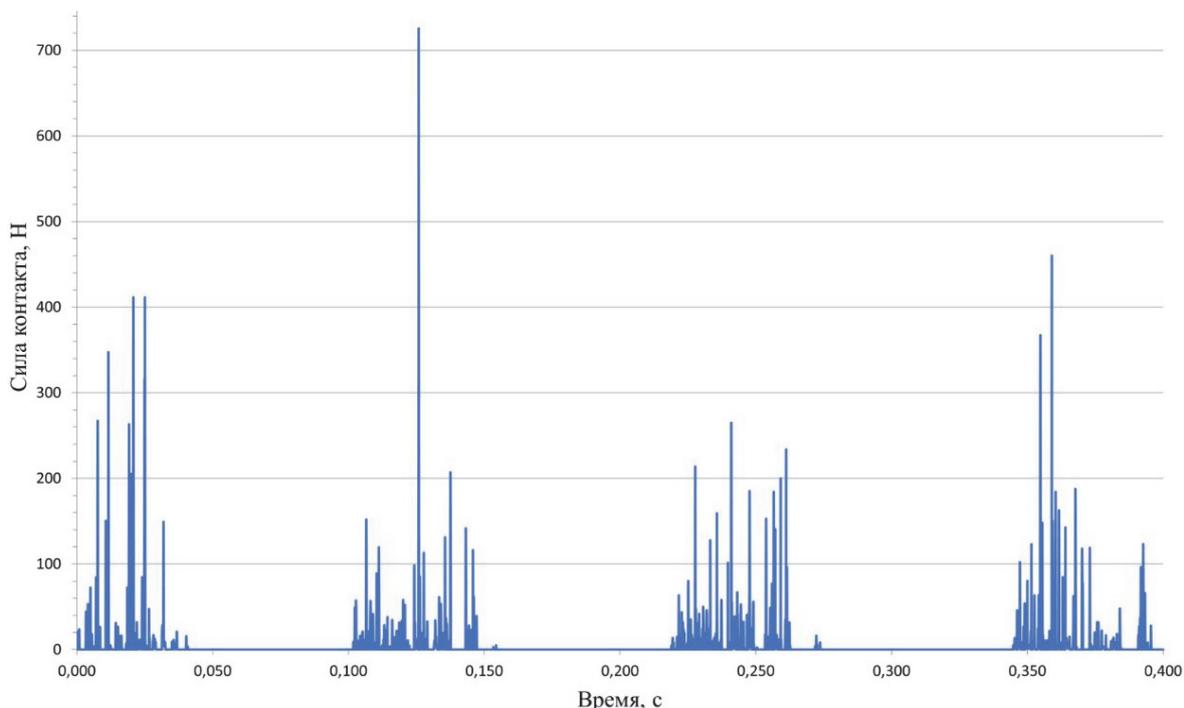
Целями теоретических исследований являлись анализ движения загрузки в горизонтальной планетарной мельнице и получение визуальных представлений изменения давления и температуры внутри помольных барабанов планетарной мельницы.

Исследования проводились при помощи программы SolidWorks. При этом принимались барабаны с внутренним диаметром 100 мм

рабочей длиной 200 мм, радиус вращения от центральной оси составлял 176 мм. Мелющими телами являлись стальные шары диаметром 10 мм, частота вращения помольного барабана принималась 560 об/мин, а водила – 740 об/мин. Для проведения анализа была создана упрощённая модели мельницы. С целью ускорения расчетов упрощенная модель содержит водила с установленным на нем барабаном. При этом размеры и скорости барабана и водила соответствуют вышеописанным.

В результате расчета была получена траектория, описываемая точкой барабана, которая подобна на движение электронов вокруг атома. Также проведен анализ движения мелющих тел в горизонтальной планетарной мельнице, по которому можно судить о каскадном движении загрузки. Следует отметить, что загрузка в связи с большой центробежной силой удаляется на периферию от центра барабана и водила.

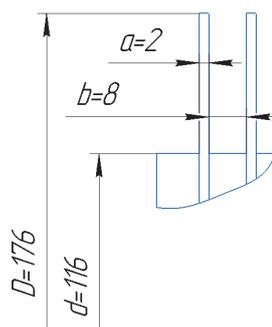
В процессе моделирования движения мелющих тел в помольном барабане мельницы параллельно были получены результаты изменения величины поступательной скорости одиночного тела – его скорость варьировалась в диапазоне 10 – 25 м/с и зависела от знакопеременного действия двух центробежных сил, возникающих от вращения помольных барабанов вокруг собственной и центральной осей. Также для оценки величины раздавливающего усилия, возникающего в процессе измельчения, было получено изменение силы контакта между мелющим телом и стенкой барабана (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Зависимости силы контакта между мелющим телом и стенкой барабана от времени**

Как видно из графика (рисунок 2) в момент контакта тела со стенкой величина силы находится в пределах 20 – 440 Н, при этом наблюдаются пиковые значения, достигающие 730 Н. Результаты расчета свидетельствуют о том, что сжимающие усилия изменяются циклически. Циркуляция загрузки происходит каждые 0,07 секунды, при этом оборот водила происходит каждые 0,081 секунду. Таким образом, даже в одном фиксированном положении процесс воздействия мелющих тел на материал не статичен. Естественно, в каждом новом положении силовое воздействие будет изменяться, и за счет этого обеспечится нестационарное динамическое нагружение материала [2].

Второй частью исследований было получение визуальных представлений изменения давления и температуры внутри помольных барабанов планетарной мельницы. Это связано с тем, что в планетарных мельницах в процессе интенсивного измельчения происходит резкий рост температуры и давления внутри помольной камеры. Особенно это заметно для мельниц непрерывного действия. Для решения проблемы на барабаны дополнительно устанавливается воздушное охлаждение в виде оребрения поверхности (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Оребрение поверхности помольного барабана**

Моделирование движения загрузки проводилось в программе SolidWorks Flow Simulation. Загрузка – это смесь, состоящая из 50% цементного клинкера и 50% стали (мелющих тел). Также для расчетов были зафиксированы следующие значения параметров: температура окружающей среды (реальная стенка) – 20°C, коэффициент теплопередачи – 89 Вт/м<sup>2</sup>·К. Так как мельница непрерывного действия, то устанавливался массовый расход 0,0025 кг/с. Расчет проводился для трех различных угловых скоростей помольного барабана  $\omega_b$  – 26 с<sup>-1</sup>, 32,5 с<sup>-1</sup> и 50 с<sup>-1</sup>.

По результатам моделирования были получены графики зависимости максимальной температуры в барабане от времени (рисунок 4) и картины в сечении барабана для давления и температуры среды (рисунок 5).

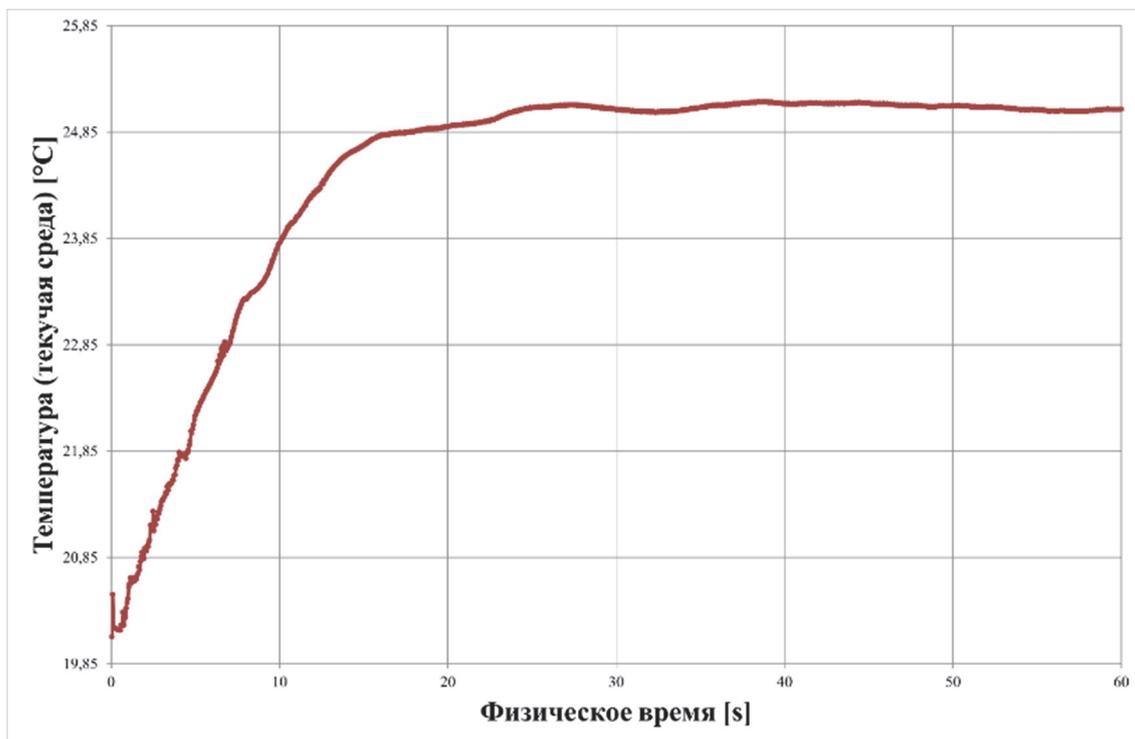


Рисунок 4 – Температура в помольном барабане при  $\omega_6 = 50 \text{ с}^{-1}$



Рисунок 5 – Картина в сечении по температуре при  $\omega_6 = 50 \text{ с}^{-1}$

Из рисунков 4 и 5 видно, что на выходе температура больше, чем на входе. Материал с температурой в  $20^\circ\text{C}$  подается в барабан (на рисунке 5 справа), начинается процесс измельчения, а собственно и нагрев материала. На выходе из барабана с оребрением максимальная температура достигает  $25,54^\circ\text{C}$ .

Для двух других значений угловых скоростей помольного барабана графики носят аналогичный характер.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показали, что оребрение помольных барабанов предотвращает рост температуры поддерживая ее в стабильных величинах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вайтехович, П.Е. Интенсификация шарового измельчения в быстроходных мельницах / П.Е. Вайтехович, Д.В. Семененко, Д.Н. Боровский, В.И. Козловский // Химическая промышленность сегодня. – 2012. М. – №9. – С. 40–46.

2. Вайтехович П.Е. Разрушающее воздействие мелющих тел в горизонтальной планетарной мельнице при различных способах обкатки помольных барабанов / Вайтехович П.Е., Д.Н. Боровский // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2019. – №2. – С. 3–6.

УДК 66.021.3

**Ланкин Р.И., Францкевич В.С.**

(Белорусский государственный технологический университет)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ РЕШЕТОК В НАСАДОЧНОМ МАССООБМЕННОМ АППАРАТЕ**

Мокрая очистка – один из эффективных способов удаления загрязнений из газовой фазы. Аппараты мокрого пылеулавливания отличаются простотой конструкции и высокой эффективностью. Широкое применение получили аппараты с подвижной насадкой, несмотря на то, что они появились относительно недавно [1].

В аппаратах с подвижной насадкой увеличение эффективности массообменных процессов обеспечивается псевдооживленными насадочными телами. Насадка укладывается в колонну на опорные решетки, имеющие отверстия для прохода жидкости и газа, служащие одновременно для равномерного распределения последнего. Первоначальное распределение жидкости по насадке осуществляется с помощью распределительного устройства, в качестве которого могут использоваться распределительные тарелки, форсунки, центробежные оросители и т.д. Однако по мере стекания жидкости по насадке равномерность ее распределения нарушается в силу так называемого «пристеночного эффекта». Он обусловлен неоднородностью заполнения элементами насадки поперечного сечения аппарата, а именно невозможностью плотной укладки элементов насадки вблизи стенок колонны, в силу геометрических причин. Это приводит к большему свободному объему вблизи стенок колонны, что уменьшает гидравлическое сопротивление потоку жидкости и вызывает преимущественное стекание жидкости от центра к периферии.

Объектом исследования является абсорбционная колонна с одной секцией насадки. Насадка, в виде шаров, располагалась на распределительной решетке. Высота слоя насадки составляла 116 мм, а отношение диаметра аппарата к диаметру шаров составляет 6,9.

Целью работы являлось уменьшение гидравлического сопротивления распределительной решетки в массообменном аппарате с подвижной насадкой. Для этого были изготовлены две распределительные решетки:

– диаметры центральных отверстий составляют 7,5 мм. Такие отверстия занимают 20% площади распределительной решетки. Диаметры отверстий, находящиеся на периферийной части, составляют 4 мм, и занимают оставшуюся площадь решетки. В дальнейшем будет именоваться как вид 1 (рисунок 1, а).

– диаметры центральных отверстий составляют 7,5 мм. Отверстия так же занимают 20% площади распределительной решетки. А диаметры отверстий, находящиеся на периферийной части, составляют 9 мм, и занимают оставшуюся площадь решетки. В дальнейшем будет именоваться как вид 2 (рисунок 1, б).

Свободное сечение в обеих решетках составляет 35%.

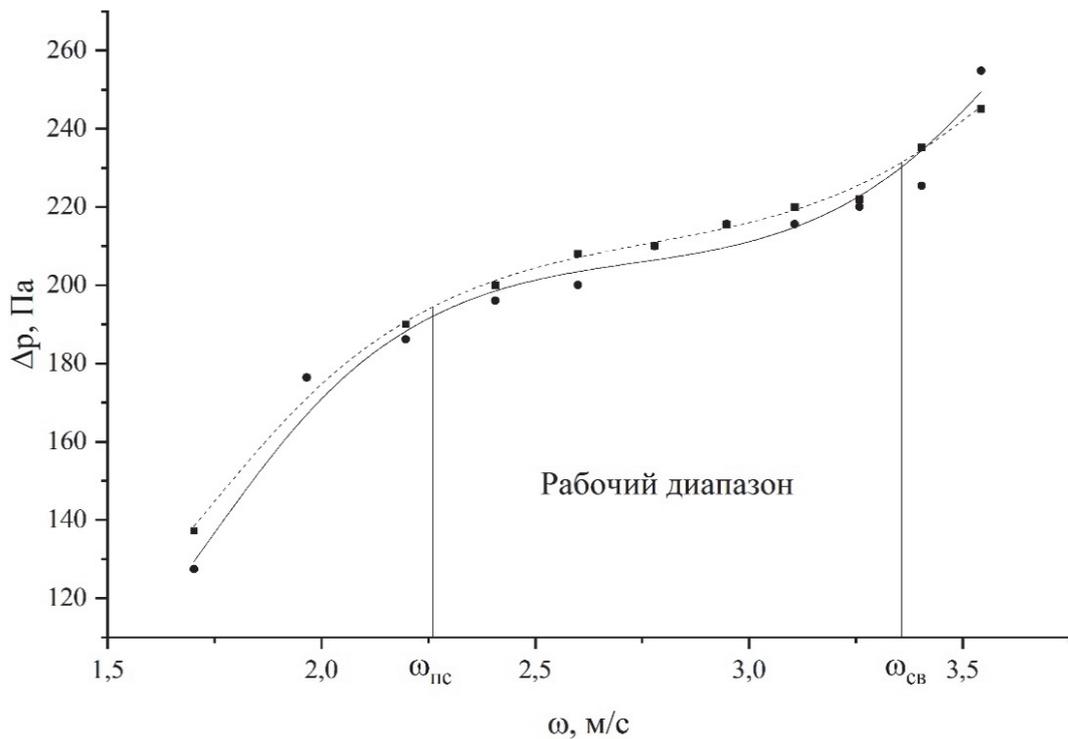


**Рисунок 1 – Распределительные решетки:**  
*a* – вид 1; *б* – вид 2

В ходе эксперимента скорость газа в колонне находилась в промежутке от 1,7 до 4 м/с. Были построены графики зависимости гидравлического сопротивления от скорости газа, для каждой из распределительных решеток (рисунок 2).

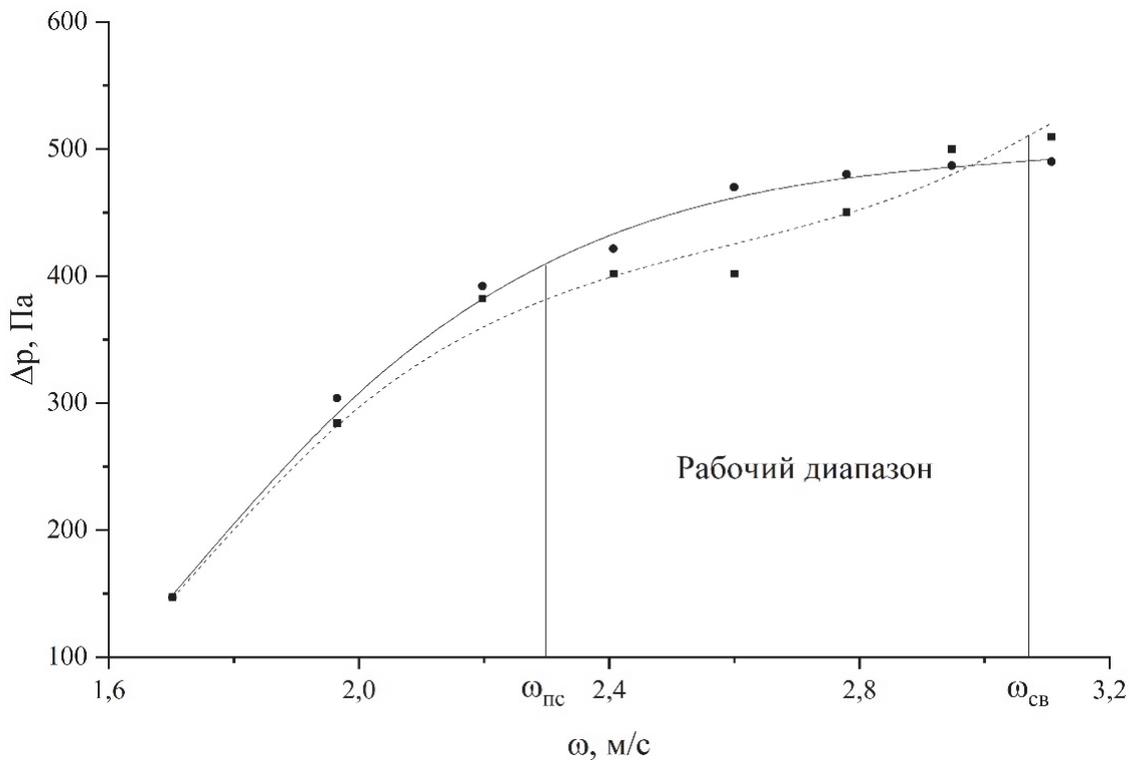
На следующем этапе эксперимента в абсорбер подавалась орошающая жидкость (вода) с расходом 0,62 м<sup>3</sup>/ч.

Были построены графики зависимости гидравлического сопротивления от скорости газа, для каждой из распределительных решеток (рисунок 3).



**Рисунок 2 – Зависимость гидравлического сопротивления насадки от скорости газа без орошения:**

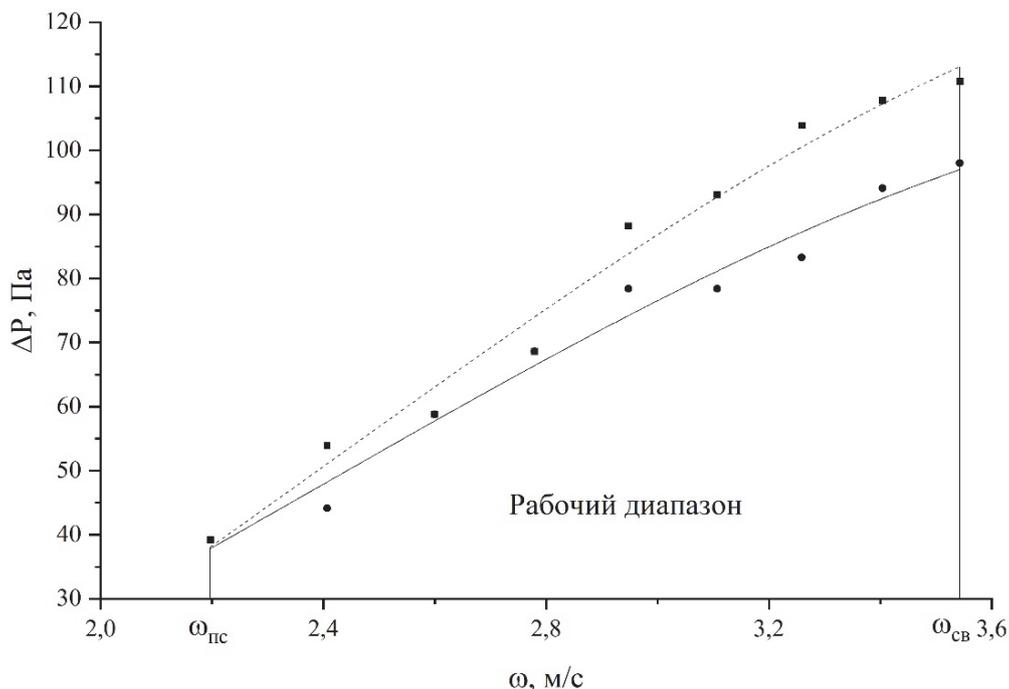
—●— — вид 1; ---■--- — вид 2



**Рисунок 3 – Зависимость гидравлического сопротивления насадки от скорости газа с орошением:**

—●— — вид 1; ---■--- — вид 2

После предыдущих экспериментов определяли гидравлическое сопротивление самой решетки, в рабочем диапазоне насадки, так же были построены графики зависимости гидравлического сопротивления от скорости газа, для каждой из распределительных решеток (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Зависимость гидравлического сопротивления распределительной решетки от скорости газа без орошения:**  
 —●— — вид 1; —■— — вид 2

Проходя через колонну, газ преодолевает гидравлическое сопротивление, и разность давлений газа на входе в аппарат и выходе из него должна быть равна гидравлическому сопротивлению, оказываемому его движению. Наименьшее гидравлическое сопротивление наблюдается при использовании распределительной решеткой вида 1.

Планируется использовать эту распределительную решетку для дальнейшего исследования, также полученные данные будут использованы при апробации разрабатываемой компьютерной модели гидродинамики газожидкостных потоков в массообменном аппарате с подвижной насадкой с использованием вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ланкин, Р. И. Гидравлическое сопротивление абсорбера с подвижной шаровой насадкой / Р. И. Ланкин, В. С. Францкевич // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2022. – № 2(259). – С. 107-114.

## **РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОЙ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧЕГО НЕПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА ЧЕРЕЗ ВЕЛИЧИНУ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ**

В промышленном производстве часто получают гранулированные продукты виде суспензий. В химической промышленности типичными такими продуктами являются гранулы полимеров. Последующие технологические стадии подразумевают сушку гранул. Со схожей задачей сталкиваются и при переработке измельченных полимерных отходов.

После процесса флотационного разделения, измельченные полимерные отходы влажные и не пригодны для дальнейшей переработки, например, в экструдере. Необходимо удалить поверхностную влагу с частиц полимеров. Особенностью большинства полимеров является то, что влага может присутствовать только на поверхности гранул.

Для удаления влаги в промышленном производстве применяют как механические методы (фильтрование, центрифугирование), так и процесс сушки. В классическом понимании процесс сушки связан с изменением агрегатного состояния влаги путем перевода её из жидкого состояния в парообразное состояние. Изменение агрегатного состояния вещества, при переходе из жидкого состояния в парообразное, сопряжено с высокими удельными энергозатратами. Подтверждением этому является то, что для перехода воды из жидкости в пар требуется энергии на три порядка больше, чем при её нагреве на 1 градус.

Очевидно, что более экономичным является механическое удаление влаги с поверхности высушиваемого материала. Одним из вариантов удаления поверхностной влаги с частиц высушиваемого материала является их обдув скоростным газовым потоком. При этом в процессе важным является создание необходимой минимальной скорости обдува частиц газовым потоком.

Минимальная скорость газового потока должна обеспечивать срыв пленки жидкости с поверхности твердых частиц. Для определения критической скорости газового потока рассмотрим силы, действующие на пленку жидкости находящейся на поверхности частицы обдуваемой газовым потоком. На пленку жидкости действуют: сила тяжести, сила трения, вызванная обтекающим её газовым потоком и сила поверхностного натяжения, предотвращающая разрыв пленки жидкости. На величину критической скорости газового потока будет

оказывать существенное взаимное влияние направление векторов силы тяжести, действующей на пленку жидкости, и скорости газового потока. Очевидно, что сила тяжести всегда направлена вниз, а направление вектора скорости газового потока может быть любым.

Для подбора минимальной скорости газового потока при механической сушке твердого материала необходимо знать параметры пленки жидкости на поверхности частицы.

Определим максимальное количество поверхностной влаги, которая может находиться на поверхности одиночной частицы в состоянии покоя. Рассмотрим сферическую частицу с радиусом  $r$ , на поверхности которой находится пленка жидкости. В состоянии покоя форма пленки влаги определяется силами тяжести и поверхностного натяжения. Основное накопление массы пленки будет происходить в нижней части, как показано на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Силы, действующие на поверхностную влагу, приложенные в сечении разрыва пленки**

Разрушение пленки, в момент отрыва жидкости от частицы, произойдет по наиболее нагруженному и тонкому сечению, расположенному в горизонтальной плоскости и соответствует горизонтальному сечению частицы с радиусом  $r$ . Момент разрушения пленки соответствует равновесию силы тяжести влаги и силы поверхностного натяжения. Силу поверхностного натяжения можно рассчитать по зависимости [1]

$$F_{\text{ПОВ}} = \sigma \cdot l = \sigma \cdot 2 \cdot 2\pi r, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – удельная поверхностная энергия или поверхностное натяжение жидкости, Н/м;  $l$  – длина границы свободной поверхности жидкости, м;  $r$  – радиус частицы, м.

Тогда условия сил равновесия в состоянии покоя

$$m_{\text{ж}} \cdot g = \sigma \cdot 2 \cdot 2\pi r, \quad (2)$$

где  $m_{\text{ж}}$  – масса жидкости, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Из уравнения 2 следует, что максимальная масса жидкости, которая может находиться на поверхности частицы, рассчитывается по формуле

$$m_{ж} = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \pi r}{g}. \quad (3)$$

Объем поверхностной влаги найдем, разделив массу жидкости на ее плотность

$$V_{ж} = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \pi r}{g \cdot \rho}. \quad (4)$$

В случае равномерного распределения влаги по поверхности сферической частицы можно найти толщину пленки жидкости. В таком случае, объем жидкости на поверхности частицы может быть найден по зависимости

$$V_{ж} = 4\pi \cdot r^2 \cdot \delta. \quad (5)$$

Тогда приравняв значения объемов, найдем толщину пленки

$$\delta = \frac{\sigma \cdot r}{\rho \cdot g}. \quad (6)$$

По формуле 6 можно найти максимальное значение толщины пленки, которая может находиться на поверхности частицы.

Используя полученные зависимости можно теоретически определить максимально возможную влажность частиц материала сферической формы, у которых влага присутствует только на поверхности этих частиц. Влажность материала определяется по зависимости

$$w = \frac{m_{ж}}{m_T + m_{ж}} \cdot 100\% \quad (7)$$

где  $m_T$  – масса частицы в нашем случае.

В свою очередь относительную влажность материала можно определить по формуле

$$w' = \frac{m_{ж}}{m_T} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Масса частицы может быть рассчитана

$$m_T = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_T. \quad (9)$$

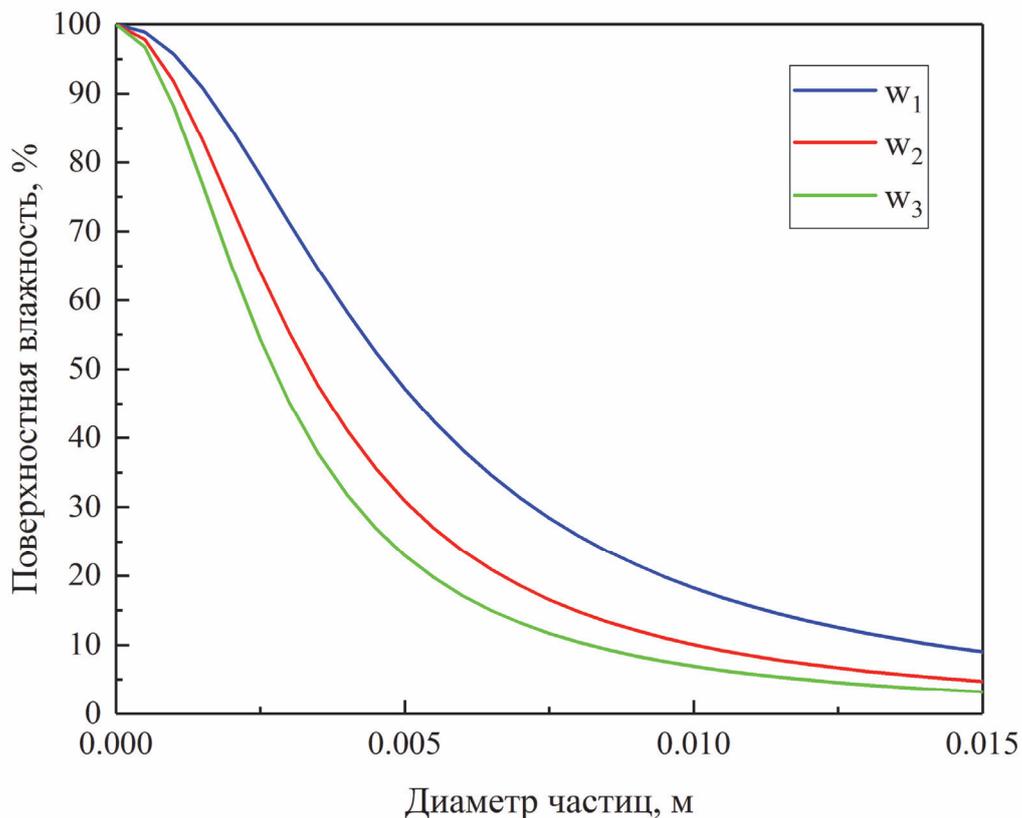
Выполнив подстановки, получим выражение для расчета максимально возможной поверхностной влажности частиц сферической формы

$$w = \frac{\sigma}{\frac{1}{3} \cdot g \cdot r^2 \rho_T + \sigma} \cdot 100\% . \quad (10)$$

Величина максимальной относительной влажности материала находится по зависимости

$$w' = \frac{3\sigma}{\rho_T g r^2} \cdot 100\% . \quad (11)$$

Выполним анализ полученной формулы для расчета максимально возможной поверхностной влажности частиц сферической формы. На величину максимальной поверхностной влажности влияют следующие факторы: плотность, радиус сферических частиц и поверхностное натяжение жидкости, смачивающей эти частицы. Нами были выполнены расчеты по формуле 10. Влияние плотности и радиуса сферических частиц для случая, когда частицы смочены водой, представлено в графическом виде на рисунке 2.



w<sub>1</sub> – плотность частиц 1000 кг/м<sup>3</sup>; w<sub>2</sub> – плотность частиц 2000 кг/м<sup>3</sup>;  
w<sub>3</sub> – плотность частиц 3000 кг/м<sup>3</sup>

**Рисунок 2 – Максимально возможная поверхностная влажность частиц сферической формы смоченных водой в зависимости от их диаметра**

Полученные нами результаты хорошо коррелируются с практическими наблюдениями влажности полимерных материалов. Зная количество влаги, находящейся на поверхности частицы, можно рассчитать максимальное значение скорости газового потока, под воздействием которого может быть сорвана пленка жидкости с поверхности твердых частиц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Адамсон, А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. – М. «Мир», 1979 г. – 570 с.

УДК 532.542

**Петров О.А., Козловский В.И.,  
Боровский Д.Н.**

(Белорусский государственный технологический университет)

#### **РАЗРАБОТКА СТАТИЧЕСКОГО СУПЕРКАВИТАТОРА С МИНИМАЛЬНОЙ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИЕЙ**

Важнейшей задачей, которая поставлена современным производством перед наукой, является выявление и устранение причин недостаточной эффективности работы оборудования, а также поиск инновационных решений при реализации как основных, так и вспомогательных технологических процессов, количество и качество которых неизменно возрастает.

Одними из распространенных технологических процессов в ряде производств является обработка материалов, находящихся в жидких средах или самих жидких сред (диспергирование и гомогенизация, получение суспензий и эмульсий, водоподготовка и водоочистка, химические превращения и др.) Все эти процессы можно интенсифицировать или непосредственно осуществить с использованием явления кавитации и оборудования, работающего на основе этого эффекта [1].

В этом плане наиболее перспективным видится применение статических суперкавитирующих аппаратов (ССКА) [2, 3], что подтвердили многочисленные экспериментальные исследования, проведенные нами ранее. Принцип действия таких устройств заключается в том, что при обтекании потоком соответствующего препятствия (конуса, сферы, лопасти и т.п.) за ним образуется суперкаверна, замыкание которой происходит непосредственно в потоке достаточно далеко от рабочих поверхностей аппарата.

При схлопывании пузырьков интенсифицируются процессы диспергирования, теплообмена, химические превращения и прочее, оказывая кумулятивное воздействие непосредственно на обрабатываемый материал. При этом, при правильном проектировании аппарата, рабочие поверхности ССКА не подвергаются кавитационному эрозионно-коррозионному разрушению.

Факторами, определяющими технологический эффект обработки материалов в ССКА, являются размеры и количество образующихся кавитационных микропузырьков. Для получения кавитационных пузырьков с оптимальными по технологическому воздействию размерами необходимо создать суперкаверну с определенным характером движения в ее хвостовой части. Необходимое количество микропузырьков заданных размеров генерируется самой суперкаверной и в меньшей степени зависит от первоначального количества ядер кавитации в жидкости.



**Рисунок 1 – Последствия кавитационного разрушения при неправильном проектировании суперкавитирующего аппарата**

В этом и заключаются принципиальные отличия суперкавитирующих устройств от остальных, использующих явление кавитации для интенсификации технологических процессов химических и других смежных производств. Однако для реализации этих преимуществ необходима разработка методики решения задачи проектирования подобных аппаратов, которая основывается на расчете основных параметров гидродинамического процесса. Такая методика и была нами разработана.

На основании составленного уравнения изменения кинетической энергии для элементарного объема жидкости, воспользовавшись

уравнением Бернулли для потока жидкости и уравнением неразрывности, нами получена система дифференциальных уравнений, решение которой позволило определить длину и диаметр суперкаверны за обтекателем. Решив уравнение движения границы сферической каверны, определили время существования кавитационных пузырей, генерируемых этой суперкаверной (рисунок 3, пример для частного случая). На основании этого определяется необходимая длина и диаметр прямолинейного участка трубопровода за обтекателем, гарантирующие отсутствие кавитационного разрушения внутренних поверхностей, а, следовательно, вся энергия кавитации идет на обработку требуемого материала.

Так, для конического обтекателя с диаметром основания  $d_{обт}$ , и углом  $\alpha$  при вершине, минимальный диаметр трубопровода за обтекателем

$$D = D_c + 2 \cdot t_k \cdot v \cdot \cos(90 - \alpha / 2), \quad (1)$$

где  $t_k$  – время коллапса кавитационного пузыря, соответствующее времени от начала его роста до полного схлопывания, с;  $v$  – скорость движения пузыря, соответствующая скорости движения основного потока, м/с;  $D_c$  – максимальный диаметр суперкаверны (здесь можем принять  $D_c = d_{обт}$ ).

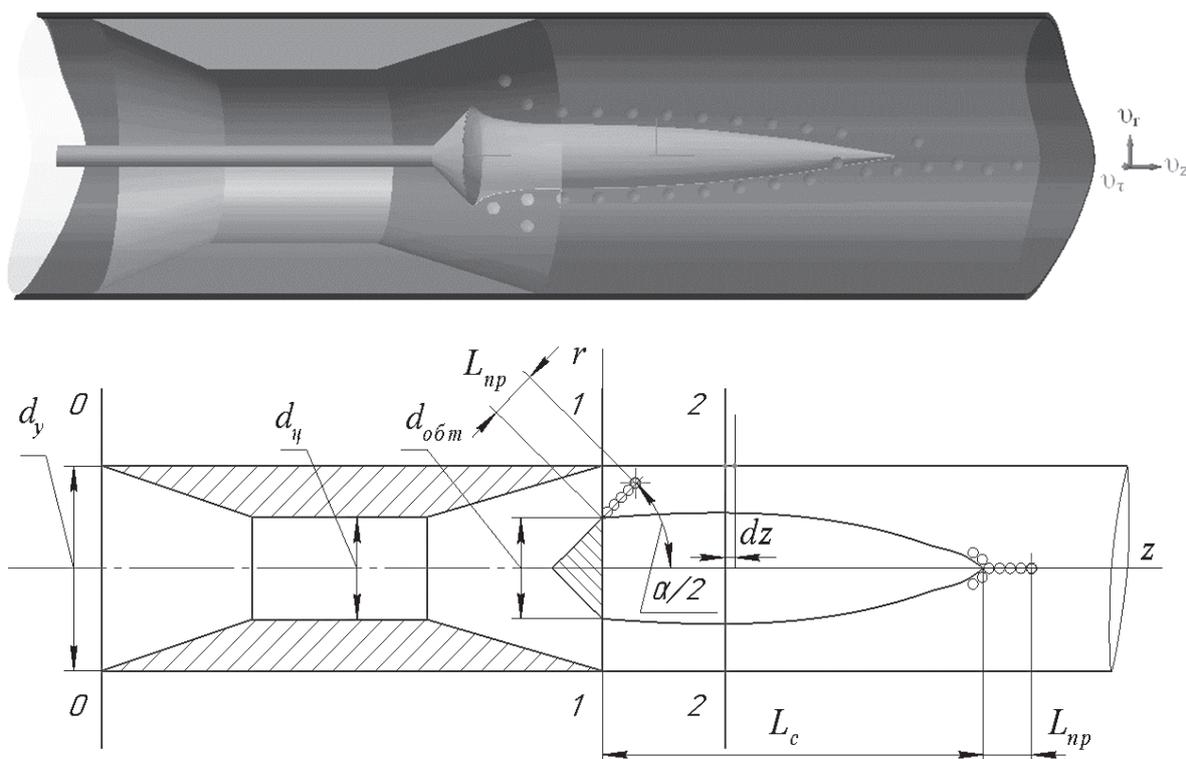


Рисунок 2 – 3D-модель и расчетная схема статического суперкавитатора

Минимальная длина трубопровода за обтекателем

$$L = L_c + t_k \cdot v, \quad (2)$$

Где  $L_c$  – длина суперкаверны, м;  $t_k \cdot v = L_{np}$  – длина пробега кавитационного пузыря.

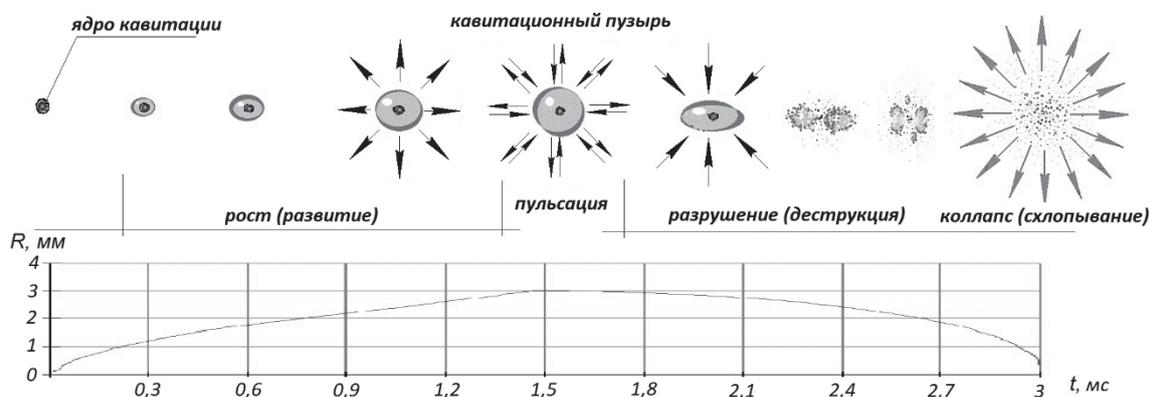


Рисунок 3 – Время существования кавитационного пузыря

Таким образом, предложенная методика позволяет с достаточной точностью спроектировать оптимальную конструкцию статического суперкавитатора во избежание кавитационного эрозионно-коррозионного разрушения рабочих поверхностей, а относительная простота и минимальные капитальные затраты на внедрение подобного оборудования в различных технологиях подтверждены неоднократно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Петров, О. А. Кавитационные технологии в промышленности. Направления использования / О.А. Петров, В.С. Францкевич, В.И. Козловский // Нефтехимический комплекс. Научно-технический бюллетень. Приложение к журналу «Вестник Белнефтехима». – 2018. – № 1(17). – С. 5-8.
2. Петров, О. А. Статические суперкавитаторы для гидродинамической обработки материалов. / О. А. Петров, П. Е. Вайтехович // Химическая промышленность. – 2004. – Т. 81, № 2. – С. 68–72.
3. Петров, О. А. Математическая модель расчета параметров каверны / О. А. Петров, П. Е. Вайтехович // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2004. – № 2. – С. 35–37.
4. Петров, О. А. Определение размера и длины пробега кавитационных пузырьков / О. А. Петров, П. Е. Вайтехович // Труды БГТУ. Сер. III. Химия и технология неорганических веществ. Вып. XI. – Минск: БГТУ. – 2003. – С. 195–198.

**МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МАССОПЕРЕНОСА  
ЖИДКИХ СРЕД НА ЯМР**

Одним из способов измерения малых расходов нефтепродуктов является метод, основанный на явлении ядерного магнитного резонанса ЯМР.

Использование расходомеров ЯМР для исследования массопереноса жидких сред часто ограничивается низкой точностью измерения малых расходов, что обусловлено наличием ряда эффектов (затухание метки ЯМР на измерительном участке, паразитное подмагничивание жидкости в анализаторе и т.д.). Для измерения малых расходов жидкостей можно использовать эффект Джекобсона – Вангснесса. Суть этого эффекта заключается в следующем. При регистрации спектра ЯМР в изменяющемся со временем магнитном поле скорость изменения расстройки частоты прецессии ядер образца от резонансной отлична от нуля, что приводит к сдвигу резонансной частоты, называемому сдвигом Джекобсона – Вангснесса. При этом возникают также искажения форм кривых поглощения и дисперсии.

При движении жидкости со скоростью  $W$  в поле с продольным градиентом (градиентом по направлению течения жидкости)  $grad B$  поле, воздействующее на элемент объема жидкости, изменяется по закону:

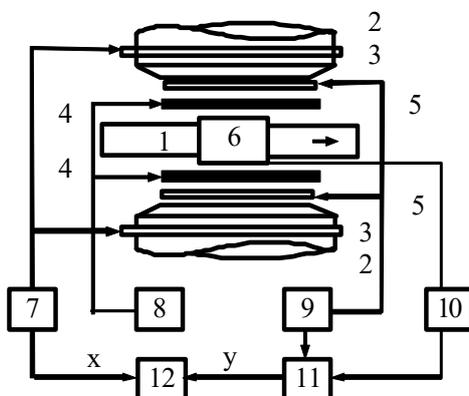
$$dB/dt = W \cdot grad B, \quad (1)$$

Это эквивалентно условиям, необходимым для существования сдвига Джекобсона – Вангснесса [3]. При постоянном продольном градиенте сдвиг частоты и искажения форм спектра ЯМР для каждого типа жидкостей однозначно связаны со скоростью движения жидкости. Для измерения расхода целесообразно использовать искажения форм спектра ЯМР, т.к. эти искажения проявляются сильнее, чем сдвиг частоты.

Для измерения расхода с использованием эффекта Джекобсона – Вангснесса трубопровод с жидкостью помещается в магнитное поле с продольным градиентом, после чего производится запись спектра ЯМР от движущейся жидкости модуляционным методом с последующим синхронным детектированием (рисунок 1).

Выбором частоты и амплитуды модуляции, а также условий записи спектра (скорости развертки поля при прохождении линии ЯМР магнитным полем или скорости изменения частоты резонансного поля) можно добиться того, чтобы для каждого выделенного объема жидкости скорость изменения расстройки частоты прецессии ядерных

моментов от частоты резонансного электромагнитного поля определялась формулой (1), т.е. скоростью жидкости и продольным градиентом магнитного поля.



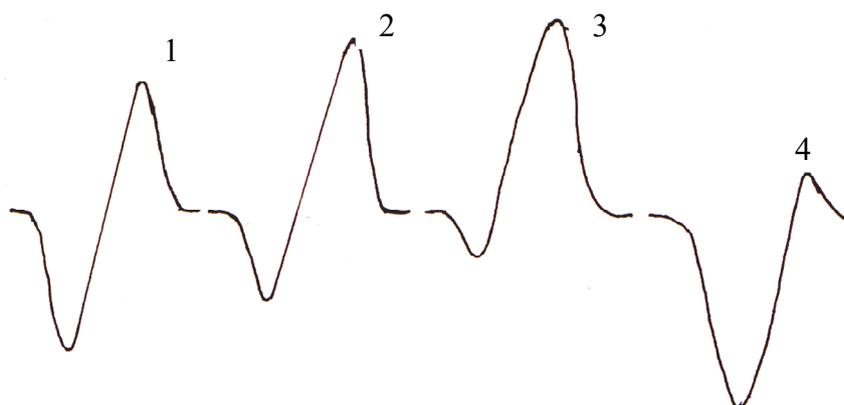
**Рисунок 1 – Схема установки для исследования массопереноса жидких сред на эффекте Джекобсона – Вангснесса:**

1 – трубопровод; 2 – магниты; 3 – катушки развертки; 4 – катушки продольного градиента магнитного поля; 5 – катушки модуляции; 6 – катушка регистрации; 7 – блок развертки; 8 – блок задания градиента; 9 – генератор модуляции; 10 – спиновый детектор; 11 – синхронный детектор; 12 – регистратор.

Для оптимизации параметров расходомера, работающего по описанному принципу, производилось исследование зависимости формы спектра ЯМР от скорости течения жидкости для двух типов жидкостей – водопроводной воды, имеющей времена релаксации  $T \approx 2$  с, и децимолярного раствора  $NiSO_4$  в воде ( $T < 0,01$  с). Тракт движения жидкости представлял собой стеклянную трубку с внутренним диаметром 6 мм, на которую намотана катушка регистрации; при этом для децимолярного раствора  $NiSO_4$  в воде поляризация резонирующих ядер осуществляется в части трубки, непосредственно прилегающей к катушке регистрации и в самой катушке регистрации. Для водопроводной воды применялась предварительная поляризация резонирующих ядер. Запись спектров сигнала ЯМР производилась при следующих условиях:

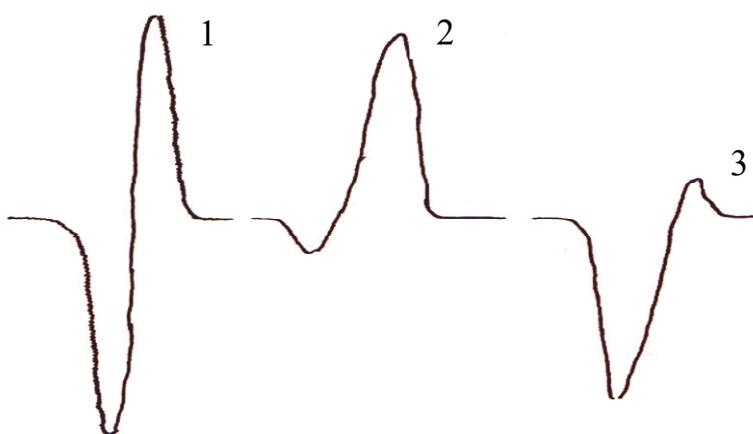
- частота модуляции – 250 Гц;
- амплитуда модуляции –  $5 \times 10^{-6}$  Тл;
- скорость развертки магнитного поля –  $2,5 \times 10^{-6}$  Тл/с;
- градиент магнитного поля в направлении движения жидкости –  $2,5 \times 10^{-3}$  Тл/м;
- индукция поляризуемого поля и поля анализатора – 0,3 Тл;
- постоянная времени синхронного детектора – 0,3 с;
- длина катушки регистрации – 10 мм.

Амплитуда высокочастотного поля выбиралась уменьшением радиочастотной мощности до тех пор, пока форма сигнала останется неизменной, а величина сигнала изменяется пропорционально амплитуде высокочастотного поля, при этом эффектами насыщения можно пренебречь. Асимметрия формы первой производной линии поглощения для каждого типа жидкостей однозначно связана с величиной скорости жидкости и взаимной ориентацией векторов скорости и продольного градиента магнитного поля (рисунок 2, рисунок 3), что дает возможность измерять малые скорости (расходы) жидкости (рисунок 4).



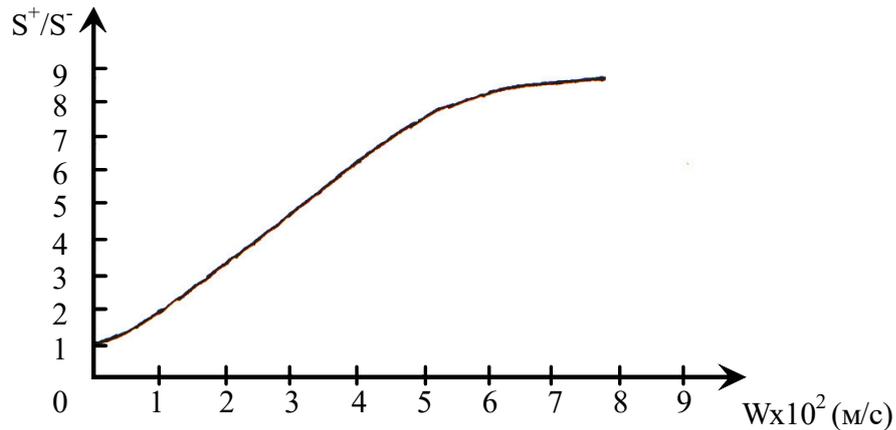
**Рисунок 2 – Первые производные линии поглощения для децимолярного раствора  $NiSO_4$  в воде:**

1 – жидкость неподвижна; 2 – скорость жидкости  $1,2 \times 10^{-2}$  м/с;  
3 – скорость жидкости  $5 \times 10^{-2}$  м/с; 4 – скорость жидкости  $5 \times 10^{-2}$  м/с  
(направление движения жидкости изменено на противоположное).



**Рисунок 3 – Первые производные линии поглощения для водопроводной воды:**

1 – жидкость неподвижна; 2 – скорость жидкости  $3 \times 10^{-2}$  м/с;  
3 – скорость жидкости  $3 \times 10^{-2}$  м/с  
(направление движения жидкости изменено на противоположное).



**Рисунок 4 – Зависимость отношения площадей положительной и отрицательной частей первой производной линии поглощения от расхода (скорости) жидкости для децимолярного раствора  $NiSO_4$  в воде.**

Полученные результаты показывают перспективность предложенного метода для исследования массопереноса жидких сред; и по ряду показателей, таких как точность измерения малых скоростей (расходов), обеспечение измерения реверсивных потоков и простота реализации, превосходит известные методы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. –Л.: Машиностроение, 1975, 776 с.
2. Жерновой А.И. Латышев Г.Д. Ядерный магнитный резонанс в проточной жидкости. – М.: Атомиздат, 1964, 252 с.
3. Jacobsohn A., Wangness R. Shapes of nuclear induction signals. – Phys. Rev., 1948, v.73, p.942–946.

УДК 539.14.43

**Анкуда М.А., Оробей И.О.,  
Сарока В.В., Олиферович Н.М.**

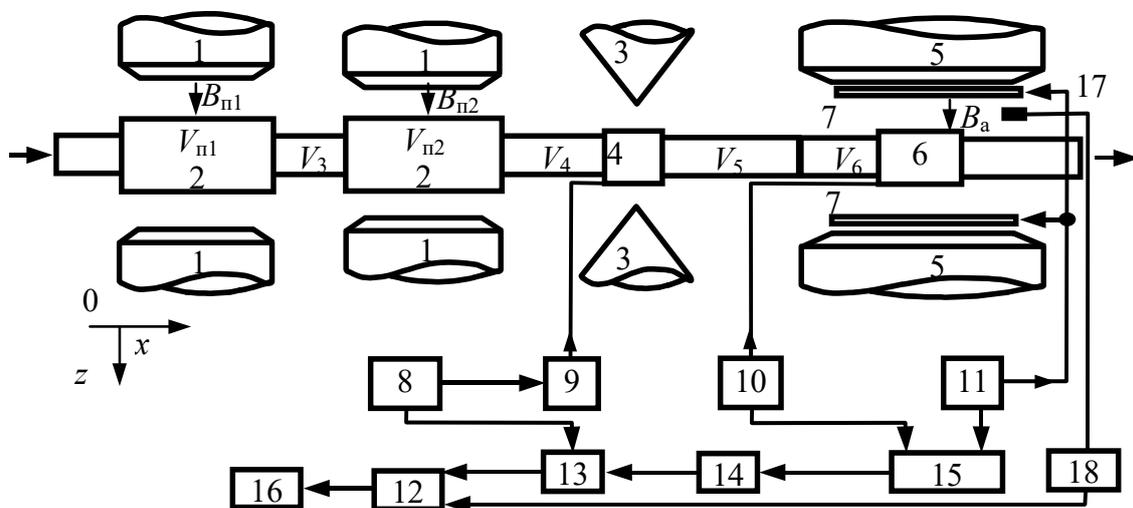
(Белорусский государственный технологический университет)

### **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЕТОЧНЫХ ЯМР-РАСХОДОМЕРОВ**

Повышение точности измерения расходомеров на эффекте ядерного магнитного резонанса (ЯМР) требует анализа процессов, протекающих в первичном преобразователе, математическое описание

которых позволяет определить амплитуду сигнала, диапазон измеряемых расходов, оценить релаксационные погрешности, а также погрешности, возникающие при смене режима течения.

В меточном ЯМР-расходомере временного типа (рисунок 1) жидкость намагничивается в поляризаторах и по транспортному участку поступает в катушку 4. Отметка инверсией осуществляется импульсами радиочастотного поля [1]. Регистрация намагниченности для определения времени распространения метки по измерительному участку ( $V_5 + V_6$ ) проводится в катушке 6. Интенсивность сигнала пропорциональна намагниченности, на зависимость которой от расхода влияют поляризация, размагничивание на  $V_4$  и  $V_5$  и домагничивание в анализаторе.



**Рисунок 1 – Структурная схема ЯМР-расходомера временного типа:**

- 1, 2 – магниты и катушки поляризаторов; 3 – магниты отметки; 4 – катушка отметки;
- 5 – магниты анализатора; 6 – катушка регистрации (анализатора);
- 7 – катушки модуляции; 8 – генератор синхронизации; 9 – генератор нутации;
- 10 – спиновый детектор; 11 – генератор модуляции; 12 – АЦП; 13 – фазовый детектор;
- 14 – блок фильтрации импульсов отметки; 15 – синхронный детектор;
- 16 – контроллер; 17, 18 – преобразователь и электронный блок ДХ; ось  $ox$  направлена по движению жидкости; ось  $oz$  направлена по направлению полей  $B_{n1}$ ,  $B_{n2}$ ,  $B_a$ .

Расчет намагниченностей позволяет оценить диапазон по амплитуде метки, но не дает погрешностей и параметров передаточной функции. Увеличение амплитуды метки осуществляется снижением времени релаксации  $T_1$  при введении не растворяющихся в жидкости ионов [2]. Информативным параметром является время перемещения метки по измерительному участку  $t_{пер}$ , которое определяется спектральным анализом ее движения. Зависимость от времени переменной части намагниченности в катушке 6:

$$M_k(t) = \frac{16M_{C-C}}{\omega_n} e^{\frac{-V_4 R}{QT_1}} \int_0^R e^{\frac{-(V_5+V_6)}{S_n W(r) T_1}} W(r) \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^2} \sin\left(\frac{n\omega_n V_{кр}}{2S_n W(r)}\right) \sin\left(n\omega_n \left(t - \frac{V_5 + V_6}{S_n W(r)}\right)\right) r dr, (1)$$

где  $T_1$  – время продольной релаксации;  $Q$  – расход жидкости;  $R$  – радиус трубопровода на измерительном участке;  $W(r)$  – распределение скоростей;  $S_n$  – площадь сечения на  $V_5 + V_6$ ;  $V_{кр}$  – объем катушки регистрации;  $M_{C-C}$  – намагниченность на входе сечения отметки [2].

Зависимости  $M_k(t)$  при разных расходах  $Q$  ( $W(r)$ ) дают форму метки. Момент пересечения  $M_k(t)$  с осью времени  $t_{пер}$  является информативным параметром.  $t_{пер}$  при ламинарном и турбулентном потоках не совпадают, что обуславливает погрешности смены режима течения. Изменение  $T_1$  изменяет  $t_{пер}$ , вызывая релаксационные погрешности. При течении по  $V_5 + V_6$  из-за  $W(r)$  каждый элемент перемагничивается с временем релаксации  $T_1$ . Сильнее перемагничиваются элементы, движущиеся с меньшей скоростью. Возрастает относительный вклад в  $M_k$  от быстрых объемов, что повышает скорость метки. Релаксационные эффекты проявляются при ламинарном течении и временах прохождения  $V_5 + V_6$ , сравнимых с  $T_1$ . Наложение соседних меток в  $V_{кр}$  повышает вклад в  $M_k$  от медленных элементов, уменьшая скорость метки относительно средней скорости. Наложение меток проявляется при ламинарном течении и временах прохождения  $V_5 + V_6$ , меньших  $T_1$ .

Снижение относительных погрешностей смены режима течения и релаксационных погрешностей достигается смещением диапазона с изменением режима течения в область малых  $Q$  при искусственной турбулизации потока или плоским распределением скоростей на выходе поляризатора и малой длиной транспортного и измерительного участков.  $W(r)$  по сечению на измерительном участке приближается к равномерному, уменьшая погрешности. Снижение погрешностей и повышение стабильности статической характеристики требует специального тракта с совмещенными поляризатором и анализатором, у которого поляризация, отметка и анализ проводятся в поле одной магнитной системы, что сокращает длину, формирующую  $W(r)$ , и снижает погрешности. Поле создается магнитной системой броневого типа. Выбор тракта совмещается с расчетами определения диапазона и  $t_{пер}$ .

Рассмотренные погрешности сводятся к изменению длины измерительной базы, для компенсации которого нужно учитывать факторы, влияющие на вязкость или  $T_1$ . Снижение нестабильности статической характеристики и погрешностей, обусловленных изменением температуры, обеспечивает коррекция характеристики преобразования по индукции поля анализатора, которая одновременно компенсирует изменение базы из-за изменения индукции постоянного поля в катушке

нутаии и нестабильности генератора нутаии. Измерять температуру можно по полю анализатора, магниты которого находятся в тепловом контакте с жидкостью (индукция поля зависит от ее температуры) при помощи измерителя индукции на эффекте Холла [3].

Снижение случайных погрешностей измерения расхода, обусловленных шумами в тракте регистрации, достигается применением адаптивной частоты отметки, и полосы пропускания канала регистрации к скорости жидкости. Концепция адаптивного расходомера состоит в повышении частоты отметки пропорционально  $Q$  и в соответствующем изменении полосы пропускания, что повышает точность [4].

Анализ по (1) перечисленных факторов позволяет получить:

1. Диапазон измеряемых расходов меточных ЯМР-расходомеров определяется зависимостями относительной намагниченности в центре анализатора для отмеченных и неотмеченных элементов объема, сложный характер которых объясняется влиянием особенностей эффекта ЯМР в проточных образцах. Увеличение амплитуды метки и увеличение диапазона измеряемых расходов осуществляется повышением магнитного поля поляризаторов или снижением  $T_1$  при введении в объем поляризаторов не растворяющихся в жидкости парамагнитных ионов.

2. Эффективным методом расчета информативного параметра временного расходомера является спектральный анализ движения метки по измерительному участку для разных распределений скоростей. Ускоренная оценка параметра проводится по нормированной намагниченности, характеризующей метку.

3. Анализ зависимостей информативного параметра от расхода для разных режимов течения и времен релаксации дает релаксационные погрешности и погрешности смены режима течения. Максимальный вклад в основную приведенную погрешность вносят погрешности смены режима течения.

4. Снижение погрешностей, связанных с изменением режима течения потока, достигается в расходомерах с плоским распределением скоростей на выходе поляризатора и с малой длиной транспортного и измерительного участков. Основные методы минимизации данных погрешностей: искусственная турбулизация потока; совмещение переходного режима с точкой пересечения информативных параметров ламинарного и турбулентного потоков; уменьшение измерительного участка по сравнению с начальным, формирующим распределение скоростей не обеспечивающим возможности изменения режимов течения потока.

5. Расходомер с коррекцией показаний по индукции поля анализатора обеспечивает эффективную компенсацию погрешностей, обусловленных изменением температуры жидкости.

6. Повышение производительности измерений и снижение случайных погрешностей обеспечивает временной расходомер с адаптацией к расходу параметров отметки и канала регистрации.

Использование представленных рекомендаций позволит повысить точность меточных ЯМР – расходомеров временного типа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сарока, В. В. ЯМР - измеритель расхода / В. В. Сарока, И. О. Оробей, А. Л. Пархимович // Компьютеризация в химической и смежных отраслях промышленности: материалы Междунар. науч.-технич. семинара, Новополоцк, 15 декабря 2005 г. / Полоцкий гос. ун-т; – Новополоцк, 2006. –108с. –С. 68-71.

2. Методика определения информативного параметра меточного ЯМР – расходомера по спектральному разложению намагниченности при движении метки по измерительному участку / В. В. Сарока, О. И. Оробей, Д. А. Гринюк, М. А. Анкуда, И. О. Оробей // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. – 2009. – Вып. XVII. – С. 77–81.

3. Магнитометр на датчике Холла / И. О. Оробей, И. Ф. Кузьмицкий, Д. А. Гринюк, С. Е. Жарский, В. В. Сарока, М. В. Максимова // Приборы и техника эксперимента. – 2003. – № 2. – С. 141–144.

4. Меточный ЯМР – расходомер временного типа с совмещением адаптации системы регистрации к измеряемому расходу и коррекцией измерительной базы по индукции поля анализатора / В. В. Сарока, О. И. Оробей, Д. А. Гринюк, М. А. Анкуда, И. О. Оробей // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. – 2009. – Вып. XVII. – С. 73–76.

УДК 620.22

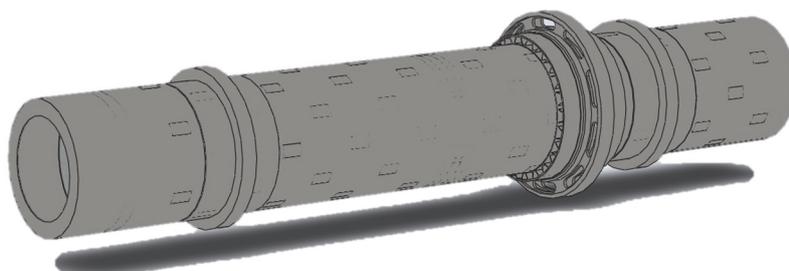
**Францкевич В.С., Боровский Д.Н.,  
Козловский В.И.**

(Белорусский государственный технологический университет)

#### **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В БАРАБАННОЙ СУШИЛКЕ**

Разрушение металлических изделий, оборудования и конструкций наносит значительный экономический, социальный и экологический ущерб народному хозяйству любой промышленно развитой страны. В связи с этим повышаются требования к эксплуатационно-технической надежности и стойкости под воздействием высоких температур, агрессивных сред и других факторов конструкционных материалов и металлоконструкций, а также к совершенствованию методов их защиты.

Объектом исследования являлась барабанная сушилка СБ 3,2х22 (рисунок 1), предназначенная для высокотемпературной сушки (более 750 °С) минерального сырья. Одним из этапов комплексных исследований был тепловой прочностной расчет, основанный на компьютерном моделировании, для определения возникающих температурных напряжений и расширений под действием высокой температуры и распределенной нагрузки от высушиваемого продукта.



**Рисунок 1 – 3D модель корпуса барабанной сушилки**

Вследствие различных конструкционных материалов (внешнего стального барабана и внутренних футеровочных жаропрочных металлических обечаяк) и разных температурных зон по длине барабана, сушилка условно была разделена на три исследуемых объекта – внешний барабан и две внутренних обечайки (высокотемпературная и холодная стороны). Также такое условное разделение исследуемого объекта позволило повысить точность расчета из-за наложения на него более мелкой сетки конечных элементов.

Компьютерное моделирование проводилось в Компас-3D V19.1 в приложении АРМ FEM. Расчетным ядром системы АРМ FEM для КОМПАС-3D является программное средство «Конечно-элементная программная система АРМ Structure3D», имеющее Аттестационный паспорт №330 от 18.04.2013 г., выданный Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), ФБУ "НТЦ ЯРБ".

Результаты расчета внутренней обечайки горячего конца сушилки показали, что эквивалентное напряжение по Мизесу составило 2408 МПа, при этом максимальные напряжения возникают в месте жесткого закрепления обечайки при помощи сварного шва в центре сушилки (температура теплоносителя на входе 800 °С, усредненная температура по длине исследуемого участка – 500 °С и распределенная нагрузка по длине обечайки 22,7 Н/мм). Это может приводить к повреждению сварного шва на небольших участках, так как оно в несколько раз превышает допустимое напряжение для исследуемой стали. Также присутствуют

высокие напряжения (697÷837 МПа) на небольших участках спиральных перемешивающих лопастей. В остальном объеме обечайки напряжения находятся в допустимых значениях.

На рисунке 2 отчетливо видны места максимальной волнообразной деформации обечайки, которые максимальны на месте подачи горячего теплоносителя. Деформация обечайки происходит как в радиальном направлении, так и по длине. Причем следует заметить, что волнообразная деформация происходит и в месте закрепления обечайки на величину  $7\div 23$  мм, вызывая точечные напряжения до 2900 МПа. На входном конце, где закрепления отсутствуют, деформации достигают величины 57,7 мм. Так как жесткость по диаметру различная из-за установки спиралеобразных лопастей, а также подкладных листов, происходит деформация волнами, которые при циклическом изменении температур могут приводить к усталостным трещинам и разрушению материала. Это подтверждаются низкими значениями коэффициентов запаса текучести и прочности.

Расчет внутренней обечайки холодного конца сушилки показал, что эквивалентное напряжение по Мизесу составило 1251,5 МПа, а максимальные напряжения возникают в месте жесткого закрепления обечайки в сварных швах в центре сушилки (температура теплоносителя на выходе 190 °С, усредненная температура по длине исследуемого участка – 250 °С).

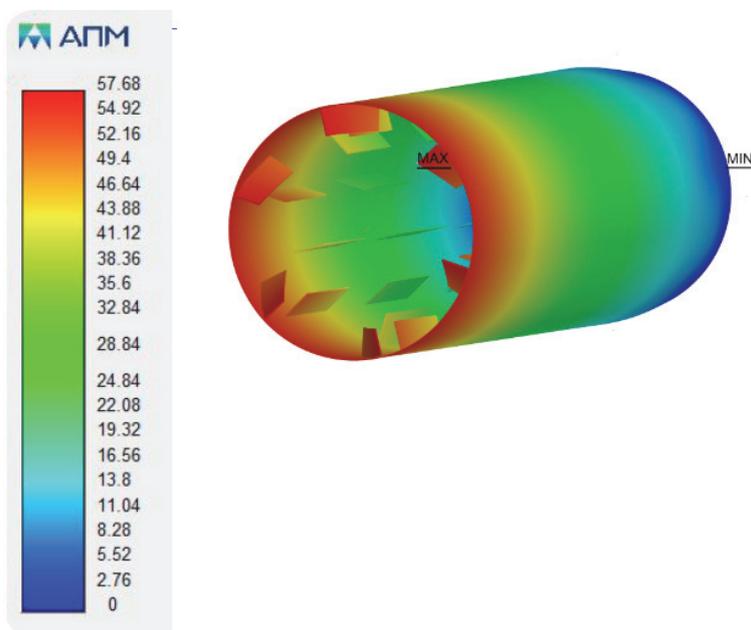


Рисунок 2 – Суммарное линейное перемещение (горячая сторона)

Величина линейных перемещений (деформаций) значительно меньше, нежели для обечайки горячего конца, но они имеют место (рисунок 3).

Деформация в отличие от обечайки с горячей стороны носит только линейный характер. Коэффициенты запаса текучести и прочности имеют допустимые значения.

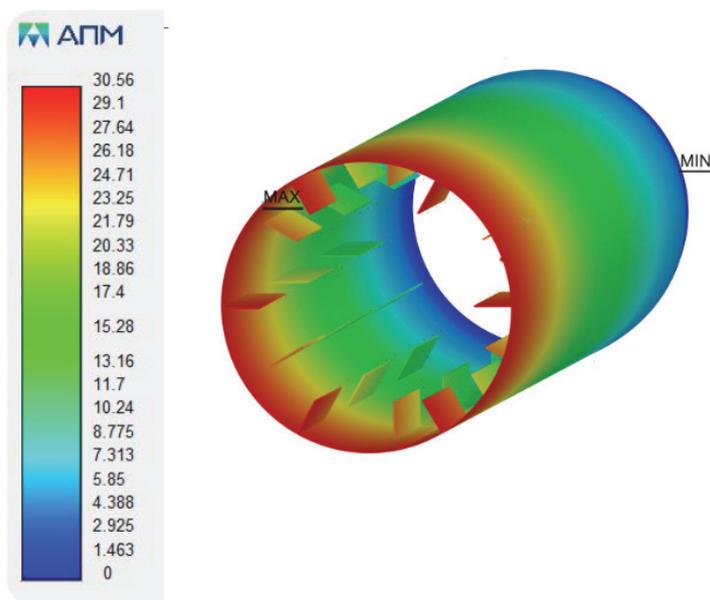


Рисунок 3 – Суммарное линейное перемещение (холодная сторона)

Результаты статического расчета корпуса сушилки под действием температуры показали, что суммарное линейное перемещение составляет менее 40 мм (рисунок 4), что не превышает допустимых конструкцией значений (принималась максимально возможная температура корпуса 400 °С).

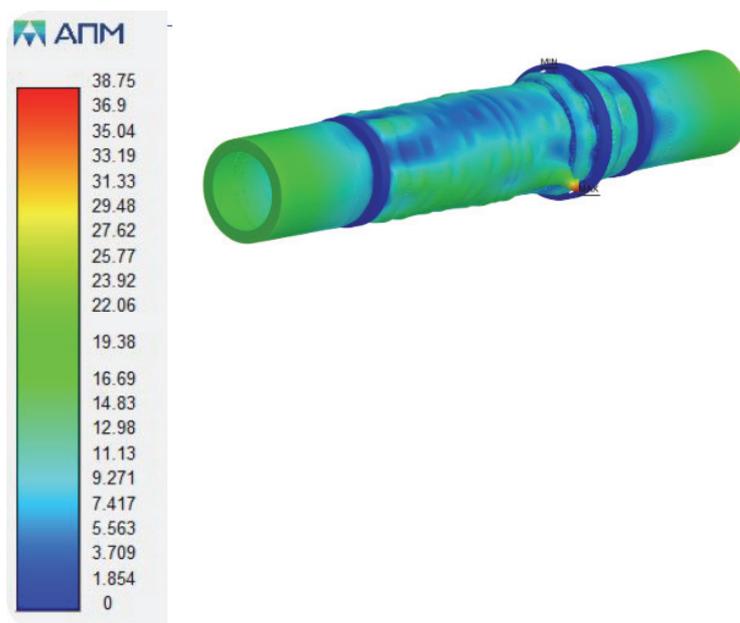


Рисунок 4 – Суммарное линейное перемещение корпуса сушилки

Полученные результаты расчетов при помощи компьютерного моделирования показали влияние температуры на геометрию внутренней и внешней обечаек. Деформации в основном наблюдались на концах внутренних обечаек. Причем, следует отметить, они носили волнообразный характер, который вызван несколькими причинами: жесткое соединение внутренних элементов (спиралевидные лопасти); подкладные листы на внешнем барабане выполнены в шахматном порядке, которые также жестко сжимают внутренний барабан и не дают равномерно расширяться и спокойно удлиняться под действием высоких температур.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Полный марочник сталей и сплавов. – URL: <https://vse-stali.ru/> (дата обращения 10.05.2022).

2. Сорокин В.Г., Волосникова А.В., Вяткин С.А., и др. Марочник сталей и сплавов. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.

УДК 004.032

**Гринюк Д.А., Олиферович Н.М.,  
Оробей И.О., Михновец А.С.**

(Белорусский государственный технологический университет)

#### **ВЛИЯНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА НА ДИНАМИКУ КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ**

Устоявшиеся подходы к построению систем управления предполагают определение динамических каналов на основании теоретического анализа или (и) путем анализа экспериментальных данных. Наибольшей достоверностью обладают методы с применением активной идентификации, при которой до начала эксплуатации или в процессе функционирования производят активное воздействие на канал регулирования в разомкнутом или замкнутом состоянии [1–4]. При структурном анализе очень важным является вопрос всесторонней проверки системы управления путем математического моделирования. Классическим подходом к этому является использование для моделирования декомпозиции системы на составляющие контура стабилизации: объект, датчик, исполнительное устройство, регулирующий орган и т.д., где каждая из компонент рассматривается как независимое динамическое звено. Для оценки объективности данного были проведен активный эксперимент.

Объектом исследования является воздушный теплообменник с двумя средствами измерения: термометр сопротивления общего применения и каналный датчик температуры ФТК+ фирмы Thermokon Sensortechnik (Германия). Датчики расположены в одной точке воздуховода. Управляющим воздействием выступает скорость движения подогретого воздуха, которая изменяется за счет регулирования частоты оборотов нагнетающего вентилятора. Динамические характеристики снимались в области небольших отклонений около некоторого стационарного значения, но достаточных для того, чтобы обеспечить чувствительность измерительных преобразователей.

Для снятия характеристик была настроена связь между контроллером, к которому подключены датчики и исполнительные механизмы, и MatLAB через OPC-server [4]. Поиск коэффициентов передаточных функций проводился путем минимизации среднеквадратичного отклонения (СКО) для заданных шаблонов:

$$\frac{k \exp(-\tau s)}{(T_1 s + 1)}; \quad (1)$$

$$\frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)^n}; \quad (2)$$

$$\frac{k \exp(-\tau s)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}; \quad (3)$$

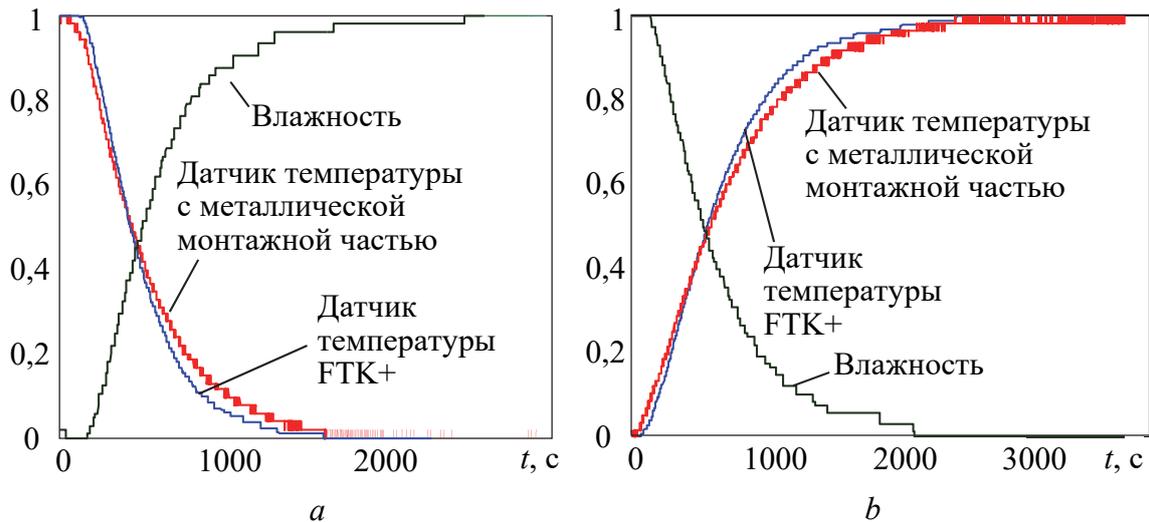
$$\frac{1 - b \exp(-\tau s)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}; \quad (4)$$

$$\frac{k \exp(-\tau s)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)^n}, \quad (5)$$

где  $k$ ,  $\tau$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  – параметры настройки при минимизации СКО.

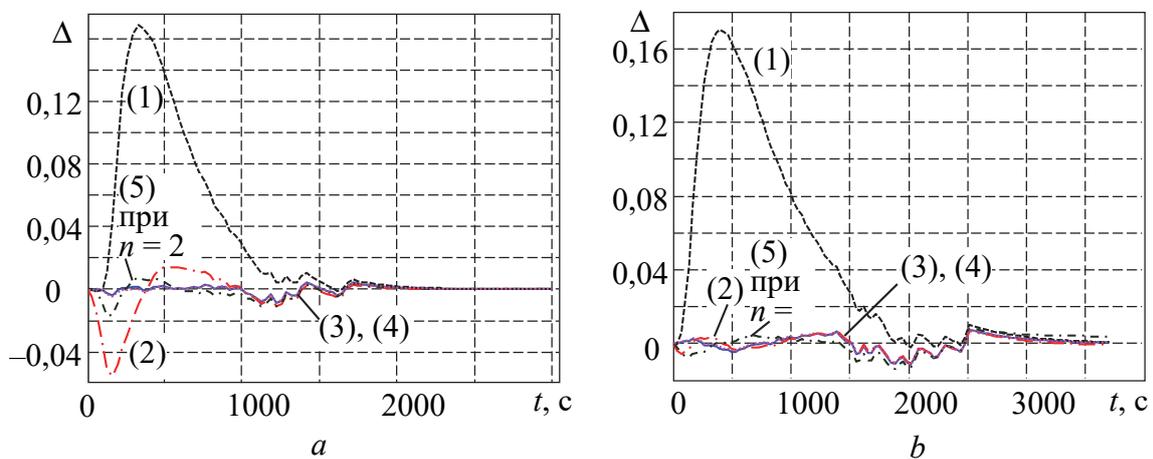
Поскольку объект управления имеет отрицательный коэффициент усиления, то при увеличении частоты разгонная кривая и результаты аппроксимации имели вид как на рисунке 1.

Канал управления имеет отрицательный коэффициент управления по температуре и положительный по влажности, т. е. при увеличении частоты оборотов температура падает вследствие увеличения количества проходящего воздуха через нагреватели с постоянной мощностью, постоянство же влагосодержания при уменьшении температуры приводит к повышению влажности.



**Рисунок 1 – Разгонные характеристики опыта 15 (a) и 16 (b) при увеличении управляющего воздействия**

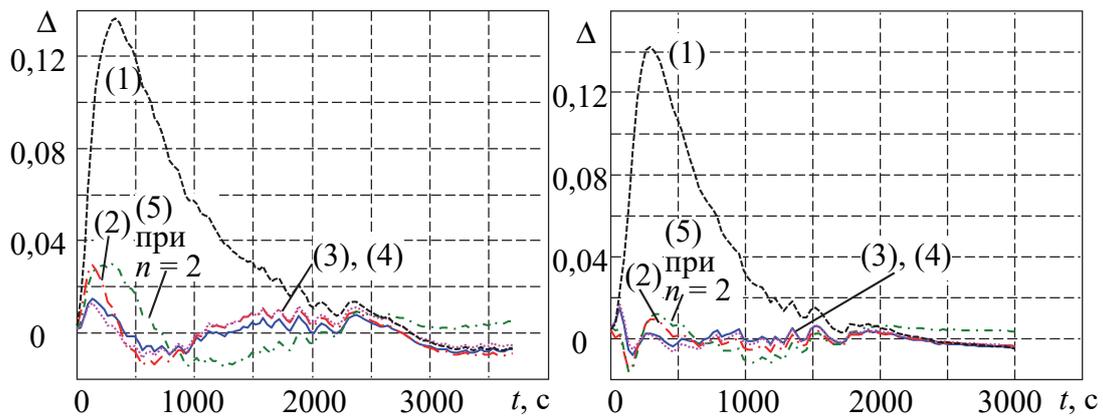
Для анализа качества аппроксимации приведены зависимости ошибки между экспериментальными данными и результатами аппроксимации для опытов 15 и 16 (рисунки 2–4). Опыты характеризуются максимальным воздействием на объект исследования и минимальным случайным воздействием при проведении экспериментов. Графики на рисунках 2–4 построены после проведения сглаживания по методике, представленной в литературе [5].



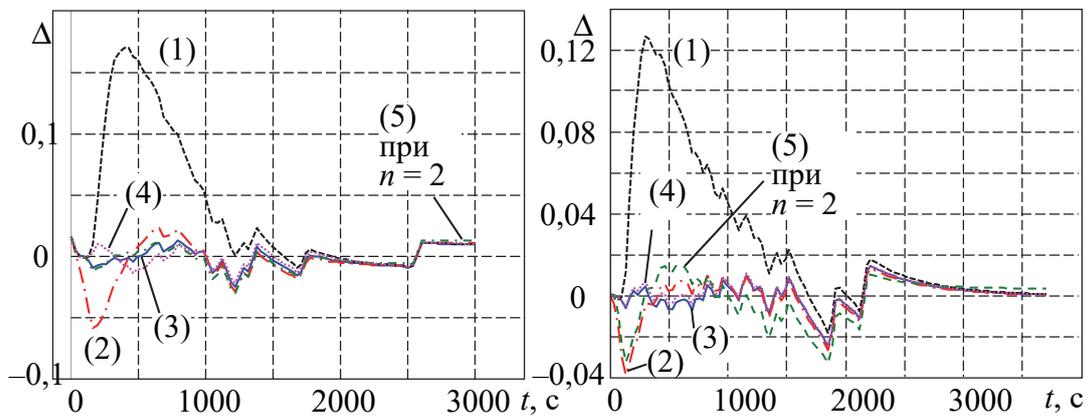
**Рисунок 2 – Погрешность аппроксимации опыта 15 (a) и 16 (b) для датчика 1 при разных шаблонах**

При настройке системы управления объектами с нелинейной динамикой проверять систему при различных возможных вариациях динамических параметров.

Для тепловых объектов характерно не только наличие нелинейностей, несимметричность параметров динамики, но вариации оптимальных шаблонов аппроксимации. При наших экспериментах оптимальным шаблоном оказалось аperiodическое звено второго порядка с запаздыванием (3). Увеличения порядка передаточной функции не по шаблону (5) не способствовало повышению качества идентификации в отличие от других объектов [5]. Худшее качество аппроксимации наблюдалось при значении  $n = 2$  и  $n = 3$ . Самый популярный шаблон аperiodическое звено первого порядка с запаздыванием (1) давал плохое качество.



**Рисунок 3 – Погрешность аппроксимации опыта 15 (a) и 16 (b) для датчика 2 при разных шаблонах**



**Рисунок 4 – Погрешность аппроксимации опыта 15 (a) и 16 (b) для влажности при разных шаблонах**

Несмотря на то, что разгонные характеристики снимались для одного объекта одновременно, отделить динамическую составляющую объекта управления от динамики датчика по результатам эксперимента невозможно. Несмотря на близость разгонных кривых, динамические

характеристики различны. Для датчика температуры с металлической монтажной частью постоянные времени меньше, но запаздывание больше, что обусловлено большому проявлению распределенности для датчика с большой долей металла в конструкции. Проведение экспериментов с одинаковым управляющим воздействием показало вариацию коэффициентов передаточных функций для всех шаблонов более 5% при сохранении отношения динамических параметров.

Увеличение показателя  $n$  для шаблона формулы (5) приводит к перераспределению временных параметров передаточных функций, в первую очередь, уменьшению запаздывания и малой величины постоянной в шаблоне (5).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Mikles J., Fikar M. Process Modelling, Identification, and Control. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 2007. 497 p.

2. Олиферович Н. М., Гринюк Д. А., Оробей И. О. Алгоритмы гармонической идентификации для технологических объектов и их апробация на тепловом объекте // Труды БГТУ. 2017. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика, № 2 (200). С. 76–81.

3. Oliferovich N., Hryniuk D., Orobei I. The use of harmonic identification algorithms to air heat exchanger // Electrical Electronic and Information Sciences (eStream): Open Conference, 2017, p. 1–5.

4. Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Сухорукова И. Г., Оробей И. О. Моделирование и настройка систем с нелинейной динамикой // Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и информ. 2021. № 2, С. 65–71.

5. Marozava M., Hryniuk D. Experimental study of the variation dynamic's for air heat exchanger // Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania. 2017. Vol. 9, no. 3. P. 297–301.

УДК 621.39

**Гринюк Д.А., Олиферович Н.М.,  
Сухорукова И.Г., Карпук П.О.**

(Белорусский государственный технологический университет)

#### **ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ КВАНТОВАНИЯ НА ПРОЦЕСС РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Современные системы управления массово строятся на базе программируемых логических контроллеров в цифровом виде. Алгоритмы аналоговой обработки, к которой относится ПИД, реализуются путем

преобразования аналоговой формы к дискретной [1]. Наибольшее распространение получили две формы цифрового регулятора

$$y_1(z) = kp + T_I T_s \frac{1}{z-1} + T_d \frac{1}{T_s} \frac{z-1}{z} \text{ или } y(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}}; \quad (1)$$

$$y_2(z) = kp + T_I T_s \frac{1}{z-1} + T_d \frac{1}{T_s} \frac{N}{1 + N T_s \frac{1}{z-1}}, \quad (2)$$

где  $kp$ ,  $T_I$ ,  $T_d$  – классические параметры настройки ПИД-регулятора;  $T_s$  – sample time;  $N$  – коэффициент аппроксимации дифференцирования.

Sample time, как и  $kp$ ,  $T_I$ ,  $T_d$ , оказывает влияние на эффективность обработки данных. Современные программируемые логические контроллеры (ПЛК) имеют возможность настройки данного параметра. Особенно это касается средних и больших ПЛК. Проведение такой оптимизации особенно актуально при использовании электрических исполнительных механизмов. В этом случае увеличение sample time позволяет улучшить энергетические показатели работы. При использовании нагревателей, мощность для которых регулируется путем широтно-импульсной модуляции силовых ключей, оптимизация sample time может повлиять на энергетические показатели.

В случае простых локальных контуров регулирования в литературе можно найти расчетные формулы оптимального диапазона  $T_s$ , тогда как при более сложных структурах, особенно с нелинейностями, определение  $T_s$  более сложная задача. С целью оптимального выбора проведем оптимизацию sample time путем проверки эффективности работы синтезированной каскадной АСР при различном значении sample time. Рассмотренная структура представлена на рис. 1. Численные параметры на схеме указаны в минутах.

Параметры PID и  $C$  найдены по интегральному критерию [2-3]

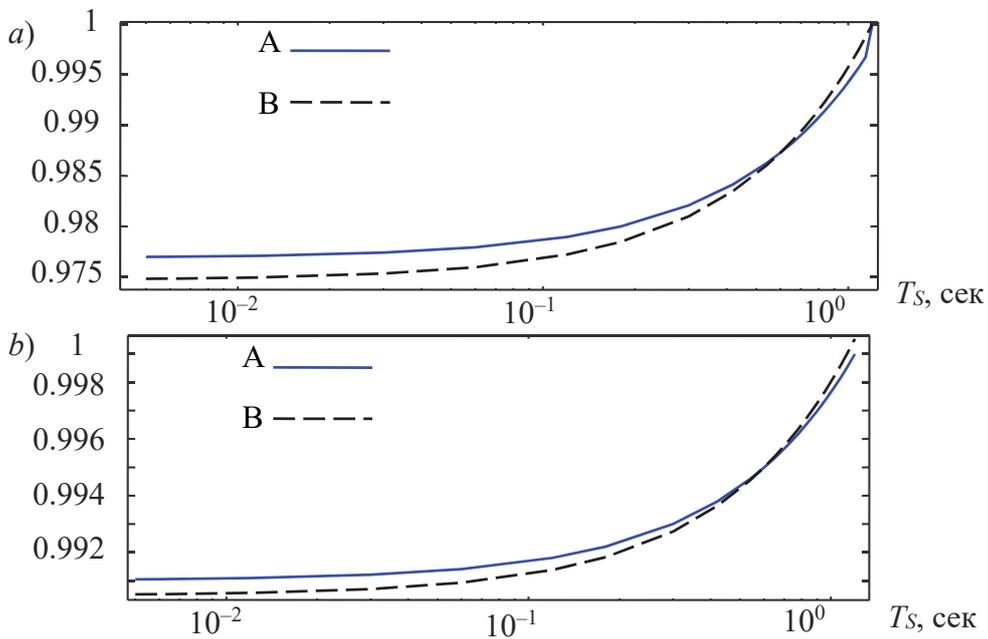
$$I_1 = \int_0^{td} |e(t)| t^2 dt \quad (3)$$

где  $td$  – время наблюдения;  $e(t)$  – сигнал ошибки.

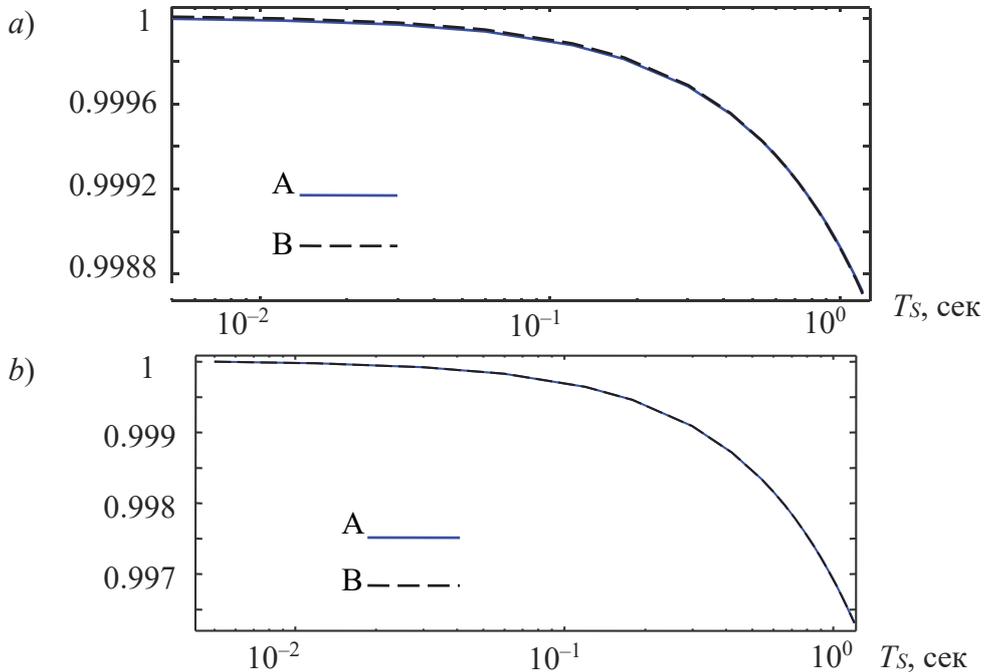
В процессе исследования оценивали такие параметры как перерегулирование, время переходного процесса по уровню 5%, интегральный критерий и среднеквадратичное отклонение (СКО). Нормированные результаты можно видеть на рисунках 2–5.



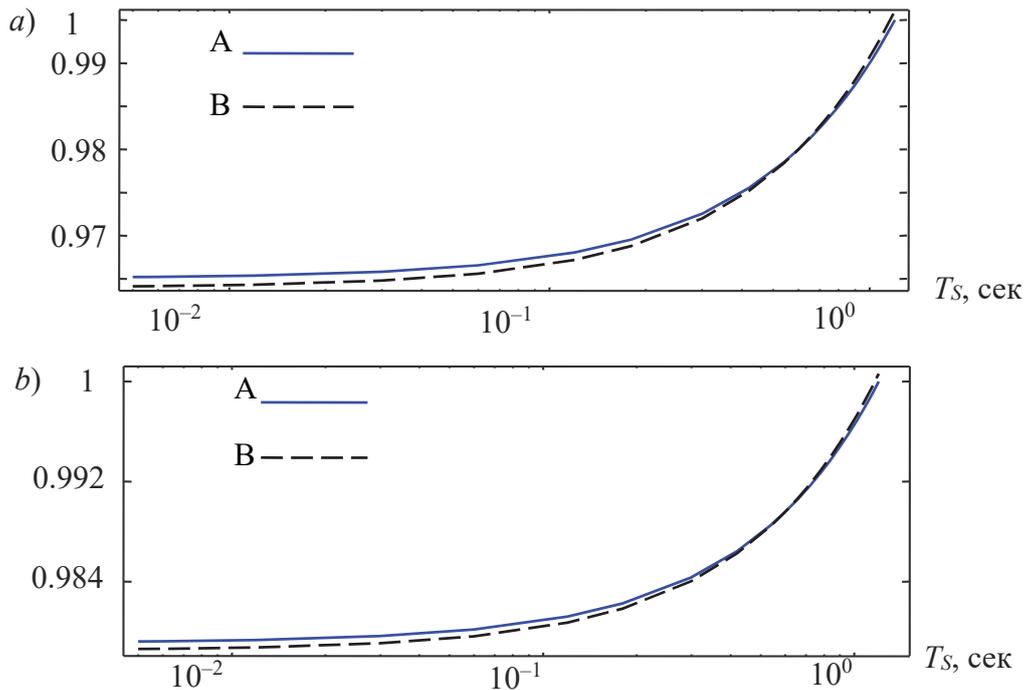
больше всего влияет на значение перегулирования. При этом для данной системы, выбор цифровой формы ПИД-регулятора оказывает больше влияние.



**Рисунок 3 – Зависимость перегулирования (a) и СКО (b) от sample time при использовании ПИД как (1) – А; как (2) – В при изменении  $SP$**



**Рисунок 4 – Зависимость время регулирования (a) и интегрального критерия  $I_2$  (b) от sample time при использовании ПИД как (1) – А; как (2) – В при изменении  $D$**



**Рисунок 5 – Зависимость перерегулирования (a) и СКО (b) от sample time при использовании ПИД как (1) – А; как (2) – В при изменении  $D$**

Sample time по разному влияет на время регулирования и критерий  $I_2$  при изменении возмущения и сигнала задания. Из этого следует, что использование sample time в 100 мс для данной системы является оптимальным. Одна следует заметить, что  $T_s$  может по разному влиять на регулирование [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Oliferovich N., Hryniuk D., Orobei I., Suhorukova I. Increasing the robustness of the digital controller// 2018 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream) 1-6.
2. Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Олиферович Н. М., Оробей И. О. Использование нелинейных регуляторов в каскадных системах регулирования при одновременной настройке четырех параметров // Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и информ. - Минск : БГТУ, 2020. - № 2 (236). - С. 61-68.
3. Hryniuk D., Suhorukova I., Oliferovich N., Orobei I. Complex tuning of the PID controller according to integral criteria // 2018 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences. P. 1-4.
4. Гринюк Д.А., Оробей И. О., Сухорукова И.Г., Оптимизация каскадной системы регулирования для распределенный объектов на основе интегральных критериев // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. — 2007. — Вып. XV. — С.97-100.

## ВЫБОР ТИПА ЦИКЛОНА ИСХОДЯ ИЗ ТРЕБОВАНИЯ МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ОЧИСТКУ ГАЗА

Эффективность очистки газов  $\eta$  в циклонах характеризуется прежде всего параметром  $d_{50}$  – диаметром частиц пыли, улавливаемых с эффективностью 50%. Данный параметр для более эффективных типов циклонов ниже, однако влиять на него можно также варьируя среднерасходную (условную) скорость газа в циклоне  $w$  и диаметр циклона  $D$  [1–3]:

$$d_{50} = d_{50C} \sqrt{\frac{w_C D \rho_{чC} \mu}{w D_C \rho_{чC} \mu_C}}, \text{ м} \quad (1)$$

где  $\rho_{ч}$  – плотность частиц пыли,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости очищаемого газа,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ; параметры с индексом «С» – справочные, соответствующие условиям, при которых было получено значение  $d_{50C}$  (обычно при испытании циклона).

С увеличением  $w$  растет не только эффективность очистки, но и энергетические затраты на очистку газа  $N$ , определяемые гидравлическим сопротивлением циклона  $\Delta P$ :

$$N = \frac{\Delta P Q}{1000 \cdot \eta_{в} \eta_{п} \eta_{дв}} \tau, \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (2)$$

где  $Q$  – расход очищаемого газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\tau$  – количество часов работы циклона;  $\eta_{в}$ ,  $\eta_{п}$ ,  $\eta_{дв}$  – КПД вентилятора, передачи и двигателя соответственно;

$$\Delta P = \xi \frac{w^2 \rho}{2}, \text{ Па} \quad (3)$$

где  $\xi$  – коэффициент гидравлического сопротивления циклона;  $\rho$  – плотность очищаемого газа,  $\text{кг/м}^3$ .

Величины  $w$  и  $D$  связаны зависимостью:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi w n}}, \text{ м} \quad (4)$$

где  $n$  – количество циклонов.

Поскольку при подборе циклона исходно обычно известно значение расхода очищаемого газа, а не диаметра циклона, то зависимость  $d_{50}$  от  $w$  представим следующим образом с учетом формулы (4):

$$d_{50} = d_{50C} \sqrt{\frac{w_C \sqrt{\frac{4Q}{\pi w n}} \rho_{\text{ч}} \mu}{w \sqrt{\frac{4Q_C}{\pi w_C}} \rho_{\text{ч}} \mu_C}} = d_{50C} \left(\frac{w_C}{w}\right)^{3/4} \left(\frac{\rho_{\text{ч}} \mu}{\rho_{\text{ч}} \mu_C}\right)^{1/2} \left(\frac{Q}{n Q_C}\right)^{1/4} \quad (5)$$

Выражая скорость газа через соответствующее ей гидравлическое сопротивление получим:

$$d_{50} = d_{50C} \left(\frac{\Delta P_C}{\Delta P} \frac{\xi \rho}{\xi_C \rho_C}\right)^{3/8} \left(\frac{\rho_{\text{ч}} \cdot \mu}{\rho_{\text{ч}} \cdot \mu_C}\right)^{1/2} \left(\frac{Q}{n Q_C}\right)^{1/4} \quad (6)$$

где  $\Delta P_C$  и  $\xi_C$  – гидравлическое сопротивление и коэффициент гидравлического сопротивления циклона, для которого было получено значение  $d_{50C}$ .

Из формулы (6) следует, что при прочих равных условиях (величина  $\xi$  у ряда конструкций циклонов, в частности у распространённых циклонов НИИОГАЗ серии ЦН, начинает снижаться для диаметров менее 450-500 мм [1–3]) в данном виде циклона для уменьшения величины  $d_{50}$  в  $k$  раз требуется увеличивать гидравлическое сопротивление циклона и энергетические затраты на очистку газа в  $k^{8/3}$  раз.

Сопоставим энергетические затраты для достижения требуемой величины  $d_{50}$  в циклонах разных типов при одинаковом количестве циклонов  $n$  используя формулу (6):

$$\begin{aligned} d_{50C1} \left(\frac{\Delta P_{C1}}{\Delta P_1} \frac{\xi_1 \rho}{\xi_{C1} \rho_{C1}}\right)^{3/8} \left(\frac{\rho_{\text{ч}} \mu}{\rho_{\text{ч}} \mu_{C1}}\right)^{1/2} \left(\frac{Q}{Q_{C1}}\right)^{1/4} = \\ = d_{50C2} \left(\frac{\Delta P_{C2}}{\Delta P_2} \frac{\xi_2 \rho}{\xi_{C2} \rho_{C2}}\right)^{3/8} \left(\frac{\rho_{\text{ч}} \mu}{\rho_{\text{ч}} \mu_{C2}}\right)^{1/2} \left(\frac{Q}{Q_{C2}}\right)^{1/4}, \end{aligned} \quad (7)$$

где индексы «1» и «2» соответствуют параметрам для первого и второго из сравниваемых циклонов соответственно.

Сократив параметры, соответствующие заданным условиям очистки ( $Q$ ,  $\rho_{\text{ч}}$ ,  $\mu$ ,  $\rho$ ), выразив расход газа с помощью формулы (4) и перегруппировав, получим:

$$\left(\frac{\Delta P_1 \xi_2}{\Delta P_2 \xi_1}\right)^{3/8} = \frac{d_{50C1}}{d_{50C2}} \left(\frac{\Delta P_{C1} \xi_{C2} \rho_{C2}}{\Delta P_{C2} \xi_{C1} \rho_{C1}}\right)^{3/8} \left(\frac{\rho_{\text{ч}} \mu_{C2} D_{C2}}{\rho_{\text{ч}} \mu_{C1} D_{C1}}\right)^{1/2} \left(\frac{w_{C2}}{w_{C1}}\right)^{1/4}, \quad (8)$$

откуда с учетом формулы (3):

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{\xi_1}{\xi_2} \left( \frac{d_{50C1}}{d_{50C2}} \right)^{8/3} \left( \frac{\rho_{cC1} \mu_{C2} D_{C2} w_{C1}}{\rho_{cC2} \mu_{C1} D_{C1} w_{C2}} \right)^{4/3} \quad (9)$$

Выражение во второй скобке правой части формулы (9) служит для приведения значений  $d_{50C1}$  и  $d_{50C2}$  к одним условиям очистки. Если в справочнике эти параметры приводятся при одних и тех же условиях (как правило, это так [1–3]), то он равен 1.

Как следует из полученного уравнения замена другим циклоном будет энергетически выгодна при условии уменьшения комплекса  $\xi d_{50}^{8/3}$ . Данный комплекс можно рассматривать как характеристику энергетической эффективности циклона – чем меньше его величина, тем меньше затрат энергии при прочих равных условиях требуется для достижения заданных значений  $d_{50}$  и эффективности очистки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лазарев В.А. Циклоны и вихревые пылеуловители: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. Н. Новгород: Фирма ОЗОН-НН, 2006. 320 с.
2. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 1. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. 917 с.
3. Справочник по пыле- и золоулавливаю. Под общ. ред. А. А. Русанова. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.

УДК 621.3

**Воробьёва А.Е., Шестаков А.А.,  
Баннов А.Г.**

(Новосибирский государственный технический университет)

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА**

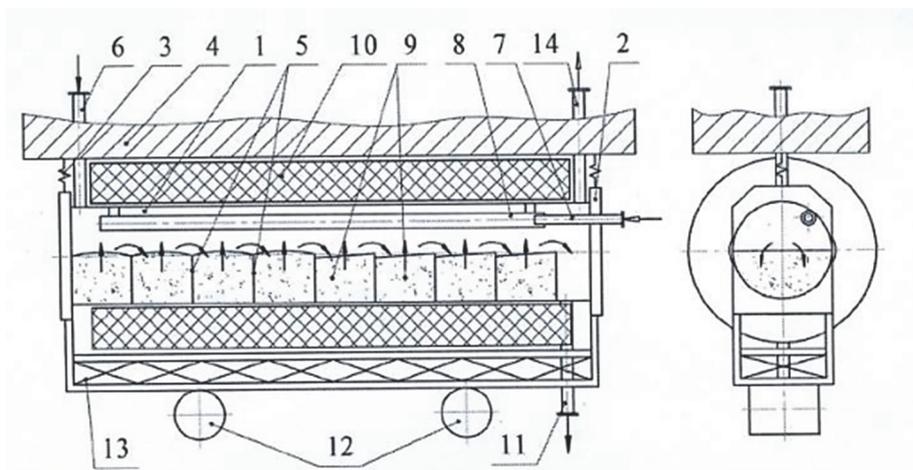
В последние годы нановолокнистый углерод (НВУ) всё чаще используется в исследованиях учёных. НВУ стал привлекателен благодаря проявлению уникальных сорбционных, механических, термических и электрических свойств. Также низкая стоимость делает его хорошим кандидатом для применения в катализе, полимерных композициях, электрохимических устройствах и других областях [1].

Изначально, НВУ содержит незначительное количество поверхностных функциональных групп, что делает его невыгодным для применения во многих областях промышленности. Для того, чтобы

расширить области применения НВУ, его подвергают функционализации. Функционализация – это присоединение к поверхности волокон различных функциональных групп. Функционализация бывает химической и электрохимической [2]. В первом случае используются ковалентные химические реакции, такие как окисление, фторирование, амидирование и другие виды. Во втором случае НВУ можно использовать как катод или анод электрохимической ячейки. Это позволяет провести окисление или восстановление молекул на поверхности волокна, а также обеспечить ковалентную связь образовавшихся радикалов с поверхностью НВУ. Мы использовали электрохимическое модифицирование поверхности НВУ. В процессе электрохимической обработки углеродных волокон протекают сложные физико-химические процессы, приводящие, в частности, к травлению поверхности и образованию продольных каналов и сшивок между волокнами.

В данной работе проводилось исследование электрохимической модификации (функционализации) поверхности нановолокнистого углерода (структура вложенных конусов, маркировка образца далее «НВУ-1») работки.

Образец НВУ-1 синтезировали в горизонтальном пилотном реакторе, схема которого приведена на рисунке 1. Пилотный реактор непрерывного действия создан в Новосибирском государственном техническом университете. Производительность составляет 0,5 кг/час [3]. Продолжительность синтеза НВУ-1 составляла 26,75 ч при 600°C, при этом расход метана равнялся 100 л/(ч·г кат), а вибрация реактора – 40 Гц.



**Рисунок 1 – Принципиальная схема горизонтального пилотного реактора [3]:**

- 1 – горизонтальный реактор; 2 – фланец; 3 – пружина растяжения; 4 – внешняя рама; 5 – перегородки; 6 – патрубок ввода катализатора; 7 – патрубок подачи газа; 8 – труба циркуляции; 9 – слой катализатора; 10 – электронагреватель; 11 – патрубок выгрузки НВУ; 12 – вибратор (ИВ-98Б); 13 – рама реактора; 14 – патрубок отвода газообразных продуктов.

Синтез проводился в присутствии катализатора 82% (масс.) Ni / 8% (масс.) Cu / 10% (масс.) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Катализаторы были приготовлены методом соосаждения. Концентрированная азотная кислота добавлялась к псевдобемиту при непрерывном перемешивании до достижения кислотного модуля равного 0.1. Затем добавляли Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O и смесь измельчали до получения однородной пасты. Далее добавляли Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O, при этом пасту снова гомогенизировали и концентрировали. Следом добавляли концентрированный водный раствор аммиака до значения pH=10. Пасту помещали в керамическую чашку и отправляли в муфельную печь для прокаливания при температуре 550°C. Прокаленный материал был частично измельчен и усреднен по объему. Полученный катализатор снова прокаливался при 750°C и измельчался в керамической ступке. Фракция 0,5-1,0 мм была взята для последующих экспериментов [4].

Электрохимическую обработку поверхности НВУ-1 проводили в разбавленной кислоте H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,1 н). Перед активацией образцы НВУ-1 просеивали через сито с размером ячейки 100 мкм (для обработки использовали фракцию с частицами <100 мкм). Начальная температура раствора активации составляла ±23°C, в процессе температура раствора возрастала, но не превышала 80°C. Исходный образец находился в ячейке из сетки (нержавеющая сталь AISI 316), которая выступала в качестве анода, а пластина из свинца в качестве катода. В процессе обработки сила тока поддерживалась постоянной и варьировалась от 0,5 до 2,5 А. Время обработки НВУ-1 составило 1 ч. После электрохимической обработки образцы НВУ-1 фильтровали и промывали дистиллированной водой, далее сушили при 100 °С в течение 12 ч.

Обсудим результаты эксперимента. Потеря массы вещества является важнейшим параметром для определения экономической составляющей в технологии производства любого продукта. Результаты потери массы образцов, полученных в эксперименте, представлены на рисунке 2.

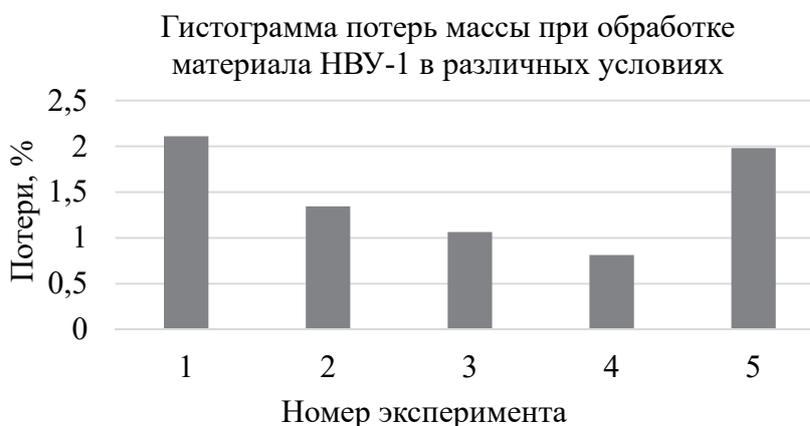


Рисунок 2 – Зависимость потери массы углеродного материала от силы тока

Максимальные потери массы были получены при силе тока 0,5 и 2,5 А. Это связано с тем, что при малой и большой силе тока электрохимическая модификация образца происходит сильнее, при этом дефектные частицы на поверхности образца «вытравливаются» и переходят в раствор с выделением углекислого газа.

Температуры растворов серной кислоты до и после электрохимической обработки НВУ-1 приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Изменение температуры**

Номер эксперимента	Сила тока, А	Температура до обработки, °С	Температура после обработки, °С
1	0,5	23	30
2	1		36
3	1,5		46
4	2		52
5	2,5		79

Наибольшее нагревание раствора происходит при силе тока 2,5 А. Это связано с тем, что в растворе возрастает сопротивление при увеличении силы тока. Сопротивление раствора пропорционально его тепловыделению. В результате этого раствор нагревается.

Таким образом, в настоящей работе произведена функционализация образцов нановолокнистого углерода электрохимическим методом в 0,1 н растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Приведены потери массы и изменения температуры раствора серной кислоты до и после электрохимической модификации. Стоит отметить, что данный способ является более экономичным, быстрым и менее токсичным за счет использования низких концентраций растворов окислителей по сравнению с химическими методами обработки, что делает его более предпочтительным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Zhou, J.H. Characterization of surface oxygen complexes on carbon nanofibers by TPD, XPS and FT-IR / J.H. Zhou, Z.J. Sui, J. Zhu, P. Li, D. Chen, Y.C. Dai, W.K. Yuan // Carbon. – 2007. – Vol. 45. – P. 785–796.

2. Yoon, C.M. Electrochemical surface oxidation of carbon nanofibers / C.M. Yoon, D. Long, S.M. Jang, W. Qiao, L. Ling, J. Miyawaki, C.K. Rhee, I. Mochida, S.H. Yoon // Carbon. – 2008. – Vol. 49. – P. 96–105.

3. Курмашов, П.Б. Горизонтальный пилотный реактор с виброожиженным слоем для процесса синтеза нановолокнистого углерода / П.Б. Курмашов, В.В. Максименко, А.Г. Баннов, Г.Г. Кувшинов // Химическая технология. – 2013. – №14. – С. 635 – 640.

4. Popov, M.V. Effect of pressure on the production of hydrogen and nanofilamentous carbon by the catalytic pyrolysis of methane on Ni-containing catalysts / M.V. Popov, V.V. Shinkarev, P.I. Brezgina, E.A. Solov'eva, G.G. Kuvshinov // Kinetics and Catalysis. – 2013. – Vol. 54. - №4. – P. 481-486.

**Секция V**  
**ПОДГОТОВКА И ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ**  
**ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ**  
**НА ВСЕХ СТУПЕНЯХ ДИПЛОМНОГО**  
**И ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

---

УДК 378.016:378.662(476)

**Пищов С.Н., Цыганов А.Р.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ**  
**ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ВЗРОСЛЫХ**  
**ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ ХИМИЧЕСКОГО**  
**И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ,**  
**РЕАЛИЗУЕМЫЕ В БГТУ**

В Республике Беларусь на постоянной основе проводятся мероприятия по повышению конкурентоспособности продукции организаций химического и нефтехимического комплексов, что достигается внедрением новых инновационных технологий и производств, использованием современного оборудования. Результатом модернизации химических и нефтехимических предприятий является производство и реализация новых видов продукции с высокой добавленной стоимостью на внутреннем и внешних рынках, что приводит к повышению экономической независимости и уровня благосостояния нашей страны.

С учетом проводимых мероприятий по модернизации значительно повысились требования к профессиональным компетенциям руководящих работников и специалистов организаций химического и нефтехимического комплексов в области организационно-управленческой и инновационной деятельности.

Подготовка высококвалифицированных кадров для организаций химического и нефтехимического комплексов страны является одной из приоритетных задач учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (далее – БГТУ). В настоящее время БГТУ для указанных выше предприятий осуществляет подготовку специалистов со средним специальным образованием (на базе филиалов-колледжей), подготовку специалистов с высшим образованием на первой и второй ступенях (магистратура), дополнительное образование руководящих работников и специалистов.

Дополнительное образование руководящих работников и специалистов проводится по следующим образовательным программам:

– переподготовка руководящих работников и специалистов, имеющих высшее образование;

– повышение квалификации и стажировки руководящих работников и специалистов по актуальным программам в области изучения инновационных технологий;

Для организации переподготовки руководящих работников и специалистов лесного комплекса в БГТУ открыты специальности, которые охватывают ряд направлений экономической деятельности предприятий химического и нефтехимического комплексов. Специальности переподготовки в БГТУ открыты по заказу предприятий концерна «Белнефтехим», Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, с которыми в установленном порядке согласованы образовательные стандарты и типовые учебные планы.

В настоящее время в БГТУ открыты следующие специальности переподготовки для организаций химического и нефтехимического комплексов (в соответствии с Общегосударственным классификатором Республики Беларусь ОКРБ 011-2022 «Специальности и квалификации»):

9-09-0711-01 «Технология неорганических веществ»;

9-09-0711-04 «Производство и переработка полимерных материалов»;

9-09-0711-08 «Инженерная экология»;

9-09-0722-02 «Производство строительных материалов на основе вяжущих веществ»;

9-09-0722-03 «Производство изделий из композиционных материалов».

Для совершенствования образовательного процесса переподготовки и повышения квалификации БГТУ постоянно проводит ряд мероприятий, направленных на подбор высококвалифицированных преподавателей, привлечение для проведения занятий, при необходимости, специалистов-практиков, актуализацию преподаваемого материала путем внесения изменений и дополнений в учебно-программную документацию, увеличение объема практических занятий и стажировок, проводимых на базе ведущих организаций, использование информационно-коммуникационных технологий для организации эффективной управляемой самостоятельной работы слушателей.

Одним из приоритетных направлений развития образовательной деятельности БГТУ является организация дополнительного образования для студентов старших курсов, с целью повышения их

конкурентоспособности на постоянно изменяющемся рынке труда. Для студентов организуются обучающие курсы, семинары, вебинары, на которые приглашаются ведущие специалисты соответствующих отраслей экономики, имеющие опыт организации и управления производством. В данном случае выпускники инженерно-технического профиля получают новые профессиональные компетенции, которые позволяют им иметь дополнительные возможности карьерного роста и востребованности у работодателей.

Организация образовательного процесса подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров для предприятий химического и нефтехимического комплексов проводится в тесной взаимосвязи с организациями концерна «Белнефтехим», Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, что позволяет БГТУ осуществлять выпуск востребованных специалистов для данных отраслей экономики страны с учетом требований организации-заказчиков кадров.

УДК 378.016:378.662(476)

**Сакович А.А. Горжанов В.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**СПЕЦИАЛЬНОСТИ ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ СТУПЕНЕЙ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ  
СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ  
ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ**

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (далее – БГТУ) является ведущим учреждением образования в области подготовки кадров для организаций химического и нефтехимического комплексов.

Подготовка специалистов для химического и нефтехимического комплексов республики по специальностям первой ступени высшего образования приведена в таблице 1, для второй ступени высшего образования (магистратуры) – в таблице 2.

Контрольные цифры приема абитуриентов на вышеуказанные специальности за счет средств республиканского бюджета БГТУ ежегодно выполняет в полном объеме.

**Таблица 1 – Перечень специальностей первой ступени высшего образования для организаций химического и нефтехимического комплексов**

Наименование специальности по ОКРБ 011-2009	Наименование специальности по ОКРБ 011-2022, первый набор в 2023 г.
1-48 01 01 Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий	6-05-0711-01 Технология неорганических веществ
	6-05-0711-05 Технология стекла, керамики и вяжущих материалов
	6-05-0711-07 Производство материалов и устройств электроники
1-48 01 02 Химическая технология органических веществ, материалов и изделий	6-05-0711-02 Переработка нефти и газа и промышленный органический синтез
	6-05-0722-04 Производство и переработка полимерных материалов
1-48 01 04 Технология электрохимических производств	6-05-0711-06 Электрохимические производства
1-48 01 06 Промышленная водоподготовка и водоочистка	6-05-0711-08 Промышленные и коммунальные системы водоподготовки и водоочистки
1-48 01 07 Технология и переработка биополимеров	6-05-0711-03 Технология и переработка биополимеров
1-48 02 01 Биотехнология	7-07-0711-02 Промышленная биотехнология
1-48 02 02 Технология лекарственных препаратов	7-07-0711-01 Технология лекарственных препаратов
1-57 01 01 Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов	6-05-0711-04 Инженерная экология
1-36 07 01 Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов	6-05-0714-04 Технологические машины и оборудование
1-53 01 01 Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям) Направления специальности: 1-53 01 01-04 Автоматизация технологических процессов и производств (химическая промышленность)	6-05-0713-04 Автоматизация технологических процессов и производств
1-25 01 07 Экономика и управление на предприятии <i>Специализация 1-25 01 07 24 Экономика и управление на предприятии химической промышленности</i>	6-05-0311-02 Экономика и управление
1-26 02 03 Маркетинг <i>Специализация 1-26 02 03 15 Маркетинг в химической промышленности</i>	6-05-0412-04 Маркетинг

**Таблица 2 – Перечень специальностей второй ступени высшего образования (магистратуры) для организаций химического и нефтехимического комплексов**

Наименование специальности первой ступени по ОКРБ 011-2009	Наименование специальности по ОКРБ 011-2022, первый набор в 2023 г.
1-33 80 01 Экология	7-06-0521-01 Экология
1-36 80 06 Машины, агрегаты и процессы (по отраслям)	7-06-0714-03 Машины, агрегаты и процессы
1-48 80 01 Производство неорганических веществ и материалов	7-06-0711-01 Производство неорганических веществ и материалов
1-48 80 02 Технология вяжущих веществ, керамических и стеклянных материалов	7-06-0711-07 Технология вяжущих веществ, керамических и стеклянных материалов и изделий
1-48 80 03 Производство и переработка углеводов	7-06-0711-02 Производство и переработка углеводов
1-48 80 04 Производство и переработка полимеров и композитов	7-06-0722-02 Производство и переработка полимеров и композитов
1-48 80 06 Электрохимические производства и защита от коррозии	7-06-0711-05 Электрохимические производства и защита от коррозии
1-48 80 07 Производство продуктов и материалов из растительных полимеров	7-06-0711-03 Производство продуктов и материалов из растительных полимеров
1-48 80 08 Биотехнологические и фармацевтические производства	7-06-0711-06 Биотехнологические и фармацевтические производства
1-48 80 10 Инновационные технологии силикатных строительных материалов и изделий	7-06-0711-04 Инновационные технологии силикатных строительных материалов и изделий
1-53 80 01 Автоматизация	7-06-0713-04 Автоматизация

В рамках усиления практико-ориентированной составляющей образовательного процесса работниками БГТУ постоянно проводится работа по развитию сотрудничества с организациями-заказчиками кадров. На сегодняшний момент БГТУ заключил договоры о взаимодействии со следующими базовыми организациями, относящимися к химической и нефтехимической отраслям республики: ОАО «Белшина»; ОАО «Гродно Азот»; ОАО «Завод горного воска»; ОАО «Полоцк-Стекловолокно»; ОАО «Гомельский химический завод»; ОАО «Борисовский завод пластмассовых изделий»; ОАО «Управляющая компания холдинга «Белорусские обои» филиал «Добрушская бумажная фабрика «Герой труда»; РУП «Завод газетной бумаги»; ОАО «Борисовский завод медицинских препаратов»; РУП «Белмедпрепараты»; ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат»; ОАО «Керамин»; ОАО «Речицадрев»; ЧПУП «МАВ»; ИООО «Славкалий»; ЗАО «Могилевский комбинат силикатных изделий»; ЗАО «Белорусская национальная биотехнологическая корпорация» и другими организациями.

Привлечение ведущих специалистов организаций-заказчиков кадров к организации образовательного процесса осуществляется в том числе посредством создания филиалов кафедр, что является приоритетным направлением деятельности выпускающих кафедр. К настоящему моменту на предприятиях химического и нефтехимического комплексов Республики Беларусь созданы филиалы следующих кафедр БГТУ:

1. филиал кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии на базе ОАО «Гродно Азот»;

2. филиал кафедры технологии стекла и керамики на базе ОАО «Полоцк-Стекловолокно»;

3. филиал кафедры машин и аппаратов химических и силикатных производств на базе ОАО «Крион»;

4. филиал кафедры машин и аппаратов химических и силикатных производств на базе ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством»;

5. филиалы кафедры полимерных композиционных материалов на базе ОАО «Белшина» и ОАО «Борисовский завод пластмассовых изделий»;

7. филиалы кафедры химической переработки древесины на базе ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат» и РУП «Завод газетной бумаги».

Помимо базовых организаций, основными организациями-заказчиками кадров нефтехимического и химического комплекса Беларуси являются: РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»»; ОАО Мозырский НПЗ»; ОАО «Беларуськалий» ОАО «Нафтан»; Завод «Полимир» ОАО «Нафтан»; ОАО «Гомельтранснефть Дружба»; ОАО «Полоцктранснефть Дружба»; Завод «Химволокно» ОАО «Гродно Азот»; ОАО «СветлогорскХимволокно»; ОАО «Могилевхимволокно»; ОАО «Полоцк-Стекловолокно»; ОАО «Лакокраска»; ОАО «Крион» и другие.

Вопросами повышения эффективности деятельности химического и нефтехимического комплекса Республики Беларусь в БГТУ занимаются научные центры, лаборатории, субъекты инновационной инфраструктуры:

– Международный информационно-аналитический центр трансфера технологий;

– Республиканский научно-практический центр нефтехимических технологий и производств;

- Научно-исследовательская лаборатория нефтехимии двойного подчинения с ГНУ «Институт химии новых материалов НАН Беларуси»;
  - Инжиниринговый центр полимерных композиционных материалов и нанотехнологий;
  - Отраслевая лаборатория «Инжиниринговый центр по апробации наноматериалов в нефтехимическом и промышленном комплексах»;
  - Отраслевая лаборатория полимерных композиционных материалов»;
  - Отраслевая лаборатория шинной промышленности;
  - Научно-исследовательская лаборатория по разработке технологий производства модифицированных полиэфирных волокон, нитей и пленок;
  - Научная отраслевая лаборатория стекла и волокнистых материалов;
  - Испытательный центр экологического контроля;
  - Учебно-образовательный и научно-практический центр стекла и керамики;
  - Лаборатория по исследованию гидрохлорфторуглеродов и их заменителей;
  - Лаборатория калийных солей и удобрений ИООО «Славкалий»-БГТУ
  - Отраслевая лаборатория по переработке фосфатного сырья;
  - Отраслевая лаборатория стекла и стекловидных материалов;
  - Отраслевая лаборатория стекла и волокнистых материалов;
  - Инжиниринговый центр трансфера нанотехнологий в нефтехимическом и промышленном комплексах.
- Студенческие научно-исследовательские лаборатории:
- Технология неорганических веществ;
  - Озон;
  - Экотехнология;
  - Техника и технология дезинтеграции и очистки газов;
  - Неорганические вяжущие и композиционные материалы;
  - Химия и технология силикатов»;
  - Лаборатория Национального детского технопарка по направлению «Инженерная экология».

Большое внимание в БГТУ уделяется подбору профессорско-преподавательского состава для организации образовательного процесса подготовки специалистов с высшим образованием. Более 20 работников из числа профессорско-преподавательского состава кафедр БГТУ прошли повышение квалификации в организациях и предприятиях химического и нефтехимического комплекса Беларуси за последние 3 года.

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД  
К ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ  
ДЛЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

Наиболее полное соответствие квалификации выпускников вузов современным требованиям рынка труда удастся достичь при сочетании двух факторов: ежедневного совершенствования образовательных программ во взаимодействии с организациями-заказчиками кадров и желания студентов учиться и расти в профессиональном плане. И если кадровый потенциал высших учебных заведений Республики Беларусь способен обеспечить постоянное совершенствование учебного процесса, регулярно повышает свою квалификацию и налаживает связи с предприятиями отрасли, то мотивация учащихся к саморазвитию и самосовершенствованию ежегодно снижается. Обусловлено это отсутствием четкого понимания целей образования (согласно [1] до 60% обучающихся не имеют четкого представления о назначении, смысле и предполагаемых результатах учебного процесса), наличием барьеров эффективной коммуникации между студентами и преподавателями, основанных на различиях в познавательной и коммуникационной деятельности поколений X, Y и поколения Z, общедоступностью высшего образования [2].

Психоэмоциональное восприятие действительности в условиях ограничений (пандемия COVID-19, напряженность в мире), тревога и обеспокоенность родителей, неудовлетворенность в неформальных формах общения, чувство одиночества – все это в совокупности истощает психологическое здоровье студентов и приводит к отказу или формальному подходу к процессу обучения. Кроме того, постоянное использование гаджетов, компьютеров оказывает негативное влияние на физическое и психологическое здоровье учащихся. Учеба с использованием гаджетов и компьютеров сопровождается стрессом, сильными эмоциональными переживаниями, снижением внимания и удовлетворенности своей деятельностью, развитием депрессивных состояний [3].

Известно, что основной движущей силой эффективного образовательного процесса является мотивация. Несмотря на то, что стимулирование внутренней мотивации студентов в рамках образовательного процесса – это трудоемкий и тяжелый процесс, практически

не зависящий от учебной деятельности, внешняя мотивация учащихся зависит от эффективной организации процесса познания.

При подготовке инженеров-химиков-технологов обучение на практике имеет первостепенное значение для дополнения теоретических курсов по дисциплинам специальности, поскольку применение знаний, полученных при изучении теоретических основ предмета, в реальности вызывает трудности у студентов. Нынешнее поколение студентов (поколение Z) обладает клиповым мышлением, адаптировано к обработке больших потоков информации и многозадачности, однако мало приспособлено к глубокому анализу и рефлексии [2]. Для таких учащихся отсутствие интерактивного содержания курса, позволяющего визуализировать теоретические основы, может стать причиной полного отсутствия мотивации к обучению. При организации учебного процесса представителями поколения Z необходимо дополнение традиционных форм и методов обучения новыми формами, обеспечивающими получение информации с помощью изображений и видео и позволяющих завладеть вниманием студентов, развить творческое начало, мотивировать и вдохновить их на углубленное изучение предмета.

Для повышения мотивации и активного вовлечения студентов в учебный процесс на кафедре нефтегазопереработки и нефтехимии Белорусского государственного технологического университета внедрены и используются следующие инструменты интерактивного обучения:

1. Проведение лекций с использованием видео-, фото- и аудиоматериалов с их последующим обсуждением со студентами.

2. Подготовка рефератов, докладов, сообщений по темам, связанным с изучаемой дисциплиной, их визуализация в формате презентации, видеосообщений, обсуждение с одноклассниками.

3. Формирование малых групп студентов для решения поставленной задачи с необходимостью обосновать и доказать правильность своего выбора (решения).

4. Использование широкого круга наглядных пособий и лабораторных установок.

5. Стимулирование студентов к самостоятельному определению задач и методов исследования при выполнении работ по учебно-исследовательской деятельности студентов.

6. Организация экскурсий на предприятия нефтехимического профиля для студентов младших курсов, не приступивших к изучению специальных дисциплин.

7. Системный подход при организации учебной и технологической практик, заключающийся в активном взаимодействии студентов

и преподавателей кафедры, организации встреч с представителями различных предприятий отрасли.

8. Вовлечение студентов в участие в деятельности выставок, конференций и других мероприятий по нефтепереработке и нефтехимии.

9. Приглашение ведущих специалистов отрасли для чтения лекций, проведения дискуссий и семинаров.

10. Широкое использование дистанционных методов обучения, общение со студентами посредством социальных сетей, мессенджеров.

Комплексный подход к выбору методов и средств обучения и использование активных и интерактивных форм при организации учебного процесса обеспечивает формирование познавательной активности и способности решать стоящие перед обучающимися задачи, реализацию инстинктивной программы студентов и развитие их потребностей и интересов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Emil Stan. The Role of Grades in Motivating Students to Learn // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. – 2012. – V. 69. – PP. 1998–2003.

2. Воробьева, М.В. Особенности и обучение I-поколения (поколения Z) // *Педагогическое образование и наука*. – 2019. – № 5. – С. 108–112.

3. Влияние информационно-коммуникативных технологий на физическое и психическое здоровье человека / Шинкарук О. [и др.] // *Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві*. – 2018. – № 2 (42). – С. 13–24.

УДК 378:543:544

**Коваленко Н.А., Богдан Е.О.,  
Болвако А.К.**

(Белорусский государственный технологический университет)

### **ОПЫТ КАФЕДРЫ ФИЗИЧЕСКОЙ, КОЛЛОИДНОЙ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ В ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕПОДГОТОВКИ РУКОВОДЯЩИХ РАБОТНИКОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ**

Кафедрой физической, коллоидной и аналитической химии Белорусского государственного технологического университета осуществляется преподавание ряда учебных дисциплин для слушателей

переподготовки химико-технологических специальностей Института повышения квалификации и переподготовки кадров. Так, например, слушателями специальности 1-48 01 73 Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий изучаются дисциплины «Физическая и коллоидная химия» и «Физико-химические методы анализа».

Можно выделить следующие основные направления совершенствования научно-методического обеспечения образования для слушателей переподготовки: внедрение комплекса прикладных программных продуктов и системы управления обучением в практику преподавания; совершенствование лабораторного практикума; применение компьютерных моделей и симуляторов; создание и актуализация учебно-методических разработок и др.

При организации образовательного процесса для слушателей переподготовки кафедрой физической, коллоидной и аналитической химии проводится системная работа по внедрению современных информационно-коммуникационных технологий [1–3].

Система управления обучением на кафедре используется при работе со всеми слушателями Института повышения квалификации и переподготовки, что позволяет достичь ритмичной работы над программным материалом, предоставить удобный инструмент для доступа к методическим разработкам, а также осуществлять эффективный текущий контроль знаний обучающихся [4]. При этом следует выделить такое перспективное направление, как разработка и внедрение в практику преподавания симуляторов различного химико-аналитического оборудования, позволяющих с высокой степенью детализации визуализировать те или иные процессы или явления [5].

Необходимость совершенствования лабораторного практикума обусловлена требованиями, предъявляемыми к подготовке специалиста в области химических технологий. Несмотря на то, что в рамках фундаментальных химических дисциплин изучаются основополагающие закономерности протекания химических процессов, необходимо обеспечивать практико-ориентированную подготовку слушателей на основании требований предприятий-заказчиков кадров.

Результаты мониторинга обучающихся показывают, что, как правило, наиболее предпочтительной формой проведения занятий для слушателей является лабораторный практикум, электронные курсы, семинары и лекции. Наиболее приемлемым способом оценки знаний большинство слушателей переподготовки называет компьютерное

тестирование, а письменная работа или устное собеседование вызывает гораздо меньший интерес.

Таким образом, опыт кафедры по организации переподготовки руководящих работников и специалистов предприятий свидетельствует о том, что сопровождение образовательного процесса с использованием современных информационно-коммуникационных технологий позволяет сформировать у слушателей все требуемые компетенции в области химической технологии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение квалификации химиков-технологов по физико-химическим методам анализа / Коваленко Н.А., Супиченко Г.Н., Болвако А.К. // Инновационные идеи и методические решения в преподавании химии: материалы IX Всероссийской научно-методической конференции (10 декабря 2018 года); Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2018. – 104 с. – С.12-14.

2. Некоторые общеметодические вопросы преподавания естественнонаучных дисциплин с применением компьютерных технологий и системы дистанционного обучения / Дудчик Г.П., Болвако А.К., Богдан Е.О., Великанова И.А. // Высшее техническое образование. – Том 2. – № 2. – 2018. – С. 27–39.

3. Использование дистанционных образовательных технологий при организации переподготовки руководящих работников и специалистов / Пищов С.Н., Болвако А.К. // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы XII Междунар. науч.-метод. конф. (Республика Беларусь, Минск, 26 мая 2022 года) / редкол.: Е. Н. Шнейдеров [и др.]. – Минск: БГУИР, 2022. – 240 с. – С. 178.

4. Инструменты для визуализации контента в системе управления обучением Moodle / Красовская Н.Н., Болвако А.К. // Инновационные идеи и методические решения в преподавании естественных наук: материалы X Всероссийской научно-методической конференции, посвящённой 75-летию Победы в Великой Отечественной войне (6-12 января 2020 года); Институт развития образования Ивановской области. – Иваново, 2020. – 125 с. – С. 47–48.

5. Программное моделирование современного химико-аналитического оборудования / Лацко В.И., Болвако А.К. // Молодежь и научно-технический прогресс: Сборник докладов XIV международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 т. Т. 1. / Сост.: Е. Н. Иванцова, В. М. Уваров [и др.]. – Губкин; Старый Оскол: ООО «Ассистент плюс», 2021. – 613 с. – С. 221–222.

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕПОДГОТОВКИ  
РУКОВОДЯЩИХ РАБОТНИКОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ  
ОАО «ГРОДНО АЗОТ»**

Одним из приоритетных направлений деятельности учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (далее – БГТУ) является налаживание и развитие взаимовыгодного сотрудничества с ведущими организациями Республики Беларусь, для которых осуществляется подготовка, переподготовка и повышение квалификации руководящих работников и специалистов, а также выполнение научно-исследовательских работ по перспективным направлениям. Примером такого взаимодействия является сотрудничество с ведущими предприятиями химической промышленности Республики Беларусь, в число которых, несомненно, входит ОАО «Гродно Азот».

На протяжении длительного периода в Институте повышения квалификации и переподготовки БГТУ осуществляется переподготовка руководящих работников и специалистов, имеющих высшее образование, по специальности 1-48 01 73 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» в заочной форме с присвоением квалификации химик-технолог. С 2023 года в соответствии с Общегосударственным классификатором Республики Беларусь ОКРБ 011-2022 «Специальности и квалификации» открыта новая специальность переподготовки 9-09-0711-01 «Технология неорганических веществ» с присвоением квалификации инженер. Следует отметить, что указанные выше специальности переподготовки пользуются спросом у руководящих работников и специалистов ОАО «Гродно Азот» с «непрофильным» высшим образованием, что позволяет БГТУ ежегодно формировать новые группы слушателей.

Для проведения занятий по указанным специальностям привлекаются ведущие преподаватели БГТУ, которые вместе с образовательным процессом активно занимаются научно-исследовательской деятельностью в области современных технологий в химической промышленности. Обучение производится с использованием современной материально-технической базы БГТУ и разработанного учебно-методического обеспечения.

Следует отметить, что в настоящее время при поддержке руководства ОАО «Гродно Азот» налажено постоянное научно-техническое

сотрудничество между специалистами ОАО «Гродно Азот» с профессорско-преподавательским составом и научными сотрудниками различных кафедр и структурных подразделений БГТУ. В рамках сотрудничества выполняются совместные научно-исследовательские работы, осуществляются разработка и защита курсовых и дипломных проектов по тематикам предприятия, прохождение производственных практик. На ОАО «Гродно Азот» успешно функционирует филиал кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии БГТУ, что позволяет организовать образовательный процесс с учетом требований, предъявляемых специалистами предприятия.

Необходимо отметить положительный опыт БГТУ в организации образовательного процесса переподготовки и повышения квалификации руководящих работников и специалистов ОАО «Гродно Азот» на базе отдела подготовки кадров данного предприятия. В настоящее время в данном формате обучение проходит вторая группа слушателей и проводится работа по формированию новой группы. Особенностью организации образовательного процесса является то, что в значительном объеме образовательный процесс (лекции, практические занятия) организован на базе отдела подготовки кадров ОАО «Гродно Азот». Преимуществами такой формы организации обучения является возможность согласования учебных программ и календарного графика обучения; привлечение в качестве преподавателей по специальным учебным дисциплинам ведущих специалистов-практиков ОАО «Гродно Азот» и других организаций химического комплекса; возможность направления на обучение большего количества специалистов и снижение затрат на их командирование в БГТУ. Вместе с тем, лабораторные занятия проводятся в БГТУ с использованием материально-технической базы выпускающих кафедр и других структурных подразделений.

Для организации управляемой самостоятельной работы слушателей в БГТУ активно используются информационно-коммуникационные технологии. Внедрение информационно-коммуникационных технологий в образовательный процесс переподготовки руководящих работников и специалистов преподаватели БГТУ осуществляют при поддержке отдела дистанционных образовательных технологий учебно-методического управления. С использованием данных технологий проводятся лекционные, семинарские и практические занятия; обеспечивается доступ к учебно-методическим материалам в системе управления обучением на основе веб-приложения Moodle; проводится промежуточная аттестация слушателей с помощью разработанных преподавателями тестовых заданий. По ряду учебных дисциплин разработаны и используются слушателями электронные учебно-методические

комплексы, которые позволяют на высоком уровне организовать самостоятельное изучение материала. Для оценки уровня подготовки слушателей привлекаются ведущие специалисты ОАО «Гродно Азот», которые включаются в составы Государственных экзаменационных комиссий. С учетом результатов итоговой аттестации слушателей прошедших обучение, а также полученной обратной связи от слушателей и администрации ОАО «Гродно Азот» БГТУ считает необходимым распространять положительный опыт организации образовательного процесса дополнительного образования руководящих работников и специалистов на других предприятиях химического комплекса Республики Беларусь.

Реализация указанных выше мероприятий позволит повысить уровень профессиональных компетенций руководящих работников и специалистов организаций химического и нефтехимического комплексов Республики Беларусь.

УДК 378.016:378.662(476)

**Пищов С.Н.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**Бабаханова З.А.**

(Ташкентский химико-технологический институт)

### **ОПЫТ БГТУ В ОРГАНИЗАЦИИ СТАЖИРОВОК ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ТАШКЕНТСКОГО ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА**

В настоящее время в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» (далее – БГТУ) проводится ряд мероприятий по организации повышения квалификации и стажировок для руководящих работников и специалистов, а также преподавателей и ученых зарубежных стран. Положительные результаты в организации дополнительного образования профессорско-преподавательского состава достигнуты с коллегами из Ташкентского химико-технологического института (Республика Узбекистан) (далее – ТХТИ).

Следует отметить, что перед профессорско-преподавательским составом БГТУ и ТХТИ поставлена задача по развитию взаимовыгодного сотрудничества в области образовательной и научно-исследовательской деятельности с целью приобретения новых знаний и практических навыков, поиска новых партнеров для реализации совместных проектов и обеспечения роста экспорта образовательных услуг. В настоящее

время БГТУ и ТХТИ реализуют ряд совместных образовательных программ подготовки специалистов на первой и второй ступенях высшего образования, а также прорабатывают вопросы налаживания и развития сотрудничества в научно-исследовательской деятельности.

С целью развития сотрудничества в настоящее время в Институте повышения квалификации и переподготовки БГТУ проводится ряд мероприятий по реализации образовательных программ стажировок преподавателей и ученых ТХТИ. Проводимая работа позволяет также распространять БГТУ данный положительный опыт при организации дополнительного образования руководящих работников и специалистов других зарубежных организаций и учреждений образования (Республика Узбекистан, Российская Федерация, Республика Казахстан, и другие страны).

Работа по организации стажировок преподавателей и ученых ТХТИ проводится в тесном сотрудничестве с отделом международного сотрудничества и другими структурными подразделениями ТХТИ, которыми оперативно решаются возникающие в ходе согласования программ и других документов вопросы. Особенностью при организации повышения квалификации и стажировок преподавателей ТХТИ является практическая направленность программ. Следует отметить, что каждая образовательная программа проходит в установленном порядке процедуру согласования с учетом требований коллег из Республики Узбекистан. Ряд программ реализуется при поддержке и финансировании Министерства инновационного развития Республики Узбекистан и фонда «Эл Юрт Умиди» Республики Узбекистан.

Повышение квалификации и стажировки преподавателей и научных сотрудников ТХТИ проходят на базе кафедр факультета химической технологии и техники, факультета технологии органических веществ, Центра физико-химических методов исследований и других структурных подразделений БГТУ. Программами стажировок предусматривается детальное изучение вопросов организации образовательного процесса подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров для организаций химического и нефтехимического комплекса. Стажеры знакомятся с учебно-программной документацией (образовательные стандарты и учебные планы), особенностями организации процесса обучения, учебно-методическим обеспечением образовательного процесса, материально-технической базой лабораторий и учебных кабинетов кафедр, что позволяет им в дальнейшем использовать полученную информацию для организации обучения студентов ТХТИ. Также в процессе прохождения стажировок коллеги из ТХТИ принимают участие в проведении лекций, практических и лабораторных занятий для студентов

БГТУ, посещают лекции ведущих преподавателей и ученых БГТУ, выступают с докладами на научно-технических и методических конференциях, проводимых в БГТУ и других учреждениях образования Республики Беларусь, совместно с преподавателями и учеными БГТУ готовят и публикуют научные статьи, тезисы и материалы конференций.

Следует отметить, что в БГТУ для качественной организации стажировок и повышения квалификации создана и постоянно обновляется материально-техническая база, ежегодно закупается современное оборудование и технические средства обучения, в том числе при поддержке организаций-заказчиков кадров, разрабатывается новое учебно-методическое обеспечение. Преподавательский состав БГТУ в процессе реализации образовательных программ использует современные методики обучения слушателей и стажеров с учетом передового отечественного и зарубежного опыта.

В результате реализации стажировок и повышения квалификации преподавателями и научными работниками ТХТИ отмечаются актуальность программ, высокий уровень подготовки преподавателей и руководителей стажировок, возможность обратной связи после окончания обучения, что позволяет положительно оценить работу, проведенную БГТУ и ТХТИ в области организации образовательных программ дополнительного образования взрослых. Также у кафедр и структурных подразделений БГТУ, на которых были проведены стажировки и повышение квалификации, появляются дополнительные возможности организации ответных визитов в ТХТИ и другие ведущие учреждения образования и научные организации Республики Узбекистан с целью изучения новых технологий и оборудования, внедрения инновационных разработок в образовательный процесс, а также повышения уровня профессиональных компетенций.

УДК 004.4

**Болвако А.К.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ  
ПРИ ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ  
ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ**

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (далее – БГТУ) является одним из ведущих университетов в области подготовки кадров с высшим образованием для

химического и нефтехимического комплексов Республики Беларусь. Так, в БГТУ осуществляется подготовка по специальностям (в соответствии с ОКРБ 11-2009) 1-48 01 01 Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий, 1-48 01 02 Химическая технология органических веществ, материалов и изделий, 1-48 01 04 Технология электрохимических производств, 1-48 02 01 Биотехнология и др. Кроме того, университетом осуществляется повышение квалификации и переподготовка руководящих работников и специалистов по ряду востребованных химическим комплексом специальностям. В связи с этим актуальным является вопрос обеспечения высокого качества образовательного процесса на всех уровнях, при этом одно из наиболее востребованных направлений совершенствования образования – применение комплекса информационно-коммуникационных технологий.

Университетом применяется широкий спектр цифровых решений для сопровождения образовательного процесса, при этом в части работы с учебно-методическими материалами важную роль играет образовательный портал, функционирующий на основе системы управления обучением. Как и в большинстве учреждений высшего образования Республики Беларусь, в качестве такой системы в БГТУ применяется веб-приложение Moodle, адаптированное для потребностей обучающихся в университете.

Рациональное применение возможностей системы управления обучением при подготовке инженеров-технологов для реализации образовательных программ разного уровня способствует повышению мотивации обучающихся к приобретению профессиональных компетенций, позволяет эффективно использовать в образовательной деятельности студентов модульно-рейтинговую систему контроля знаний, обеспечивает реализацию принципа включения результатов промежуточных аттестационных мероприятий в показатели текущей аттестации.

С целью обеспечения обучающихся необходимым учебным контентом и осуществления контрольных мероприятий кафедрами университета решаются следующие задачи: 1) разработка электронных курсов лекций; 2) создание фондов оценочных средств для организации самостоятельной работы; 3) размещение разработанных учебных материалов в системе управления обучением и оценка удовлетворенности студентов при их использовании.

При создании электронных учебных курсов преподавателями широко используется весь функционал системы Moodle. Среди наиболее употребляемых элементов – *Тест*, *Задание*, *Лекция* и *Форум*, наиболее востребованные ресурсы – *Файл*, *Гиперссылка*, *Страница*, *Книга*. Помимо этого, в электронных курсах для сопровождения образовательного

процесса используются элементы *Видеоконференция, Чат, Глоссарий* и другие. Несмотря на то, что работа с таким элементом, как *Семинар* для преподавателей сопряжена с несколько большими трудностями, их количество в электронных учебных курсах постоянно увеличивается, что способствует активному вовлечению обучающихся.

Фонд оценочных средств, включающий многоуровневые многовариантные тестовые вопросы, расчетные задачи, творческие индивидуальные и практико-ориентированные задания, формируется для каждого электронного учебного курса с целью проведения диагностики компетенций обучающихся на различных этапах освоения образовательных программ. Для формирования фонда оценочных средств создан и постоянно актуализируется банк заданий. Наиболее востребованным типом вопроса является *Множественный выбор*, на долю которого приходится подавляющее большинство вопросов в системе, значительно меньшее количество вопросов относятся к типам *Числовой ответ, На соответствие, Вычисляемый, Короткий ответ, Верно/неверно* и др. В ряде курсов применяются вопросы типов *Перетаскивание маркеров, Перетащить на изображение* и т.п., которые позволяют создать привлекательный внешний вид вопросов, формировать задания в игровой форме. Следует отметить, что недостаточно активно используются вопросы типа *Вложенный ответ (Close)*, хотя они позволяют создавать весьма интересные и функционально насыщенные задания, содержащие различные элементы.

Результаты периодически проводимых мониторингов свидетельствуют о том, что студенты высоко оценивают применяемую технологию, а также в целом уровень предоставляемых в системе управления обучением учебно-методических материалов, а также отмечают целесообразность применения данной технологии при изучении всех учебных дисциплин.

Дальнейшее развитие системы управления обучением университета направлено на обеспечение образовательного процесса в соответствии с новыми образовательными программами, создание эффективных условий для прохождения выпускниками университета государственной итоговой аттестации, создания учебной платформы для абитуриентов университета и другое.

Таким образом, к настоящему в БГТУ создана современная информационно-коммуникационная платформа для взаимодействия между преподавателями и обучающимися, что позволяет интенсифицировать самостоятельную работу студентов, обеспечить эффективный мониторинг учебной работы, а также реализовать компетентностные подходы при реализации образовательных программ при подготовке специалистов для химического и нефтехимического комплекса.

## Содержание

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ .....	III
<i>Войтов И.В.</i> ПОДГОТОВКА ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ И ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛОРУССКИМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ УНИВЕРСИТЕТОМ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА.....	III
<i>Иванец А.И.</i> ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО .....	XVII
<i>Рыбаков А.А.</i> ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО .....	XIX
<i>Лебедев С.Н.</i> ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО .....	XX
<i>Каюшников С.Н.</i> ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО .....	XXI
<i>Прушак В.Я.</i> ЗАО «СОЛИГОРСКИЙ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ С ОПЫТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ» НА ПУТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ .....	XXIII
<i>Негматов С.С., Абед Н.С., Негматова К.С.</i> РОЛЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ В НЕФТЕГАЗОВЫХ И ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН.....	XVI
СЕКЦИЯ I. ПЕРСПЕКТИВЫ, СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ.....	1
<i>Ахмедьянова Р.А., Фам Тхэ Шон, Васильева Э.А., Сандугей С., Гильмутдинов И.И., Сабирзянов А.Н.</i> МАРГАНЕЦ-ОКСИДНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ОКИСЛЕНИЯ ИЗОПЕНТАНА, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ПРОПИТКИ НОСИТЕЛЯ В СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ФЛЮИДАХ .....	1
<i>Цыганов А.Р., Панасюгин А.С., Машерова Н.П., Курило И.И., Павловский Н.Д.</i> ПАРЫ РАСТВОРИТЕЛЕЙ СЕРИИ P645 – 650 КАК ТЕСТОВЫЕ ОБЪЕКТЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СМЕСЕВЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ АДСОРБЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ .....	4
<i>Фейгин Е.С., Елисеев О.Л.</i> ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА КАРБОНИЗАЦИИ НОСИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА КАТАЛИЗАТОРА Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> СИНТЕЗА УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ СО И Н <sub>2</sub> .....	6
<i>Глазунов А.М., Мозырев А.Г.</i> РАЗРАБОТКА ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	9

<i>Южно Д.С., Ермак А.А.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НЕФТЯНОГО КОКСА В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ НА ЕГО СВОЙСТВА .....	14
<i>Бердашкевич В.В.</i> ОЦЕНКА ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ .....	17
<i>Сивцова Е.Ю., Скрипаль Н.С., Агафонов Ю.А.</i> ДЕГИДРИРОВАНИЕ НИЗШИХ АЛКАНОВ НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОКСИДНО-ХРОМОВЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ .....	18
<i>Жагфаров Ф.Г., Гайдукова Д.Д.</i> ПРИМЕНЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ ДИСТИЛЛЯЦИИ В ПРОЦЕССЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОЛУЧЕНИЯ МТБЭ .....	22
<i>Орлов А.А., Жагфаров Ф.Г.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АМИНОВОЙ ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА .....	26
<i>Жолнеркевич В.И., Грушова Е.И., Кротова О.А., Богданович Д.А., Горациук Ю.А.</i> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОМ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАСЕЛ.....	29
<i>Жагфаров Ф.Г., Аршинов И.С.</i> СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПУТИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАНА.....	31
<i>Гайле А.А., Ахмад М., Камешков А.В.</i> СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ТЯЖЕЛОГО ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ И ГАЗОЙЛЯ ЗАМЕДЛЕННОГО КОКСОВАНИЯ .....	35
<i>Суханов О.И.</i> СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПИРОЛИЗА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ. МОДЕЛИРОВАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ПИРОЛИЗА ТБО. АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУЧЕННЫХ ПРОДУКТОВ .....	39
<i>Кириченко О.С.</i> ЭТАНОСОДЕРЖАЩИЙ ГАЗ И ГАЗОХИМИЯ РОССИИ.....	42
<i>Трусов К.И., Осипенок Е.М., Юсевич А.И., Войтов И.В.</i> ВЛИЯНИЕ ГИДРОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТЯЖЕЛОЙ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА НА СОСТАВ И СВОЙСТВА НЕФТЕПОЛИМЕРНОЙ СМОЛЫ .....	46
<i>Трусов К.И., Осипенок Е.М., Юсевич А.И., Войтов И.В.</i> ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НАФТАЛИНА ПУТЕМ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТЯЖЕЛОЙ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА.....	50

<i>Laya Zarei-Gharehbaba, Reza Najjar, Oleg Dormeshkin</i> PREPARATION OF STABLE GASOIL/SUNFLOWER OIL FUEL MICROEMULSIONS BY USING IONIC LIQUID BASED SURFACTANTS AND INVESTIGATION OF THEIR EMISSION AND ENGINE PERFORMANCE.....	54
<i>Laya Zarei-Gharehbaba, Reza Najjar, Konstantsin Vishneuski</i> USING ALKYL IMIDAZOLIUM BASED IONIC LIQUIDS AS SUR- FACTANTS TO PREPARE MICROEMULSION OF GASOIL/VE- GETABLE OIL .....	57
<i>Бышик А.А., Дормешкин О.Б., Гаврилюк А.Н., Мохорт М.С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКЦИ- ОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ФОСФОРИТОВ МА- РОККО РАЗЛИЧНЫХ МАРОК.....	60
<i>Мохорт М.С., Дормешкин О.Б., Гаврилюк А.Н., Бышик А.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБЕСФТОРИВАНИЯ ЭКС- ТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ .....	64
<i>Мамедов Б.М., Аманов М.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЯЖЕЛОГО ГАЗОЙЛЯ И ЩЕЛОЧНЫХ ОТХОДОВ УСТАНОВОК НЕФТЕ- ПЕРЕРАБОТКИ В БУРОВЫХ РАСТВОРАХ.....	69
<i>Курмашов П.Б., Попов М.В., Баннов А.Г., Вишневский К.В.</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОССТАНОВИ- ТЕЛЯ ДЛЯ СИНТЕЗА КАТАЛИЗАТОРА ПЕРЕРАБОТКИ ЛЕГ- КИХ УГЛЕВОДОРОДОВ .....	72
СЕКЦИЯ II. ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕР- СПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОД- СТВА ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ.....	76
<i>Чикунская В.М., Щербина Л.А., Будкуте И.А., Устинов К.Ю., Бондаренко В.А.</i> О ПОЛУЧЕНИИ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩЕ- ГО СОПОЛИМЕРА АКРИЛОНИТРИЛА, МЕТИЛАКРИЛАТА И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ В АПРО- ТОН-НЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ .....	76
<i>Трубкина М.В., Руденок Я.Ю., Щербина Л.А., Будкуте И.А., Устинов К.Ю., Короткий А.Н.</i> СВОЙСТВА ПРЯДИЛЬНЫХ РАС- ТВОРОВ И ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ТЕРСОПОЛИМЕРОВ АК- РИЛОНИТРИЛА, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В ПРИСУТСТВИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА .....	80

<i>Шабловская В.В., Щербина Л.А. Будкуте И.А. Устинов К.Ю., Бондаренко В.А. ГОМОФАЗНЫЙ СИНТЕЗ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩИХ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛОНИТРИЛА В ПРИСУТСТВИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ МОДИФИКАТОРОВ</i> .....	84
<i>Гапанькова Е.И., Латышев И.А. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ХРАНЕНИЯ НА СВОЙСТВА ПРЕПРЕГОВ</i> .....	88
<i>Хапти Вако Б. Ж., Шрубок А. О. ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПЭТ-ОТХОДОВ В ПОЛИМЕРНЫЕ ПОРОШКИ</i> .....	91
<i>Рагожкин Н.С., Валько Н.Г., Касперович А.В., Боброва В.В. ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И ПЛОТНОСТЬ РЕЗИН</i> .....	94
<i>Богдевич Д.И., Валько Н.Г. ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АКРИЛОВЫХ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ</i> .....	96
<i>Поспелов А.В., Касач А.А., Куницкая В.И., Курило И.И., Цыганов А.Р. ЗАЩИТНЫЕ БИОРЕЗОРБИРУЕМЫЕ ПОКРЫТИЯ НА СПЛАВЕ МАГНИЯ WE43 НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА</i> .....	98
<i>Карманова О.В., Ронжин А.В., Голякевич А.А., Тихомиров С.Г., Лешкевич А.В. РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОМПЛЕКСНЫХ АКТИВАТОРОВ ВУЛКАНИЗАЦИИ КАУЧУКОВ</i> .....	101
<i>Прокопчук Н.Р., Ленартович Л.А., Вишневская Т.А., Асташкевич Е.В., Можейко Ю.М. УСТОЙЧИВОСТЬ К ГОРЕНИЮ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА</i> .....	103
<i>Вишневский К.В., Войтов И.В., Каюшников С.Н., Люштык А.Ю. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ШИН – СОВМЕСТНАЯ РАБОТА НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА</i> .....	106
<i>Люштык А.Ю., Каюшников С.Н., Перфильева С.А. Шашок Ж.С., Усс Е.П., Кротова О.А., Лешкевич А.В. ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВУЛКАНИЗАЦИИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМ КРЕМНЕКИСЛОТНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ</i> .....	108
<i>Калейник А.С., Вишневский К.В. ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА РЕЗИН НА ОСНОВЕ СИЛОКСАНОВОГО КАУЧУКА</i> .....	111

<i>Климович Д.А., Городнякова И.С., Щербина Л.А., Устинов К.Ю., Бритов А.М.</i> СВОЙСТВА ПРЯДИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ И ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ТЕРСОПОЛИМЕРОВ АКРИЛОНИТРИЛА, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В ПРИСУТСТВИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ .....	113
<i>Негматов С.С., Абед Н.С., Негматова К.С., Икрамова М.Э., Бозорбоев Ш.А., Султонов С.У., Тожибоев Б., Икрамов Н.А., Рахимов Ш.Э., Улмасов А.А.</i> О РАЗРАБОТКЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ И РЕМОНТА ТРУБОПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ОТ КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ.....	117
<i>Негматова К.С., Икрамова М.Э. Негматова М.Н., Расулова Ш.Н., Набиева И.А., Негматов С.С., Абед Н.С., Бабаджанова М.А., Лапасова Ф.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ КРАСИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СОЛЕЙ ПОЛИВАЛЕНТНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	121
<i>Струк В.А., Антонов А.С., Авдейчик С.В., Гольдаде В.А., Прокочук Н.Р.</i> МЕТОДОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТОВ .....	125
<i>Хасанова А.Д., Вольфсон С.И., Казаков Ю.М., Хусаинов А.Д., Куликов А.А., Усс Е.П.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИМЕРОВ НА СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ВУЛКАНИЗАТА НА ИХ ОСНОВЕ .....	129
<i>Муртазина Л.И., Галимзянова Р.Ю., Хакимуллин Ю.Н., Лешкевич А.В.</i> ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УРЕТАНОВЫХ ФОРПОЛИМЕРОВ С КОНЦЕВЫМИ ИЗОЦИАНАТНЫМИ ГРУППАМИ НА СВОЙСТВА ГЕРМЕТИКОВ НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНДИЕНОВОГО КАУЧУКА.....	134
<i>Горбачев А.В., Файзуллин И.З., Вольфсон С.И., Казаков Ю.М., Петрушеня А.Ф.</i> РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА И МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ.....	137
<i>Сиразетдинов А.В., Хисамиева Д.Р., Галимзянова Р.Ю., Никифоров А.А., Хакимуллин Ю.Н., Вольфсон С.И., Казаков Ю.М. Касперович О.М.</i> ВЛИЯНИЕ СОРБИТА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ КРАХМАЛА.....	141

<i>Панфилова О. А., Мухаметханов И. И., Охотина Н. А., Вольфсон С. И., Казаков Ю.М., Шашок Ж.С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ШИННОГО РЕГЕНЕРАТА ПРОИЗВОДСТВА ООО «БОНУС-КАМА» В РЕЦЕПТУРАХ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	143
<i>Охотина Н.А., Панфилова О.А., Назипов И.И., Долинская Р.М.</i> ВЛИЯНИЕ ТИПА ПОЛИОЛЕФИНА НА СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕНСТИРОЛЬНОГО И БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКОВ.....	146
<i>Лапекин Н.И., Ануфриева Т.В., Литвинова В.И., Баннов А.Г., Вишневская Т.А.</i> ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НАНОВОЛОКНИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	150
<i>Боброва В.В., Прокопчук Н.Р., Касперович А.В.Ефремов С.А., Нечипуренко С.В.</i> ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛЕРОД-КРЕМНИСТОГО КОМПОЗИТА В РЕЗИНОВЫХ СМЕСЯХ	151
<i>Боброва В.В., Касперович А.В., Тихомиров С.Г., Карманова О.В.</i> УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ УСКОРЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ.....	154
<i>Боброва В.В., Прокопчук Н.Р., Касперович А.В., Ефремов С.А., Нечипуренко С.В.</i> ПЛАСТОЭЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИН, НАПОЛНЕННЫХ УГЛЕРОД-КРЕМНИСТЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ.....	155
<i>Музафарова Х.А., Мухамедов Г.В., Эшпулатова М.К. Касперович А.В.</i> КИНЕТИКА ДЕВУЛКАНИЗАЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА МАТЕРИАЛА. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ	158
<i>Прокопчук Н.Р., Прищепенко Д.В.</i> ПОЛУЧЕНИЕ НАНОВОЛОКОН ХИТОЗАНА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ .....	159
СЕКЦИЯ III. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ.....	162
<i>Цыганов А.Р., Якубовский А.С., Панасюгин А.С.</i> ОЧИСТКА ЕМКОВ ХРАНЕНИЯ ОДОРАНТОВ И ИХ УТИЛИЗАЦИЯ ПРИ ПОТЕРЕ ИМИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ НА МОБИЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ .....	162
<i>Залыгина О.С., Чепрасова В.И., Антоник У.Д., Грицкевич А.А.</i> ПОЛУЧЕНИЕ КОАГУЛЯНТОВ ИЗ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	168

<i>Ансарова Айнур Г.</i> МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКИ АРАЗ .....	172
<i>Маркевич Р.М., Мархотко К.Ф., Романова Л.В.</i> БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ .....	177
<i>Дернович А.В., Вишневский К.В.</i> К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГУЗА-ПАИ. УСАДКА ГУЗА-ПАИ В ПРОЦЕССЕ ПРОВЕДЕНИЯ ДВУХ СТУПЕНЧАТОГО КИСЛОТНОГО ГИДРОЛИЗА .....	180
<i>Хурсанов А.Х., Негматов С.С., Негматова К.С., Абед Н.С., Икрамова М.Э., Негматов Ж.Н., Рахимов Х.Ю., Бозоров А.Н., Раупова Д.Н.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ФЛОТОРЕАГЕНТОВ-ВСПЕНИВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ, ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИИ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД .....	185
<i>Сороко О.Л., Беспалова Е.В., Пинчук Г.П., Бареко Э.А., Галактионова Н.В.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕВРАЩЕНИЯ ОТХОДОВ В ДОХОДЫ .....	189
<i>Левицкий И.А., Голуб А.О., Кучерова Д.В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ КАТАЛИЗАТОРОВ СИНТЕЗА МОНОМЕРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦВЕТНЫХ ГЛАЗУРЕЙ .....	196
<i>Азимова Ш.А.</i> СМАЗКИ НА ОСНОВЕ БАЗОВЫХ И ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ .....	199
<i>Лихачева А.В.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ИЗБЫТОЧНЫМ АКТИВНЫМ ИЛОМ НА ОАО «ЛАКОКРАСКА» .....	202
 СЕКЦИЯ IV. АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННОЙ АППАРАТУРЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....	
<i>Павлечко В.Н., Францкевич В.С., Шалухо Ю.И.</i> УТИЛИЗАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ВТОРОЙ СТУПЕНИ ВОЗДУШНОГО КОМПРЕССОРА .....	206
<i>Высоцкая Н.А.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НРК-УДОБРЕНИЙ В ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ» .....	209
<i>Волчек О.М.</i> ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТАНОВОК ГРАНУЛИРОВАНИЯ ГАЛУРГИЧЕСКОГО ХЛОРИСТОГО КАЛИЯ .....	214

<i>Мытько Д.Ю., Вайтехович П.Е.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ОТНОСИТЕЛЬНОГО БРЫЗГОУНОСА В МАССООБМЕННОЙ КОЛОННЕ С РЕГУЛЯРНО-СТРУКТУРИРОВАННОЙ НАСАДКОЙ .....	217
<i>Левданский А.Э., Мороз И.А., Калишук Д.Г., Саевич Н.П., Ковалева А.А., Федарович Е.Г., Опимах Е.В.</i> КОНЦЕПЦИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН УСТАНОВКИ РЕГЕНЕРАЦИИ ПРОДУКТОВ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИСУЛЬФОНОВОГО ВОЛОКНА.....	222
<i>Гомалинский В.А, Боровский Д.Н., Семенов Д.В.</i> АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ ЗАГРУЗКИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ .....	226
<i>Ланкин Р.И., Францкевич В.С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ РЕШЕТОК В НАСАДОЧНОМ МАССООБМЕННОМ АППАРАТЕ .....	230
<i>Левданский И.А., Ковалева А.А., Кулевец П.С., Левданский А.Э.</i> РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОЙ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧЕГО НЕПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА ЧЕРЕЗ ВЕЛИЧИНУ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ.....	234
<i>Петров О.А., Козловский В.И., Боровский Д.Н.</i> РАЗРАБОТКА СТАТИЧЕСКОГО СУПЕРКАВИТАТОРА С МИНИМАЛЬНОЙ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИЕЙ .....	238
<i>Анкуда М.А., Оробей И.О., Сарока В.В., Олиферович Н.М.</i> МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МАССОПЕРЕНОСА ЖИДКИХ СРЕД НА ЯМР .....	242
<i>Анкуда М.А., Оробей И.О., Сарока В.В., Олиферович Н.М.</i> АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЕТОЧНЫХ ЯМР-РАСХОДОМЕРОВ .....	245
<i>Францкевич В.С., Боровский Д.Н., Козловский В.И.</i> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В БАРАБАННОЙ СУШИЛКЕ.....	249
<i>Гринюк Д.А., Олиферович Н.М., Оробей И.О., Михновец А.С.</i> ВЛИЯНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА НА ДИНАМИКУ КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ .....	253
<i>Гринюк Д.А., Олиферович Н.М., Сухорукова И.Г., Карпук П.О.</i> ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ КВАНТОВАНИЯ НА ПРОЦЕСС РЕГУЛИРОВАНИЯ .....	257
<i>Кузьмин В.В.</i> ВЫБОР ТИПА ЦИКЛОНА ИСХОДЯ ИЗ ТРЕБОВАНИЯ МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ОЧИСТКУ ГАЗА .....	262

<i>Воробьёва А.Е., Шестаков А.А., Баннов А.Г.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА .....	264
СЕКЦИЯ V. ПОДГОТОВКА И ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ НА ВСЕХ СТУПЕНЯХ ДИПЛОМНОГО И ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	268
<i>Пищов С.Н., Цыганов А.Р.</i> ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ВЗРОСЛЫХ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ, РЕАЛИЗУЕМЫЕ В БГТУ .....	268
<i>Сакович А.А. Горжанов В.В.</i> СПЕЦИАЛЬНОСТИ ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ СТУПЕНЕЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ .....	270
<i>Шрубок А. О., Грушова Е.И., Юсевич А.И.</i> КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.....	275
<i>Коваленко Н.А., Богдан Е.О., Болвако А.К.</i> ОПЫТ КАФЕДРЫ ФИЗИЧЕСКОЙ, КОЛЛОИДНОЙ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ В ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕПОДГОТОВКИ РУКОВОДЯЩИХ РАБОТНИКОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ .....	277
<i>Войтов И.В., Пищов С.Н., Гаврилюк А.Н.</i> ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕПОДГОТОВКИ РУКОВОДЯЩИХ РАБОТНИКОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ ОАО «ГРОДНО АЗОТ» .....	280
<i>Пищов С.Н., Бабаханова З.А.</i> ОПЫТ БГТУ В ОРГАНИЗАЦИИ СТАЖИРОВОК ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ТАШКЕНТСКОГО ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА .....	282
<i>Болвако А.К.</i> ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ ПРИ ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ .....	284

Научное издание

# НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2022

Материалы

V Международного научно-технического  
и инвестиционного форума  
по химическим технологиям  
и нефтегазопереработке

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *К. В. Вишневский*

Компьютерная верстка:

*Е. В. Ильченко, В. А. Маркушевская, Е. А. Матейко*

Дизайн обложки *П. П. Падалец*

Подписано в печать 01.11.2022. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.

Усл. печ. л. 18,6. Уч.-изд. л. 18,82.

Тираж 100 экз. Заказ 331.

Издатель и полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,

изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/227 от 20.03.2014.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.