



НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2023

МАТЕРИАЛЫ

VI Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке

1–3 ноября 2023 г.
Минск, Республика Беларусь



PETROGASCHEMISTRY – 2023

PROCEEDINGS

VI International Scientific and Technical Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Processing

November 1–3, 2023
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 – 2023

МАТЕРИАЛЫ

VI Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке

1–3 ноября 2023 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;
Э.Т. Крутько, профессор, д-р техн. наук;
В.Н. Марицель, профессор, канд. техн. наук;
Ж.С. Шашок, профессор, д-р техн. наук;
А.И. Юсевич, канд. хим. наук, доцент;
Д.В. Куземкин зав. кафедрой НГПиНХ, канд. техн. наук;
А.В. Касперович, зав. кафедрой ПКМ, доцент, канд. техн. наук;
В.С. Францкевич, зав. кафедрой МиАХиСП, канд. техн. наук, доцент;
К.В. Вишневский, директор РНПЦ НХТиП, доцент, канд. техн. наук;
А.В. Дернович, зам. директора РНПЦ НХТиП;
П.С. Гребенчук, доцент, канд. техн. наук

НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2023 : материалы VI Междунар. науч.-техн. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 1–3 ноября 2023 г. – Минск : БГТУ, 2023. – 332 с. ISBN 978-985-897-151-9.

Сборник составлен по материалам докладов VI Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2023».

В представленных докладах отражены основные тенденции развития нефтехимии, нефте- и газопереработки в мире и Республике Беларусь, вопросы, касающиеся актуальных задач предприятий концерна «Белнефтехим», изложены научные достижения в области технологий химических и нефтехимических производств, разработки и применения новых композиционных материалов, изучения и внедрения перспективных технологий и оборудования. Освещены экологические проблемы химических и нефтехимических производств и пути их решения, а также вопросы подготовки кадров и применения современных цифровых технологий.

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

ISBN 978-985-897-151-9

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2023

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР



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 VI Международном научно-техническом форуме по химическим технологиям и по нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2023» и поблагодарить за участие.

Белорусский государственный технологический университет (далее БГТУ) является учреждением образования с более чем 90-летней историей и занимает ведущие позиции в образовательной и научной сферах. На сегодняшний день это уникальный, динамично развивающийся инновационный и научный центр. Университет имеет высокий международный авторитет, сертифицировал свою систему менеджмента качества (СМК) в национальной и немецкой системе аккредитации DGA. Уверенно реализуется программа «Университет 3.0», при которой сочетаются образование, наука инновации и практико-ориентированная подготовка кадров. (Слайд 1)

Слайд 1



Подготовка кадров в БГТУ для химической отрасли и научно-техническое сотрудничество с предприятиями концерна «Белнефтехим»

Войтов И.В.

НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2023

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) (слайд 2).

Слайд 2



28 филиалов кафедр на предприятиях и в организациях республики, в том числе филиалы кафедр с предприятиями концерна Белнефтехим:

- филиал кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии на базе ОАО «ГродноАзот»;
- филиал кафедры технологии стекла и керамики на базе ОАО «Полоцк-Стекловолокно»;
- филиал кафедры машин и аппаратов химических и силикатных производств на базе ОАО «Крион»;
- филиал кафедры полимерных композиционных материалов на базе ОАО «Белизна».

Слайд 3



Подготовка специалистов в БГТУ осуществляется по 33 специальностям (30 + 3) общего высшего образования (бакалавриат) и 3 специальности специального высшего образования (непрерывные образовательные программы), 23 специальности специальности углубленного высшего образования (магистратура), по 26 специальностям послевузовского образования, 20 специальностям среднего специального образования, 10 специальностям профессионально-технического образования, 16 специальностям переподготовки руководящих работников и специалистов, имеющих высшее образование.

Для обеспечения подготовки высококвалифицированных кадров для нефтехимического комплекса в БГТУ успешно функционирует специализированная кафедра «Нефтегазопереработка и нефтехимия», которая за последние 5 лет подготовила 312 специалистов, более 60 % которых были трудоустроены на предприятия концерна Белнефтехим.

БГТУ планомерно реализует планы по подготовке инженерных кадров по новой для Республики Беларусь специальности «Промышленная водоподготовка и водоочистка», которая обеспечивает подготовку инженеров-химиков-технологов.

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

Подготовка специалистов первой ступени образования для предприятий нефтегазохимического комплекса Республики Беларусь ведется по следующим специальностям (слайд 4):

Слайд 4



БГТУ ведет подготовку специалистов первой ступени образования для предприятий нефтегазохимического комплекса РБ по следующим специальностям:

- ✓ Переработка нефти и газа и промышленный органический синтез;
- ✓ Технология и переработка биополимеров;
- ✓ Физико-химические методы и приборы контроля качества продукции;
- ✓ Производство и переработка полимерных материалов;
- ✓ Производство изделий из композиционных материалов;
- ✓ Производство изделий на основе трехмерных технологий;
- ✓ Автоматизация технологических процессов и производств;
- ✓ Технология неорганических веществ;
- ✓ Технологические машины и оборудование;
- ✓ Технология стекла, керамики и вяжущих материалов;
- ✓ Экономика и управление;
- ✓ Менеджмент;
- ✓ Маркетинг;
- ✓ Промышленные и коммунальные системы водоподготовки и водоочистки;
- ✓ Инженерная экология.

4

- ✓ Переработка нефти и газа и промышленный органический синтез;
- ✓ Технология и переработка биополимеров;

- ✓ *Физико-химические методы и приборы контроля качества продукции;*
- ✓ *Производство и переработка полимерных материалов;*
- ✓ *Производство изделий из композиционных материалов;*
- ✓ *Производство изделий на основе трехмерных технологий;*
- ✓ *Автоматизация технологических процессов и производств;*
- ✓ *Технология неорганических веществ;*
- ✓ *Технологические машины и оборудование;*
- ✓ *Технология стекла, керамики и вяжущих материалов;*
- ✓ *Экономика и управление;*
- ✓ *Менеджмент;*
- ✓ *Маркетинг;*
- ✓ *Промышленные и коммунальные системы водоподготовки и водоочистки;*
- ✓ *Инженерная экология.*

БГТУ ведет переподготовку специалистов предприятий нефтегазохимического комплекса Республики Беларусь по следующим специальностям (слайд 5):

Слайд 5



БГТУ ведет переподготовку специалистов предприятий нефтегазохимического комплекса Республики Беларусь 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».

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



5

«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».

Подготовка и переподготовка кадров ведется на специализированных кафедрах, таких как:

- Кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии;
- Кафедра физико-химических методов и обеспечения качества;
- Кафедра полимерных композиционных материалов;
- Кафедра механики и конструирования;
- Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники;
- Кафедра технологии стекла и керамики;
- Кафедра экономики и управления на предприятиях;
- Кафедра менеджмента, технологий бизнеса и устойчивого развития;
- Кафедра экономической теории и маркетинга;
- Кафедра промышленной экологии;
- Кафедра химической переработки древесины.

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» другие). В 2021 году 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 являлось то, что в значительном объеме обучение было организовано ведущими преподавателями БГТУ на базе отдела подготовки кадров ОАО «Гродно Азот».

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

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 (слайд 6).

Слайд 6



В настоящий момент между БГТУ и зарубежными образовательными и научными организациями действуют 193 договора о сотрудничестве, 26 из них были заключены в течение 2022/2023 учебного года. За указанный период нашими партнерами стали:

- Институт тропических технологий Вьетнамской академии наук и технологий (Вьетнам);
- Целый ряд учебных и научных организаций Республики Зимбабве (Государственный университет Лупане, Мидлендский государственный университет; Национальный университет науки и технологий; Открытый университет Зимбабве; Технологический университет Хараре; Технологический университет Чинхойи; Университет Зимбабве;
- Технологический университет нефти (Иран);
- Учебные и научные организации КНР: Гуандунский профессионально-технический колледж коммуникаций; Гуандунский профессионально-технический колледж легкой промышленности; Гуандунский профессиональный колледж промышленности и торговли Наньхуа; Дзяньский политехнический университет; Институт прикладных технологий Сучжоуского университета; Профессионально-технический институт г. Шанжао; Профессиональный университет Цзянси; Университет Учан Шоуи; Цзянский технологический педагогический университет;

– Ряд университетов РФ: Кубанский государственный университет; Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого; Российский государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева; Санкт-Петербургский государственный экономический университет; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;

– и стран СНГ : Таджикский государственный университет коммерции (Таджикистан); Таджикский государственный университет права, бизнеса и политики (Таджикистан); Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хоразми (Узбекистан).

Для повышения эффективности научных исследований и качества подготовки инженерных кадров, а также рационального использования дорогостоящего и уникального оборудования в Университет создан и развивает отраслевые лаборатории. В Университете для их слаженного функционирования и обеспечения научно-технического сопровождения развития предприятий был создан Республиканский научно-практический центр нефтехимических технологий и производств (РНПЦ) в 2020 г.

В состав центра входят отделы, научные и отраслевые лаборатории. Кроме того, РНПЦ тесно сотрудничает с кафедрами университета и центром физико-химических методов исследования, это позволяет повысить эффективность научной работы на базе БГТУ (слайд 7).

Слайд 7



Отраслевые и научные лаборатории в структуре Республиканского научно-практического центра нефтехимических технологий и производств

Научные:

1. Лаборатория нефтегазопереработки и нефтехимического синтеза;
2. Лаборатория композитов, волокон и тканей, нанотехнологий в нефтехимическом комплексе;
3. Лаборатория промышленной экологии, энергоэффективности и промбезопасности;
4. Лаборатория лакокрасочных материалов и покрытий;
5. Лаборатория рециклинга и циклической экономики

Отраслевые лаборатории:

1. Отраслевая лаборатория шинной промышленности;
2. Отраслевая лаборатория «Инжиниринговый центр по апробации наноматериалов в нефтехимическом и промышленном комплексе»;
3. Отраслевая лаборатория стекла и волокнистых материалов;
4. Отраслевая лаборатория по переработке фосфатного сырья.

7

Общее количество функционирующих на базе БГТУ отраслевых лабораторий – 8, 4 отраслевые лаборатории, входящие в структуру РНПЦ, работают в интересах предприятий Концерна Белнефтехим.


Высокую эффективность работы показывают отраслевые лаборатории, работа которых организована прямо на базе предприятий, в частности, на ОАО «Полоцкстекловолокно» (слайд 8) и ОАО «Белизна» (слайд 9).

Общий объем финансирования РНПЦ по хозяйственным договорам, выполненным совместно с учеными кафедр, ежегодно составляет от 300 до 600 тыс. руб.

Слайд 8



ОТРАСЛЕВАЯ ЛАБОРАТОРИЯ СТЕКЛА И
ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ



Проводимые научно-исследовательские работы:

- ✓ проведение химического анализа сырья и материалов в производстве стекловолокна;
- ✓ проведение испытаний отходов камнедробления гранитоидных пород для изготовления минерального непрерывного волокна;
- ✓ разработка светоотражающих красок, наполненных стеклошариками.

9

Отраслевая лаборатория стекла и волокнистых материалов успешно сотрудничает с ОАО «Полоцкстекловолокно» и справляется с возложенными на нее задачами по повышению результативности выполнения 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 на ОАО «Полоцк-стекловолокно», в интересах которого в настоящий момент выполняются следующие научно-исследовательские работы:

- проведение химического анализа сырья и материалов в производстве стекловолокна;
- проведение испытаний отходов камнедробления гранитоидных пород для изготовления минерального непрерывного волокна;
- разработка светоотражающих красок, наполненных стеклошариками.

В дальнейших планах лаборатории:

- развитие материально-технической базы;
- разработка нормативной базы с целью использования композитов на основе стекловолокна в строительной отрасли.
- дальнейшее сотрудничество с предприятием с целью повышения качества готовой продукции и разработка новых видов изделий.



ОТРАСЛЕВАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ШИННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Слайд 9



Проводимые научно-исследовательские работы:

- ✓ исследование рецептурно-технологических параметров производства диафрагм и выдача рекомендаций по их улучшению;
- ✓ разработка технологии изготовления эластомерных композиций для протектора и брекера легковых шин с повышенными эксплуатационными характеристиками;
- ✓ анализ элементного состава и структуры поверхности армирующих материалов для установления влияния их природы на монолитность резинокордных систем;
- ✓ влияние состава и технологических параметров процесса переработки резиновых смесей на конфекционные свойства полуфабрикатов;
- ✓ разработка рецептурно-технологических приемов повышения технических свойств герметизирующего слоя бескамерных шин;
- ✓ сравнительное исследование гистерезисных и динамических характеристик отечественных шин и их аналогов иностранного производства.

БЕЛШИНА

9

Отраслевая лаборатория шинной промышленности, которая является совместным проектом БГТУ и ОАО «Белишина» функционирует, в том числе, на базе предприятия и на постоянной основе обеспечивает проведение испытаний по омологации новых марок и типов сырья, разработку новых рецептур и технологии получения полуфабрикатов, а также научное сопровождение существующих технологических процессов.

В настоящее время выполняется целый ряд проектов:

– научное сопровождение мероприятий по модернизации действующих технологических процессов при производстве шин и разработке научно-практических рекомендаций по использованию новых видов сырья или корректировке технологических режимов;

– исследование влияния волоконсодержащих композитов на эксплуатационные показатели протекторных резин для СКГ шин;

– определение необходимых физико-химических характеристик новых ингредиентов шинных резиновых смесей с целью установления влияния их качественных характеристик на свойства эластомерных композиций;

– исследование рецептурно-технологических параметров производства диафрагм и выдача рекомендаций по их улучшению;

– разработка технологии изготовления эластомерных композиций для протектора и брекера легковых шин с повышенными эксплуатационными характеристиками;

– анализ элементного состава и структуры поверхности армирующих материалов для установления влияния их природы на монолитность резинокордных систем;

– влияние состава и технологических параметров процесса переработки резиновых смесей на конфекционные свойства полуфабрикатов;

– разработка рецептурно-технологических приемов повышения технических свойств герметизирующего слоя бескамерных шин;

– сравнительное исследование гистерезисных и динамических характеристик отечественных шин и их аналогов иностранного производства.

Отраслевая лаборатория по переработке фосфатного сырья (слайд 10) для базового предприятия ОАО «Гомельский химический завод» в последние годы выполнила целый ряд научно-исследовательских работ, среди которых:

– исследование солевого и минералогического состава новых видов фосфатного сырья, планируемого к переработке на ОАО «Гомельский химический завод»»;

– разработаны исходные данные для реконструкции цеха сложно-смешанных удобрений ОАО «Гомельский химический завод», в результате которой существенно увеличится мощность производства и расширится ассортимент выпускаемых минеральных удобрений;

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

Учеными университета выполнен цикл исследований по изучению эффективности составов органоминеральных удобрительных композиций на различных тест-культурах микроорганизмов, оценки их влияния на микробиологический профиль различных типов почв и разработка оптимальных составов комплексных органоминеральных удобрений. Принципиальным отличием исследований, проводимых в БГТУ явилось совмещение процессов механохимической и микробиологической активации, а также активизация деятельности аборигенной микробиоты путем добавления органического компонента в составе вносимых удобрений.

Слайд 10



НАУЧНАЯ ОТРАСЛЕВАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ

Проводимые научно-исследовательские работы:

- исследование солевого и минералогического состава новых видов фосфатного сырья, планируемого к переработке на ОАО «Гомельский химический завод»;
- разработаны исходные данные для реконструкции цеха сложно-смешанных удобрений ОАО «Гомельский химический завод», в результате которой существенно увеличится мощность производства и расширится ассортимент выпускаемых минеральных удобрений;
- в рамках реализации государственной научно-технической программы учеными университета разрабатывается новая технология очистки экстракционной фосфорной кислоты ОАО «Гомельский химический завод» с получением кормовых фосфатов



10

Также лаборатория сотрудничала с ОАО «ГродноАзот» и проводила исследования телеметрических показателей и технологического режима работы колонны синтеза карбамида цеха карбамид 3-й очереди.

Дальнейшие планы работы лаборатории включают в себя:

– проведение исследований изменения физико-химических свойств мелкокристаллического калия хлористого галургического при производстве, хранении и транспортировке. Разработку рекомендаций, гарантирующие сохранение качества продукции у потребителя для ОАО «Беларуськалий»;

– будут продолжены работы по исследованию особенностей распределения ионогенных и гетерогенных примесей в системе $\text{CaSO}_4\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$ при получении ортофосфорной кислоты на основе различных видов фосфатного сырья, изучение химических и физико-химических способов ее очистки с получением кормовых фосфатов и технических солей.

Лакокрасочные материалы и покрытия – одно из активно развивающихся направлений научной деятельности РНПЦ НХТнП и БГТУ в целом.

Отраслевая лаборатория «Инжиниринговый центр по апробации наноматериалов в нефтехимическом и промышленном комплексах» (слайд 11). На базе которой, помимо прочего, проводятся исследования в направлении лакокрасочных материалов и покрытий:

- антикоррозионные лакокрасочные материалы;
- биозащитные лакокрасочные материалы;
- оценка долговечности лакокрасочных покрытий в агрессивных средах;
- синтез пленкообразователей на водной и органической основе.

Слайд 11

**ОТРАСЛЕВАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
«ИНЖИНИРИНГОВЫЙ ЦЕНТР ПО АПРОБАЦИИ
НАНОМАТЕРИАЛОВ В НЕФТЕХИМИЧЕСКОМ И
ПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСАХ»**



На базе лаборатории проводятся исследования в направлении лакокрасочных материалов и покрытий:

- антикоррозионные лакокрасочные материалы;
- биозащитные лакокрасочные материалы;
- оценка долговечности лакокрасочных покрытий в агрессивных средах;
- синтез пленкообразователей на водной и органической основе

В 2023–2025 гг. планируется продолжать работы по проектам ГПНИ на 2021–2025 гг.:

- Разработка научных основ и технологий наномодификации на различных этапах получения полиэфирных и полиакрилонитрильных волокнистых материалов с целью улучшения их эксплуатационных свойств;
- Обоснование и экспериментальное подтверждение целесообразности применения в модельных составах полифункционального продукта переработки основной живицы, обеспечивающего усиленное физическое взаимодействие между компонентами композиции по сравнению с известными модельными составами. Установление корреляции: природа полифункционального лесохимического продукта, его содержание в композиции – основные эксплуатационные свойства модельных составов.



11

К настоящему времени университетом реализованы крупные научные проекты с ОАО «Лакокраска» (г. Лида) в рамках задания

ГНТП «Химические технологии и производства» по подпрограммам «Научно-техническое обеспечение нефтяной и химической промышленности» и «Малотоннажная химия», в результате которых разработаны и по настоящее время выпускаются грунтовка ускоренной сушки «Фастпрайм» и эмаль ускоренной сушки «Фасткоут».

Отраслевая лаборатория «Инжиниринговый центр по апробации наноматериалов в нефтехимическом и промышленном комплексах» проводит перспективные работы:

– по разработке научных основ и технологий наномодификации на различных этапах получения полиэфирных волокнистых материалов с целью улучшения их эксплуатационных свойств. В ходе выполнения работы установлено влияние наночастиц оксидов металлов на свойства ПЭТ. Выявлено замедление горения и упрочнение мононитей. Полученные результаты свидетельствуют об изменении продолжительности горения образцов после извлечения из пламени в зависимости от концентрации добавок. Наномодификация ПЭТ переводит его из категории средней воспламеняемости в категорию трудной воспламеняемости. Также наблюдается упрочнение ПЭТ наночастицами TiO_2 , введенными в сверхмалых количествах до 0,015 мас.%, это позволяет улучшить важнейшие эксплуатационные свойства ПЭТ нитей без существенного увеличения их стоимости.

– по разработке модельных составов, модифицированных суспензиями наноалмазных частиц, характеризующиеся повышенной температурой размягчения (на 12–13°C) и температурой каплепадения по Уббеде (на 9–10°C), пониженной технологической линейной усадкой (с 0,8 до 0,35%) при свободной заливке. Использование разработанных модельных составов обеспечит возможность их многократного использования при производстве сверхточных деталей больших геометрических размеров без потери формы модели, особенно при повышенных температурах воздуха, что повысит конкурентоспособность модифицированных составов, выпускаемых ОАО «Завод горного воска».

В 2023–2025 гг. планируется продолжать работы по проектам ГПНИ на 2021–2025 гг.:

– Разработка научных основ и технологий наномодификации на различных этапах получения полиэфирных и полиакрилонитрильных волокнистых материалов с целью улучшения их эксплуатационных свойств;

– Обоснование и экспериментальное подтверждение целесообразности применения в модельных составах полифункционального продукта переработки сосновой живицы, обеспечивающего усиленное физическое взаимодействие между компонентами композиции по сравнению с известными модельными составами. Установление корреляции: природа

полифункционального лесохимического продукта, его содержание в композиции – основные эксплуатационные свойства модельных составов.

По вышеуказанным заданиям получены положительные результаты по актуальным темам для ОАО «Могилевхимволокно» и ОАО «Завод горного воска», которые в 2023 г. будут направлены производителям для проверки их заинтересованности.

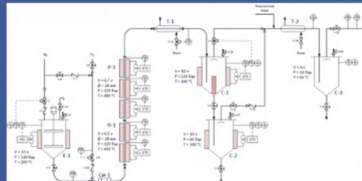
Лабораторией нефтегазопереработки и нефтехимического синтеза и кафедрой нефтегазопереработки и нефтехимии совместно с лабораторией дисперсных систем Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси выполнен ряд экспериментов по очистке нефтяных коксов в реакторе электротермического кипящего слоя (ЭТКС) (слайд 12). При очистке в ЭТКС кокса нефтяного анодного марки Б (АО «ТАНЕКО») и кокса прокаленного марки Ч Челябинского электродного завода при температурах 2200–2500°C удалось снизить содержание серы в образцах в 10–20 раз, зольность – в 2–4 раза. Существенно, что наряду с очисткой кокса в нем активно формируется фаза графита. По результатам проведенных экспериментов была установлена принципиальная возможность получения в ЭТКС высокочистых дисперсных углеграфитовых материалов из сырого нефтяного кокса УЗК с организацией непрерывного технологического процесса.

Слайд 12



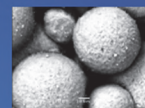
ЛАБОРАТОРИЕЙ НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКИ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Проект пилотной установки гидроконверсии нефтяного гудрона производительностью 1 кг/ч



✓ разработан проект пилотной установки гидроконверсии нефтяного гудрона и его смесей с древесной биомассой в присутствии наноразмерных катализаторов;

✓ Разработана технология переработки отработанного катализатора каталитического крекинга, позволяющая получать сорбент



- Истинная плотность - 1,78 г/см³, насыпная плотность 0,8 - 1,1 г/см³ (для различных партий).
- Дисперсный состав микрогранул ОКК описывается нормальным законом распределения, их размеры находятся в диапазоне 5–100 мкм.
- Партия 1: $d_m = 14$ мкм, СКО $\sigma_d = 1,36$;
- Партия 2: $d_m = 68$ мкм, СКО $\sigma_d = 1,14$

13

В процессах гидрокрекинга тяжелых нефтяных остатков с кипящим слоем катализатора типа H-Oil ограничивающим фактором для глубины переработки является разрушение нефтяной дисперсной системы с выделением из нее фазы асфальтенов при достижении определенной степени конверсии сырья. Асфальтены осаждаются на катализаторах, блокируя доступ к активным центрам, формируют коксовые отложения на внутренней поверхности оборудования и трубопроводов, нарушая оптимальный гидродинамический и тепловой режим процесса,

забивают трубную арматуру, снижая надежность и управляемость системы. Решением проблемы видится развитие процессов суспензионного гидрокрекинга с использованием наноразмерных катализаторов, синтезируемых *in situ* из водо- или маслорастворимых прекурсоров.

В совместной лаборатории нефтехимических продуктов Белорусского государственного технологического университета и Института химии новых материалов НАН Беларуси изучаются процессы суспензионной гидроконверсии тяжелых нефтяных остатков и их смесей с возобновляемым сырьем (древесной биомассой) в присутствии сульфидов переходных металлов. Синтезирован новый маслорастворимый прекурсор дисульфида молибдена на основе тетра тиомолибдата аммония и четвертичной аммонийной соли (слайд 12). Прекурсор проявляет свойства ионной жидкости, растворим в ароматических углеводородах, разлагается в углеводородной среде до сульфидов при температурах 240–340°C, не требует дополнительного сульфидирующего агента, образует частицы диаметром 50–100 нм, проявляющие высокую каталитическую активность в реакциях гидроконверсии асфальтенов. Как видно, в результате гидрокаталитической переработки асфальта в нем уменьшилось содержание асфальтенов более чем в 2 раза преимущественно за счет их превращения в смолы и нейтральные масла. С целью масштабирования процесса разработан проект пилотной установки гидроконверсии нефтяного гудрона и его смесей с древесной биомассой в присутствии наноразмерных катализаторов (слайд 13).

Слайд 13



ЛАБОРАТОРИЯ НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКИ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Показатель	Кокс заводской марки БАО «ТАНЕКО»		Промысловый кокс Челябинского электрохимического завода	
	до термобработки	после термобработки	до термобработки	после термобработки
Температура термобработки, °C	—	2200	—	2500
Массовая доля серы, %	3,4	0,3	1,6	0,08
Зольность, %	0,2	0,09	0,2	0,05
Массовая доля влаги, %	9,0	—	—	—
Массовая доля летучих, %	11	—	—	—
Степень графитизации, %	—	30,0	—	84,0
Удельное электрическое сопротивление, Ом·см	> 10 МОм·см	19,0	30,0	11,6



- ✓ очистка нефтяных коксов;
- ✓ получение высококачественных дисперсных углеграфитовых материалов из нефтяного кокса;
- ✓ развитие процессов суспензионного гидрокрекинга с использованием наноразмерных катализаторов, синтезируемых *in situ* из водо- или маслорастворимых прекурсоров;



12

В процессе каталитического крекинга углеводородов нефти образуется отработанный катализатор – материал высокой степени дисперсности и однородного состава (Слайд 13). Разработана технология переработки отработанного катализатора каталитического крекинга, позволяющая получать сорбент, не уступающий по сорбционной способности цеолитам, и лантансодержащий концентрат. Полученный сорбент может использоваться для извлечения из воды тяжелых металлов, азота аммонийного. Сорбционная емкость в зависимости от сорбируемого иона может достигать 4 мг-экв/г (слайд 13).

Разработаны аппретурующие добавки серии “Преамидин” на основе катионных ПАВ, которые применяются в ОАО “Полоцк-Стекловолокно” в качестве компонентов замасливателей при производстве стеклонити взамен дефицитного импортного реагента “Карбозолин” (Справочно: производство аппретурующих добавок “Преамидин” налажено в Беларуси в г. Новолукомль по лицензионному договору, заключенному с университетом).

Лаборатория принимала участие в работах по определению состава нефти, в частности, при превышении концентраций хлорсодержащих компонентов.

ОАО «Нафтан» тесно сотрудничает с Инновационно-промышленным новополоцким нефтехимический кластером и лабораторией нефтегазопереработки и нефтехимического синтеза. В настоящее время ведется совместная работа по отладке технологии получения базовых масел 3 группа на базе остатков гидрокрекинга.

*ОАО «Мозырский НПЗ», согласно Уставу, не занимается НИОКР. Услуги, связанные с проведением исследований, закупаются Обществом на конкурсной основе и выполняются, как правило, научно-исследовательскими центрами компаний – лицензиаров нефтехимических процессов и производителей катализаторов, имеющих международную аккредитацию. В связи с чем, первым шагом в развитии отраслевой лаборатории **нефтегазопереработки и нефтехимического синтеза** станет подписание соглашения о создании отраслевой лаборатории с с ОАО «Мозырский НПЗ».*

– по исследованию влияния повышенного содержания сероводорода в нефти на скорость коррозии конструкционных материалов, из которых изготовлены технологические трубопроводы и оборудование установки первичной переработки нефти (ЭЛОУ-АТ); исследований негативного влияния поглотителей сероводорода в нефти на процессы её переработки.

Лаборатория промышленной экологии, энергоэффективности и промышленной безопасности (слайд 14) выполняла работы по следующим направлениям:

– проведение технологического мониторинга системы водоотведения и полей фильтрации ЗАО «Витэкс» на производственной площадке д. Теплень;

– реконструкция канализационных сооружений биологической очистки стоков ЗАО «Витэкс»;

– проведение технологического мониторинга системы водоотведения СП «Белита» ООО на производственной площадке д. Теплень и определение количественных и качественных характеристик производственных стоков и проведение в лабораторных условиях экспериментальных исследований технологии очистки производственных сточных вод СП «Белита» ООО с выдачей рекомендаций по наиболее эффективной системе очистки;

– проведение технологического мониторинга системы водоотведения ОАО «Минский молочный завод №1», Воложинский ПУ.

– исследования влияния повышенного содержания сероводорода в нефти на скорость коррозии конструкционных материалов, из которых изготовлены технологические трубопроводы и оборудование установки первичной переработки нефти (ЭЛОУ-АТ); исследований негативного влияния поглотителей сероводорода в нефти на процессы её переработки;

Слайд 14



**ЛАБОРАТОРИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ,
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ПРОМЫШЛЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ**

Работы выполняемые на базе лаборатории работы:

- ✓ проведение технологического мониторинга системы водоотведения и полей фильтрации ЗАО «Витэкс» на производственной площадке д. Теплень;
- ✓ реконструкция канализационных сооружений биологической очистки стоков ЗАО «Витэкс»;
- ✓ проведение технологического мониторинга системы водоотведения СП «Белита» ООО на производственной площадке д. Теплень и определение количественных и качественных характеристик производственных стоков и проведение в лабораторных условиях экспериментальных исследований технологии очистки производственных сточных вод СП «Белита» ООО с выдачей рекомендаций по наиболее эффективной системе очистки;
- ✓ проведение технологического мониторинга системы водоотведения ОАО «Минский молочный завод №1», Воложинский ПУ.
- ✓ исследования влияния повышенного содержания сероводорода в нефти на скорость коррозии конструкционных материалов, из которых изготовлены технологические трубопроводы и оборудование установки первичной переработки нефти (ЭЛОУ-АТ); исследований негативного влияния поглотителей сероводорода в нефти на процессы её переработки;

14

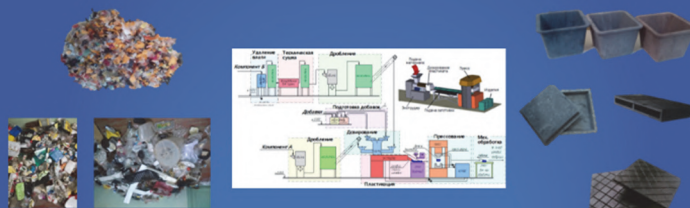
– совместно с кафедрами Полимерных композиционных материалов и Механики и конструирования постоянно ведутся работы направленные на поиск технологий вторичной переработки полимерных материалов, в том числе термореактивных (резины, смолы) (слайд 15).

Слайд 15



**ЛАБОРАТОРИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ,
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ПРОМЫШЛЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ**

✓ совместно с кафедрами Полимерных композиционных материалов и Механики и конструирования постоянно ведутся работы направленные на поиск технологий вторичной переработки полимерных материалов, в том числе термореактивных (резины, смолы)



15

В дальнейших планах лаборатории развивать направления:
– создание гидролизных производств на основе древесного и другого целлюлозосодержащего сырья (слайд 16);

Слайд 16



**ЛАБОРАТОРИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ,
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ПРОМЫШЛЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ**

В дальнейших планах лаборатории развивать направление гидролизных производств на основе древесного и другого целлюлозосодержащего сырья



16

– мониторинг систем водоподготовки промышленных предприятий с разработкой организационно-технических мероприятий по их модернизации и совершенствованию;

– разработка технико-экономических обоснований инновационных проектов в нефтехимическом комплексе и других отраслях промышленности.

Отдел аппаратного оформления, автоматизации, цифровых технологий, проектирования и инжиниринга (слайд 17) тесно сотрудничает с ОАО «КРИОН»

Выполнены работы:

- расчет процесса утилизации вторичных энергетических ресурсов второй ступени воздушного компрессора;
- разработка норм расхода и потерь при наполнении и хранении газов.

и ОАО «Завод горного воска», для которого выполнялась работа по исследованию материала вкладышей подшипников скольжения химических насосов;

- ведутся разработки по развитию и внедрению энергетических накопителей.

Слайд 17



**ОТДЕЛ АППАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ,
АВТОМАТИЗАЦИИ, ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИНЖИНИРИНГА**

Выполнены работы:

- расчет процесса утилизации вторичных энергетических ресурсов второй ступени воздушного компрессора;
- разработка норм расхода и потерь при наполнении и хранении газов.

и ОАО «Завод горного воска», для которого выполнялась работа по исследованию материала вкладышей подшипников скольжения химических насосов;

- ведутся разработки по развитию и внедрению энергетических накопителей.

В дальнейшем отдел планирует выполнение следующих НИР:

- исследование качественного состава газов, образующихся при высокотемпературном нагревании обожженного порошкообразного магнезита, смешанного с жидким лигносульфонатом (сотрудничество с ПАО «Комбинат «Магнезит» (г. Сатка, Россия);
- исследование влияния кавитационного воздействия на качественные показатели питьевой воды» (на рассмотрении у заказчика).

17

В дальнейшем отдел планирует выполнение следующих НИР:

- исследование качественного состава газов, образующихся при высокотемпературном нагревании обожженного порошкообразного магнезита, смешанного с жидким лигносульфонатом (сотрудничество с ПАО «Комбинат «Магнезит» (г. Сатка, Россия);

- исследование влияния кавитационного воздействия на качественные показатели питьевой воды» (на рассмотрении у заказчика).

В 2023 году БГТУ вошел в состав научно-производственного кластера на базе ОАО «Могилевхимволокно».

- филиал кафедры полимерных композиционных материалов на базе ОАО «Борисовский завод пластмассовых изделий».

Специалисты РНПЦ НХТиП и ученые БГТУ принимают участие в доработке Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года, а также в научном сопровождении

технологических процессов и инновационном развитии предприятий концерна Белнефтехим. На базе БГТУ ежегодно проводятся рабочие встречи и совещания по вопросам функционирования и развития предприятий отрасли.

Отраслевыми лабораториями БГТУ в 2022 году выполнены научные исследования и разработки на сумму порядка 1,5 млн. руб., что в 1,83 раза выше, чем в 2021 году, из них внебюджетное финансирование по отраслевой науке возросло в 2,74 раза (74,5 %). Экономический эффект на предприятиях, полученный от внедрения результатов НИР за последние 2 года превысил 6 млн. бел. руб.

Экспортная ориентированность отраслевых лабораторий БГТУ за 2022 год составляет порядка 7 %.

В настоящее время ведутся работы по расширению материально-технической базы существующих отраслевых лабораторий, а также прорабатываются направления для создания отраслевой лаборатории на базе научной Лаборатории нефтегазопереработки и нефтехимического синтеза.

Специалистами РНПЦ Нефтехимических технологий и производств совместно с учеными БГТУ ежегодно организуют и проводят международный форум по вопросам нефтехимической и газовой переработки «Нефтегазохимия», который способствует налаживанию контактов между учеными и специалистами предприятий (слайд 18).

Слайд 18

Международные научно-технические форумы по химическим технологиям и нефтегазопереработке «Нефтегазохимия» на базе БГТУ

- В работе форумов приняли участие представители Нацсобрания РБ, Исполнительного комитета СНГ и Союзного государства, Евразийской экономической комиссии, НАН Беларуси, ГКНТ, Национального агентства инвестиций и приватизации, Россотрудничества, представители государственных органов, высших учебных заведений, производственных и научных организаций Республики Беларусь, ближнего и дальнего зарубежья.
- В рамках научно-технического форума «Нефтехимия-2018» подписан меморандум о создании научно-образовательного консорциума высших учебных заведений Беларуси и Польши.
- В рамках научно-технического и инвестиционного форума «Нефтехимия-2019» состоялось заседание Научного совета по нефтехимии Международной ассоциации академий наук.
- В материалах Международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития химического и нефтегазохимического комплекса», проводимой ежегодно в рамках форума, с 2018 по 2021 годы опубликовано более 300 научных докладов.
- В период проведения форумов организации Концерна «Белнефтехим» презентовали образцы новых видов продукции, научные организации и учебные заведения республики представили результаты разработки новых технологий для химических и нефтехимических производств
- В конкурсах стартапов молодых ученых приняли участие студенты и аспиранты БГТУ, Ярославского государственного технического университета, Санкт-Петербургского горного университета, Кузбасского государственного технического университета, Технического университета Кайзерслаутерна.

18

Ученые университета выполняют широкий спектр исследований для предприятий нефтехимического комплекса. Это перспективные

полимерные, композиционные материалы и наноматериалы, химические волокна, эластомеры, шины, лаки и краски, прогрессивные технологии основного неорганического и органического синтеза, нефтепереработки, производства удобрений и солей, высокоэффективные машины и оборудование, продукты глубокой химической переработки древесины, химические реагенты и компоненты для различных отраслей промышленности, вопросы природопользования и промышленной экологии, охраны окружающей среды, автоматизация и управление химико-технологическими процессами, экономика отрасли, IT-технологии.

Учеными БГТУ ведутся разработки и в других отраслях промышленности:

1. Разработаны регулярно-структурированные насадки для тепло- и массообменных аппаратов предназначены для повышения эффективности массообмена за счет увеличения поверхности контакта фаз. Основные области их применения – это очистка газов от вредных химических соединений в массообменных колоннах после технологического оборудования, разделения жидких смесей на компоненты, сепарация газа (абсорбция, десорбция, ректификация).

Внедрение разработанных структурированных насадок решает сразу две задачи: увеличивает производительность массообменных аппаратов и их эффективность, а также снижает зависимость от зарубежных поставщиков внутриколонного оборудования, т.е. повышает экономическую безопасность предприятия.

2. Специалистами БГТУ разработана система комплексной оценки параметров гидродисперсных сред, которая предназначена для управления технологическими процессами в ходе проведения дозирования или контроля за качеством жидких сред.

Динамика капиллярной пропитки используется в двух направлениях. Первое – оценка гидрофобности осадков в процессах их получения, обработки и обезвоживания осадков. Для многих производств состав осадков не является постоянным, что требует изменения степени их обработки. Время капиллярного впитывания позволяет оптимизировать дозировку реагентов в процессе переработки осадков. Имеется многолетний опыт использования устройств Capillary Suction Time (CST) и подобной разработки БГТУ для оптимизации процессов очистки сточных вод и нефтедобычи, в частности, при механическом обезвоживании плотных глинистых суспензий и осадков промывных фильтров при очистке воды; обработке активных илов; для установки параметров работы фильтров и центрифуг; повышении производительности сепарации механического преректификационного процесса; при определении подходящего электролита и полимера

для снижения проницаемости вокруг ствола скважины нефтедобычи и множество других применений при обработке минералов в угольной и горнодобывающей промышленности; при производстве бумаги; сахара; в металлургии.

Второе – время капиллярного впитывания используется при оценке качества бумаги при его производстве для обеспечения соответствия техническим условиям.

3. Одной из значимых проблем предприятий-переработчиков плотных горных пород, например, гранитов, является образование побочного продукта переизмельченной породы (отсевов дробления) с размером частиц < 5 мм. Существующие технологии измельчения гранитного сырья обеспечивают уровень выхода отсевов не ниже 35-45 % от объема производимого товарного продукта - щебня. Потенциальными потребителями отсевов являются дорожно-строительные компании, производители бетонов, сухих строительных смесей, керамических и железобетонных изделий и др.

Отсевы дробления гранитных пород являются продуктом местного значения, поэтому миллионы тонн отсевов в течении десятилетий вывозятся в отвалы и накапливаются там, ухудшая экологическую обстановку регионов. К примеру, предприятие РУПП «Гранит» (г. Микашевичи) ежегодно направляет в отвалы выше 3,75 млн т отсевов.

В БГТУ в ходе изучения отсевов гранитоидных пород Микашевичского месторождения выявлена зависимость их химико-минералогического состава от размеров частиц породы. В частности, по мере повышения дисперсности отсева имеет место обогащение породы полевошпатовыми и темноцветными минералами в ущерб содержанию свободного кремнезема (кварца). Таким образом, пылевидная фракция отсевов вовсе не содержит кварца, а их химический и минералогический составы близки к базальтовым породам, широко используемым в производстве минерального волокна, как непрерывного, так и штапельного.

Проведенными исследованиями в лабораторных условиях, а также полупромышленными испытаниями в условиях ОАО «Полоцк-Стекловолокно» доказана пригодность обогащенных отсевов пород Микашевичского месторождения к производству минерального волокна.

При проведении промышленных испытаний получены партии волокон как по двухстадийной, так и по одностадийной технологиям. Качественные показатели полученного волокна не уступают таковым для базальтовых волокон (диаметр элементарного волокна 7,5–7,8 мкм для двухстадийной технологии и 11–12 мкм – для одностадийной).

Ректор УО «Белорусский государственный
технологический университет»

И.В. Войтов

Уважаемые участники форума, коллеги!

От Правительства Республики Беларусь рад приветствовать вас на Шестом международном научно-техническом форуме по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2023».

Химическая и нефтехимическая промышленность является одной из важнейших отраслей промышленности Беларуси. Она насчитывает десятки предприятий, которые характеризуются высоким уровнем рентабельности.

Белорусский государственный технологический университет сегодня – это ведущая образовательно-научная площадка для подготовки инженерных кадров и кадров высшей квалификации для нефтехимической промышленности страны. Не спроста университет на протяжении последних лет является площадкой для проведения форума.

Полагаю, что проведение форума будет способствовать развитию сотрудничества университета и предприятий в образовательной, научно-технической и инновационной сферах.

Современный этап развития национальной и мировой экономики наглядно показывает, что инновационный путь является гарантией устойчивого экономического роста государства, приоритетом развития конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности.

Сегодня в нашей стране этим важнейшим вопросам уделяется самое пристальное внимание, а такие востребованные временем инициативы как ваш форум – с каждым годом привлекают все большее внимание авторитетных экспертов, аналитиков и представителей деловых кругов из разных стран. Вам предоставляется уникальная возможность развить существующие деловые связи, приобрести новых партнеров и осуществить взаимовыгодные инвестиции в Республике Беларусь, Российской Федерации, странах СНГ и за рубежом, сформировать механизмы усиления экономической интеграции.

Искренне надеюсь, что участники Форума сумеют, опираясь на его позитивные результаты, сформулировать новые весомые предложения по формированию и развитию нефтехимического рынка, наметить конкретные пути инновационного развития отрасли.

Желаю Вам плодотворной работы, творческого вдохновения и больших успехов на этом пути.

Заместитель Премьер-министра
Республики Беларусь

П.А. Пархомчик

Уважаемые участники форума!

Участникам VI Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗО-ХИМИЯ-2023»

От имени Администрации Президента Республики Беларусь и себя лично поздравляю вас с началом работы VI Международного научно-технического и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «Нефтегазохимия-2023» и приветствую всех присутствующих.

На ежегодном научно-техническом форуме будут обсуждены перспективные направления развития нефтехимии, последние достижения в области разработки полимерных композиционных материалов, внедрения цифровых технологий в производство, будут рассмотрены вопросы подготовки кадров для нефтехимического комплекса.

В современных условиях развитие нашей республики невозможно без применения цифровых технологий, робототехники, «зеленых» технологий, решения актуальных задач ресурсо- и импортозамещения, поиска альтернативных источников энергоресурсов, привлечения талантливых молодых специалистов. Огромные надежды в этом направлении мы возлагаем на реализацию учеными нашей страны перспективных импортозамещающих проектов, внедрению инновационных технологий. Ведь именно ученым предстоит в обозримом будущем противостоять вызовам современности и решать ключевые задачи отрасли.

Считаю, что форум «Нефтегазохимия-2023» будет способствовать укреплению прямых контактов с партнерами и инвесторами для совместного решения научно-технических и экономических задач, определяющих направления дальнейшего развития белорусской промышленности.

Хочу отметить, что обсуждение на форуме производственных и научно-технических проблем в итоге позволит выработать новые предложения по развитию отечественных нефтехимических предприятий.

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

Заместитель Главы
Администрации Президента
Республики Беларусь

М.Л. Ермолович

Уважаемые коллеги! Дорогие друзья!

Участникам, гостям и организаторам VI международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «Нефтегазохимия — 2023»

Приветствую вас на VI международном научно-техническом форуме по химическим технологиям и нефтегазопереработке «Нефтегазохимия — 2023».

Наукоемкие инновации — это залог стабильного будущего любого государства, они способствуют существенному улучшению качества жизни наших сограждан и укреплению экономики страны. Вектор развития нефтехимической отрасли направлен на технологическое обновление производств и модернизацию инженерно-технического обеспечения, внедрение инновационных продуктов. Но развитие инноваций невозможно без тесного взаимодействия науки и производства, и сегодня оно приобретает первостепенное значение, а технологический суверенитет становится вопросом национальной безопасности.

Давнее сотрудничество предприятий нефтехимического комплекса сложилось с институтами Национальной академии наук Беларуси (Институтом механики металлополимерных систем имени Белого, Институтом общей и неорганической химии, Институтом химии новых материалов). Особое значение мы придаем партнерству с вузовской наукой. Белорусский государственный технологический университет, который уже шестой раз выступает площадкой форума «Нефтегазохимия», — это не только кузница кадров для нефтехимического комплекса и альма-матер многих руководителей и специалистов нефтехимической отрасли, но и активный участник инновационного процесса на предприятиях.

Сегодня перед нефтехимической отраслью стоит множество задач. Уверен, результаты форума позволят найти наиболее эффективные решения, а обмен мнениями между участниками — специалистами предприятий, представителями научной общественности и экспертного сообщества будет способствовать дальнейшему обеспечению устойчивого роста одного из самых наукоемких секторов экономики страны.

Желаю плодотворного общения и успешной работы.

Председатель Белорусского
государственного концерна
по нефти и химии

А.А. Рыбаков

**Участникам и организаторам
VI Международного научно-технического форума
по химическим технологиям и нефтегазопереработке
(НЕФТЕГАЗОХИМИЯ - 2023)**

Сердечно приветствую участников и организаторов VI Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке (НЕФТЕГАЗОХИМИЯ - 2023).

Уже не первый год форум выступает как международная площадка для обмена опытом ведущих специалистов, работников инновационных центров, научно-образовательных и научно-исследовательских институтов, представителей нефтегазовых и химических отраслей промышленности.

В современных экономических условиях мы находимся на пороге новых вызовов и возможностей в химической и нефтегазовой отраслях, которые играют ключевую роль в обеспечении потребностей нашего общества в энергии, продуктах, материалах, и ваш вклад в дальнейшее развитие передовых технологий как никогда актуален и востребован.

Убежден, что проведение широкой научно-практической дискуссии в рамках форума «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ - 2023» будет способствовать новым решениям в химической и нефтегазовой отраслях, содействуя экономическому и технологическому прогрессу на всем евразийском пространстве.

Пользуясь случаем, хотел бы отметить важность проведения форума для Евразийского экономического союза, поскольку именно в рамках Союза в настоящее время уделяется большое внимание развитию нефтегазовой сферы.

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

Председатель Коллегии
Евразийской экономической комиссии.

М.В. Мясникович

**Участникам VI Международного научно-технического форума
по химическим технологиям и нефтегазопереработке
(НЕФТЕГАЗОХИМИЯ - 2023)**

От имени Исполнительного комитета Содружества Независимых Государств и от себя лично сердечно приветствую участников VI Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке (НЕФТЕГАЗОХИМИЯ - 2023).

Проведение Форума на базе Белорусского государственного технологического университета базовой организации государств - участников Содружества Независимых Государств по образованию в области лесного хозяйства и лесной промышленности свидетельствует о том, что университет вносит достойный вклад в формирование научного и образовательного пространства в Содружестве, укрепление международной кооперации в научно-технической сфере.

Важно подчеркнуть, что Форум стал постоянной международной площадкой, где исследователи стран СІ-П" обсуждают актуальные проблемы сотрудничества в областях нефтепереработки и нефтехимии на евразийском пространстве, представляют результаты разработки технологий для химических и нефтехимических производств, а также определяют пути решения экологических проблем нефтехимического комплекса.

Повестка дня нынешнего мероприятия также охватывает широкий спектр вопросов - от разработки, добычи, переработки нефти и газа, производства удобрений на основе минерального сырья и газа, цифровых технологий и автоматизации в нефтехимической отрасли до выработки стратегии развития отечественной нефтехимии и подготовки кадров для химического и нефтегазохимического комплекса.

Выражаю уверенность, что в ходе секционных заседаний Форума будут предложены новые идеи и рекомендации, направленные на дальнейшее эффективное сотрудничество организаций и предприятий нефтехимического комплекса СШ для повышения его конкурентоспособности и инновационного развития национальных экономик государств-участников Содружества.

Желаю всем участникам Форума плодотворной работы, успехов, новых научных открытий и свершений во благо Республики Беларусь и стран Содружества Независимых Государств.

Первый заместитель
Генерального секретаря СШ

Л.В.Анфимов

Уважаемые организаторы и участники

От имени ОАО «Белишина» рад приветствовать Вас на VI Международном научно-техническом форуме по химическим технологиям и нефтегазопереработке «Нефтегазохимия – 2023».

В настоящее время достижение эффективной интеграции науки и производства является важнейшим условием для комплексного решения задач в научно-технической сфере. Развитие промышленных предприятий входит в сферу ключевых государственных интересов, а развитие шинной отрасли – это одна из важнейших стратегических задач.

Благодаря реализованным инновационным разработкам и применению современных технологических решений, организация осваивает новые виды импортозамещающей продукции, укрепляется на зарубежных рынках товаров и повышает эффективность деятельности.

Стоит отметить успешный опыт сотрудничества ОАО «Белишина» с научными организациями, в результате которого на площадях Общества создана и функционирует отраслевая лаборатория шинной промышленности УО «БГТУ». Основной задачей отраслевой лаборатории является разработка высокоэффективных технологий и совершенствование действующих производств ОАО «Белишина» с целью выпуска конкурентоспособной продукции, на уровне ведущих мировых производителей шинной отрасли.

Для оснащения материально-технической базы отраслевой лаборатории приобретено с привлечением средств РЦИФ современное испытательное оборудование общей стоимостью 3,8 млн. белорусских рублей.

Финансирование отраслевой лаборатории осуществляется посредством заключения договоров на проведение научно-исследовательских работ, заказчиком которых выступает ОАО «Белишина». За период совместной деятельности заключено 12 договоров на выполнение НИОК(Т)Р на общую сумму 719,5 тыс. белорусских рублей.

Реализуемые научно-исследовательские работы позволили расширить перечень проводимых исследований, досконально изучить поступающее на одобрение в ОАО «Белишина» сырье, проводить детальный анализ резин шин-аналогов, а также фундаментальные исследования в области разработки новых рецептур резиновых смесей, внедряемых в процесс производства. Суммарный экономический эффект от реализуемых НИР составил более 4,5 млн. рублей.

Не менее важным и перспективным направлением является обеспечение предприятий квалифицированными инженерно-техническими кадрами и научными работниками высшей квалификации. Высокий уровень подготовки кадров подтверждается успешным обучением сотрудников предприятия в аспирантуре и магистратуре БГТУ с последующим присвоением звания кандидата технических наук.

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

*С уважением,
генеральный директор ОАО «Белишина».*

А.В.Ковалев

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Акционерное общество «Лакокраска» г. Лида основано в 1965 году и является крупнейшим производителем лакокрасочной продукции в Республике Беларусь.

Предприятие выпускает широкий спектр продукции для различных отраслей хозяйства общей мощностью 123 тыс. тонн в год. В портфеле более 2000 тыс. товарных позиций. Высокое качество продукции подтверждается гарантийными сроками выпускаемой продукции по межгосударственным стандартам и проверкой комплексов покрытий на прогнозируемый срок службы в различных средах.

Общество 26 лет состоит в концерне «Белнефтехим», что позволило динамично развиваться и углублять кооперацию между отраслями Республики Беларусь.

Основным вектором развития является повышения эффективности производства, а также освоение новых видов продукции, совершенствование выпускаемых товаров и услуг, повышения безопасности деятельности организации.

За последние 5 лет реализованы следующие инвестиционные проекты:

- техническое перевооружение производства фталевого ангидрида с увеличением мощности с 24 до 54 тыс. тонн в год;
- замена бисерных мельниц производства эмалей на конденсационных смолах;
- перевод обогрева реакторов цеха лаков на конденсационных смолах на собственный пар (5 МПа);
- инновационная установка утилизации отходов фталевого ангидрида;
- установка воздухоразделения для производства азота мощностью до 600 куб.м/ч;
- установка резервного пускового парового котла производительностью 12 т/ч (в результате чего стал возможен отказ от пара ТЭЦ).

Планируется к реализации инвестиционные проекты:

- «Строительство установки по производству пиролизного (печного) топлива из твердых и пастообразующих отходов. Цель проекта: переработка, обезвреживания и утилизации отходов, в процессе которого выпускается товарная продукция, основу которой составляет пиролизное (печное) топливо (около 300 тонн в год). Срок реализации – 2021 – 2025 годы.

– «Организация производства высоковязких материалов». Проект направлен на организацию производства, и увеличение загрузки существующих мощностей, за счёт разработки и расширения ассортимента по пигментированным органо-разбавляемым высоковязким лакокрасочным материалам. Срок реализации проекта 2024-2025 г.

– «Модернизация производства полиэфирных смол» предусматривается углубление переработки фталевого ангидрида для производства полиэфирных смол, и использование части смол для замены вторичного импорта в производстве конечных пигментированных органорастворяемых ЛКМ, с реализацией свободных объёмов смол и полуфабрикатных лаков. Ввод проекта 2027 год.

Одно из направлений проекта предусматривает разработку и организацию производства ненасыщенных полиэфирных смол для композиционных материалов;

По второму направлению предусматривается разработка и организация производства акриловых органо-растворимых смол.

По третьему направлению для реализации и частично для собственного потребления по алкидно-модифицированным смолам. (алкидно-стирольные; алкидно-уретановые, лаки «экспресс-сушки»), эпоксидно-эфирным смолам и др.

Срок реализации проекта 2023-2027 г.

Структура производства продукции

ОАО «Лакокраска» единственный в Республике Беларусь производитель фталевого ангидрида, алкидных смол и их модификаций. В ЕАЭС наше общество единственное из лакокрасочных компаний осуществляет самую глубокую переработку сырья: из закупаемого ортоксиллола производится фталевый ангидрид, который используется в технологии производства различных смол для лакокрасочной промышленности, которые в свою очередь используются для производства конечных готовых к использованию лаков и красок. Практически весь свободный объём фталевого ангидрида и смол, не использующийся в собственном производстве лаков и красок, реализуется на экспорт.

Помимо этого, предприятие производит технические жидкости, смесевые растворители, отвердители, водно-дисперсионные лакокрасочные материалы, поливинилацетатные дисперсии и клеи различного назначения. Также имеются вспомогательные производства металлической и деревянной тары.

Данная структура производства дает возможность предприятию формировать конкурентную стоимость готового продукта, обеспечивая высокие качественные характеристики.

Перспективные направления развития

Наиболее перспективным направлением развития ОАО «Лакокраска» является расширение ассортимента выпускаемых лакокрасочных материалов под нужды всех отраслей экономики Республики Беларусь, а также развитие нового направления – производство полиэфирных смол.

Огромный вклад в экономику предприятия вносит производство красок и эмалей. Основным направлениям стратегии в части лакокрасочных материалов является разработка новых материалов под нужды Министерства Промышленности, Минстройархитектуры, товаров розничного потребления.

В 2023 году реализуется освоение следующих новых лакокрасочных материалов:

- эпоксиэфирных грунт-эмалей для окрашивания платформ, деталей шасси, мостов и деталей автобусов для ОАО «МАЗ» и деталей и тракторов в условиях ОАО «МТЗ»;

- меламиноалкидной эмали и полиуретановой эмали для нужд ОАО «МТЗ»;

- токопроводящей грунтовки для нужд ОАО «МАЗ»;

- однокомпонентных и двухкомпонентных грунт-эмалей для окрашивания вагонов в СЗАО «Могилевский вагоностроительный завод».

Кроме того, в соответствии с утвержденными программами ведется разработка следующих комплексов лакокрасочных материалов:

- комплекса двухкомпонентных лакокрасочных материалов для окраски прицепной техники для завода «Могилевтрансмаш» ОАО «МАЗ»;

- эпоксидной грунтовки и полиуретановой эмали для ОАО «БЕЛАЗ»;

- однокомпонентной быстросохнущей грунтовки и двухкомпонентных полиуретановых эмали и грунт-эмали с глянцевым и матовым покрытием для окрашивания сельскохозяйственных машин на ОАО «Гомсельмаш».

В части реализации проектов по созданию производства продуктов малотоннажной химии ведется работа по следующим направлениям:

- разработана и реализуется в адрес ЧУПП «Мебельная фабрика «Лагуна» водно-дисперсионная краска, предназначенная для окрашивания деталей мебели;

- ведется внедрение клеевых составов для картонно-бумажных изделий в ОАО «Могилевхимволкно», ОАО «СКБЗ»;

- ведется разработка рецептуры и технологии производства красителей различных цветов для окрашивания дизельного топлива в условиях РУП «ПО «Беларусьнефть»;

– разработана рецептура и технология изготовления раствора антисептического для защиты древесины от биологического разрушения;
– налажено производство смесевых растворителей для предприятий Минпрома и других организаций.

В последние годы на рынках ближнего и дальнего зарубежья наблюдается тенденция снижения потребления алкидных смол, которые занимают существенную долю в товарном портфеле общества, а также рост применения полиэфирных смол, в том числе ненасыщенных для изготовления композиционных материалов, указанных в «Комплексном прогнозе научно-технического прогресса».

На сегодняшний день в ОАО «Лакокраска» освоено изготовление ненасыщенной полиэфирной смолы, а также ведется разработка линейки наиболее востребованных модификаций ненасыщенных полиэфирных смол.

Кроме того, реализуется освоение смол, используемых при производстве материалов для разметки дорог. В настоящее время уже выпускается акрил-стирольная смола и ведется работа в части разработки смолы для изготовления холодных пластиков для разметки дорог.

С целью снижения предприятием закупок смол по импорту предусмотрена разработка рецептур модифицированной эпоксидной смолы и гидроксиакриловых смол, а также для изготовления меламиноалкидных эмалей пониженной температурной сушки (предназначенной для окрашивания деталей и корпуса тракторов в ОАО «МТЗ») разработана модифицированная алкидная смола.

Для увеличения доли экспортных поставок в обществе разработана рецептура быстросохнущей смолы.

Благодарим за внимание!

УДК 66.0

Гордина Н.Е., Смирнова О.П., Усачева Т.Р., Данилова Е.А.
(Ивановский государственный химико-технологический университет)

**СОВРЕМЕННОЕ КАЧЕСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ
В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ:
ОПЫТ ИВАНОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Ивановский государственный химико-технологический университет (ИГХТУ) предоставляет возможность получить современное качественное образование в наиболее удобной обучающихся форме, обеспечивая свободу в получении знаний во времени, темпах и месте обучения. Выпускники вуза составляют основу инженерного корпуса химической отрасли России. В Верхневолжском регионе наш университет претендует на роль ведущего технического университета, определяющего перспективы развития основных отраслей экономики и социальной сферы региона, сочетая высокое качество подготовки специалистов с массовым распространением новых компьютерных технологий и технологий ресурсосбережения. В международной деятельности ИГХТУ стремится учитывать общие тенденции развития науки и образования (глобализация образования, создание интернациональных исследовательских коллективов, дистанционное управление научными экспериментами, межгосударственная мобильность студентов и научно-педагогических сотрудников университета), одновременно сохраняя лучшие традиции отечественной системы образования (высокий уровень знаний, образование через проведение научных исследований, профессиональная инженерная школа, воспитание студентов на основе общечеловеческих ценностей, привлечение общественных институтов к решению проблем образования).

Развивая систему стратегического менеджмента качества образования, ИГХТУ формирует:

а) у выпускников вуза – высокий уровень профессиональных знаний, цифровых и предпринимательских компетенций, максимально полно удовлетворяющих запросам многосегментного рынка труда;

б) у потребителей продукции и услуг высшей школы – новые взгляды на качество образования, пропагандируя важность знаний естественных наук и гуманистических аспектов, необходимость сохранения культурных и демократических традиций в обществе.

В ИГХТУ реализуются следующие уровни профессионального образования:

- высшее образование - бакалавриат;
- высшее образование - магистратура;
- высшее образование - подготовка кадров высшей квалификации.

В образовательном процессе коллективом ИГХТУ широко используются современные активные обучающие технологии, обеспечивающие формирование необходимых компетенций у выпускников, основанные, в том числе, на применении электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Это обеспечивается большой работой научно-педагогического состава вуза, заключающейся в разработке новых учебников, программ-тренажеров, моделирующих и имитирующих программ, виртуальных лабораторных практикумов и т.д., позволяющих не только усилить мотивационную составляющую любого учебного процесса, обеспечить индивидуально-личностное включение студентов в учебно-познавательную деятельность, но и активизировать их способность к самообучению.

В университете реализуется концепция практико-ориентированного обучения, так как в реализации всех образовательных программ активное участие принимают и потенциальные работодатели. В этой связи проводятся занятия со студентами (сотрудниками предприятий) в дистанционном формате по очно-заочному графику, без отрыва от их основной производственной деятельности. Кроме того, в университете успешно развивается система дополнительного образования.

Вуз активно продвигает систему сетевого образования, помогая студентам получать знания в ведущих вузах России по дополнительным дисциплинам, которые будут указаны в приложении к диплому.

Партнёрами ИГХТУ являются предприятия не только химической, пищевой, но и смежных с ней отраслей промышленности. В соответствии с соглашениями о сотрудничестве предприятия участвуют в профориентационной работе, разработке учебных планов и рабочих программ специальных дисциплин для подготовки молодых специалистов, привлекаются к разработке тем выпускных квалификационных работ, курсовых работ (проектов), к работе в государственных экзаменационных комиссиях. Список работодателей-партнеров, с которыми заключены соглашения о намерениях, насчитывает порядка 120 компаний.

Сотрудничество с промышленными партнерами носит не только образовательный характер, но и опирается на совместные научно-технологические разработки. В частности, в университете успешно работает НИЛ синтеза, исследований и испытания каталитических и адсорбционных систем для процессов переработки углеводородного сырья. Их разработки внедрены на производственных площадках ООО «Щелковский каталитический завод», ООО «НПП Технофильтр», ООО «ЕвроХим» и др.

В 2022 году ИГХТУ вошел вместе с другими ивановскими вузами в научно-образовательный консорциум «Иваново». Создание консорциума направлено на объединение усилий всех университетов для развития науки и высшего образования в Ивановской области, продвижение Иванова как города-университета.

Актуальные цели консорциума – решение комплексных междисциплинарных научно-технических задач для создания инновационных продуктов и их коммерциализации; формирование научной и образовательной инфраструктуры мирового уровня и предоставление ученым, преподавателям условий для совместных научных исследований; создание и функционирование объединенных диссертационных советов по наиболее перспективным научным специальностям. Многие научные и образовательные направления нашего университета составят базу образовательных и научных программ в Консорциуме.

Качественное высшее образование, полученной в нашем вузе, позволяет выпускникам быть востребованными на рынке труда. В этом им помогает центр содействия трудоустройству и адаптации к рынку труда выпускников ИГХТУ (далее - ЦСТВ). В 2022 году было подписано соглашение о сотрудничестве и совместной деятельности с комитетом Ивановской области по труду, содействию занятости населения и трудовой миграции, который является центральным исполнительным органом государственной власти Ивановской области. Такое сотрудничество помогает в трудоустройстве выпускников ИГХТУ на предприятиях и в организациях не только Ивановской области, но и в других регионах и обмену актуальной информацией.

География сотрудничества вуза с предприятиями-работодателями обширна. При содействии ЦСТВ студенты вуза проходят практику на предприятиях Ивановской области, а также в других регионах Центрального, Северо-Западного, Уральского, Южного федеральных округов и Поволжья. В 2022 году было заключено 226 договоров о практической подготовке обучающихся очной формы обучения и 64 договора с профильными организациями для обучающихся заочной формы обучения. Вся информация о происходящих событиях в области трудоустройства и прохождении практики регулярно освещается на сайте ЦСТВ - www.job.isuct.ru, а также в ВКонтakte (https://vk.com/job_isuct) и платформе «Факультетус» (<https://facultetus.ru/isuct>). На данных информационных площадках публикуется актуальная информация о вакантных местах и заявках предприятий, о предстоящих событиях, о встречах с работодателями и многое другое.

Постоянное привлечение новых партнеров-работодателей позволяет обновлять материальную базу университета, расширять научные контакты и базы практик.

Иофик Б.Ш., Жойдик А.Г., ЗАО
(Инженерно-экологический центр «БЕЛИНЭКОМП»)

Войтов И.В.
(Белорусский государственный технологический университет)

ВОЗДУХООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ. ВОПРОСЫ И РЕШЕНИЯ

Экология, как и любая другая сфера, базируется на общих принципах созидания и неразрывно связана с экономикой, политикой и общественной деятельностью. Стратегия выбора оптимальных акцентов, которые позволят активно развивать промышленность, инфраструктуру и при этом оказывать минимальную нагрузку на окружающую среду – первоочередная задача, как для нашей страны, так и для всего человечества. Наиболее объемным и важным вопросом в сфере экологической безопасности является воздухоохранная деятельность.

В настоящее время на предприятиях нефтехимического комплекса идет интенсивное техническое перевооружение с увеличением глубины переработки нефти. Пуск установки замедленного коксования на ОАО «Нафтан», комплекса гидрокрекинга тяжелых нефтяных остатков и др. установок на ОАО «Мозырский НПЗ» влечет изменение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от предприятий в целом. Для их учета и контроля требуются средства и инструменты, которые позволяют проводить не только оценку, но и регулировать процессы в воздухоохранной деятельности.

Одним из перспективных направлений, которое позволяет эффективно проводить государством как экологическую, так и промышленную политику, является система наилучших доступных технических методов (НДТМ). Без этого невозможно полноценное функционирование системы комплексных природоохранных разрешений (КПР), которая, к сожалению, действует у нас сегодня в большей степени как формальность. Реализация системы НДТМ позволила бы:

- улучшить экологические показатели;
- оптимально использовать природные ресурсы;
- полноценное функционирование КПР;
- повысить экономические показатели, как для предприятия, так и для государства в целом;
- улучшить энергоэффективность производств и выступать как одним из средств углеродного регулирования;
- снизить вероятность аварий и связанные с этим риски.

Как видим, это серьезные аргументы в пользу НДТМ. В нашей стране тема НДТМ стартовала еще в 2009 году, но так и не выполнила поставленных задач.

При этом у наших российских коллег процесс внедрения системы НДТ (наилучшие доступные технологии – аналог НДТМ) был поставлен на осмысленную поступательную основу, для чего сформирована специализированная организация – Бюро НДТ, в чьи функции входит разработка справочников по отраслям промышленности РФ. Следует отметить, что они выполнили эти задачи, разработав около 50 отраслевых документов. Очень важно, что при разработке учитывалось экологическое состояние предприятий РФ в настоящее время и лучшие показатели в европейском банке данных. Возможно и в РБ следовало взять за основу подходы наших российских коллег. Это нам ближе и реальнее в силу схожего уровня развития промышленности. И пора задуматься о создании национального центра НДТМ, возложив эти функции, к примеру, на Белорусский государственный технологический университет.

Специалисты ЗАО «Инженерно-экологический центр «БЕЛИН-ЭКОМП» принимали экспертное участие в работе по созданию справочников РФ по нефтепереработке [1], [2]. Как показала практика, одной из фундаментальных основ этого процесса является качество работ по **инвентаризации выбросов и их учету**. Недостоверная информация на этих этапах искажает конечные результаты, которые не позволят принять необходимые решения по снижению выбросов и проводимых мероприятий. На протяжении десятков лет ЗАО «Инженерно-экологический центр «БЕЛИНЭКОМП» проводил работы по инвентаризации выбросов на крупнейших предприятиях нефтехимии. Нами были разработаны многие документы по определению выбросов от различных источников нефтехимических предприятий, которые используют при определении выбросов и в России, и в Беларуси. А ТКП 17.08-16-2011 «Порядок определения выбросов от объектов предприятий нефтехимической отрасли» является основным документом в РБ на сегодняшний день.

Система НДТМ, как отмечалось выше, это комплекс мер, который может выступать как средство углеродного регулирования. Сегодня, вопрос климатической политики, носит не только экологическую основу, а также является пропуском на мировые рынки. Сегмент нефтехимической отрасли в механизмах углеродного регулирования занимает достаточно большую долю, несмотря на то что алгоритмы расчетов выбросов и абсорбции, по оценкам отдельных экспертов, носят не совсем объективный характер. Тем не менее, ЗАО «Инженерно-экологический центр «БЕЛИНЭКОМП» уверен, как бы не складывались обстоятельства, инвентаризация парниковых газов должна проводиться с учетом

всех нюансов, в том числе и с применением инструментальных методов. И здесь также более рационально надо работать совместно с российскими коллегами.

Необходимо отметить еще один эффективный инструмент, применяемый в воздухоохранной деятельности – это комплексный подход при регулировании качества атмосферного воздуха промышленных узлов. Основные нефтехимические комплексы страны сосредоточены в крупных промышленных узлах (Новополоцкий, Мозырский, Могилевская СЭЗ и др.). Их развитие невозможно без эффективных инструментов оценки и регулирования качества атмосферного воздуха. И в этом случае возможно применение сводных расчетов выбросов, которые учитывают выбросы не только от предприятий, но еще и от автотранспорта. То есть оценка проводится комплексно, для узла или региона. В сущности, любое предприятие, соизмеряя свои возможности с результатами сводного расчета, может проводить техническое перевооружение, не боясь завтра оказаться за рамками природоохранного законодательства. В 1998 и 2014 годах в г. Новополоцке проводилась такая работа, был получен огромный опыт, были результаты, которые можно было применить при градостроительстве, проведении расчетного мониторинга и т.д. Однако этот инструмент был необоснованно забыт. Следует отметить, что в Российской Федерации сейчас очень активно внедряются сводные расчеты. Так, федеральная программа «Чистый воздух» предусматривала в 12 наиболее крупных и загрязненных городах проведение работ по сводным расчетам. В 2023 году этот проект был дополнен еще 41-м городом. Это говорит о целесообразности таких проектов, и, несомненно, в РБ не стоит забывать о таком эффективном инструменте.

В качестве итога следует еще раз отметить, что на данном этапе воздухоохранная деятельность в нефтехимической отрасли далека от идеальной формы. Выжидательная позиция в этом случае не оправдана. Не стоит ждать, что кто-то со стороны придет и решит те проблемы, которые существуют в отрасли. Есть положительные примеры, есть эффективные инструменты и их надо применять. К этому мы в первую очередь призываем экологов-производственников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 30-2017 «Переработка нефти». М., 2017.
2. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 30-2021 «Переработка нефти». М., 2021.

Секция I
ПЕРСПЕКТИВЫ, СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ
И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКИХ
И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ.
ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

УДК - 622.276

Гулиев Р.З.
(Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова)

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Аннотация. В работе показаны методология и результаты разработки метода оптимизации процесса заводнения нефтяного пласта в условиях зональной неоднородности и неопределенности геологических свойств с использованием разработанной системы искусственного интеллекта для повышения эффективности разработки нефтегазовых месторождений. Показана апробация нового подхода – генеративно-состязательной сети и ансамблевого сглаживателя для снижения влияния неопределенности показателя проницаемости пласта на выбор стратегии управления устройствами контроля закачки и управления процессом заводнения. Подход показал свою эффективность на примере секторной гидродинамической модели, заключающуюся в увеличении накопленной добычи нефти, уменьшении накопленной добычи воды и повышения коэффициента извлечения нефти по сравнению с базовым вариантом расчета.

Процесс заводнения пластов с высокой неоднородностью по фильтрационно-емкостным свойствам приводит к использованию систем одновременно-раздельной добычи / закачки (ОРЭ) при эксплуатации нескольких пластов одновременно. Такая система разработки включает в себя управление скважинными устройствами контроля притока/ закачки. При этом задача оптимизации устройств контроля притока/ закачки, особенно в условиях высокой неоднородности и неопределённости геологических свойств, является актуальной. Стандартной является практика использования ансамблевых методов и методов интеграции данных в модель [3–5]. Альтернативой методам интеграции данных в модель являются методы

машинного и глубокого обучения в задачах оптимизации процесса заводнения, апробация таких подходов показана в [1, 2] и [6].

В настоящем исследовании была разработана и модифицирована пара «генеративно-состязательная сеть-ансамблевый сглаживатель». Набор данных, используемый в эксперименте, представляет собой подмножество 2D-негауссовых изображений, состоящих из высокопроницаемых каналов. В наборе данных есть пять возможных геологических предшествующих сценариев. Изображения обозначаются как X , при этом прямая модель представляет собой линейный оператор G , а результирующие смоделированные ответы обозначаются как Y . Физическая система представляется как $Y = G(X)$ или $D = G(M)$. Цель эксперимента – обратное отображение $M = G'(D)$, которое не является тривиальным, если M не является гауссовым (что воспроизводит задачу зональной неоднородности), а G нелинейна. Как только алгоритм обучен, векторы z_m представляют собой аналогии моделей M , а z_d представляют данные D . Прямая модель G теперь представлена моделью регрессии, которая отображает z_m в z_d , как эффективная прокси-модель. Учитывая вектор наблюдения $d_{\text{наб}}$, ансамбль априорных значений z_m итеративно усваивается с использованием алгоритма ES-MDA, где каждое соответствующее z_d получается из прокси-модели. Схема разработанной системы показана на Рисунке 1.

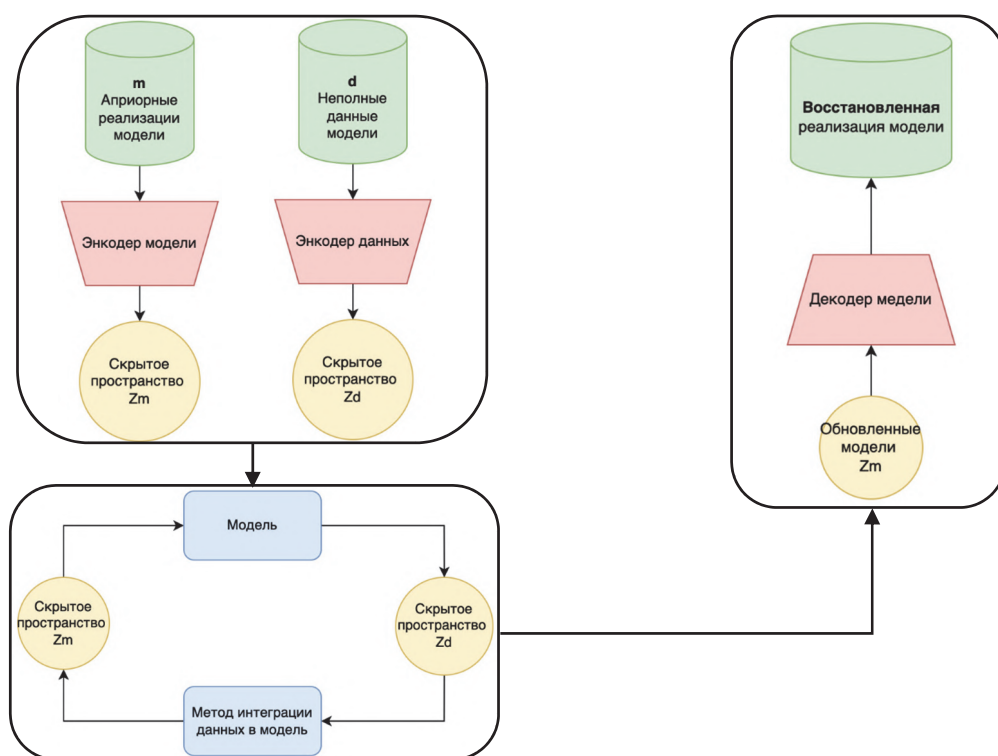


Рисунок 1 – Разработанная пара генеративно-состязательная сеть -ансамблевый сглаживатель

Результаты исследования показали, что на неполных данных в условиях неопределённости свойства проницаемости разработанный алгоритм сумел «восстановить» свойства пласта и снизить неопределенность. Для дальнейшей оптимизации процесса заводнения в качестве примера был выбрана одна из реализаций «восстановленного» пласта и апробирована на гидродинамической модели. Была выбрана базовая стратегия управления заводнением пласта – без использования системы глубокого обучения и устройств контроля притока. Результаты моделирования двух вариантов представлены в Таблице 1. Гидродинамическое моделирование показало увеличение коэффициента извлечения нефти при варианте с оптимизацией процесса заводнения на 11,91 %, увеличение накопленной добычи нефти на 829 тыс. м³, снижение накопленной добычи воды на 4 711 тыс. м³.

Таблица 1 – Технологические показатели разработки пласта для двух вариантов расчета

Годы отчетного периода	Обводненность для базового варианта, доли ед.	Обводненность для варианта с оптимизацией, доли ед.	КИН для базового варианта, %	КИН для варианта с оптимизацией, %	Накопленная добыча нефти для базового варианта, тыс. ст. м ³	Накопленная добыча нефти для варианта с оптимизацией, тыс. ст. м ³	Накопленная добыча воды для базового варианта, тыс. ст. м ³	Накопленная добыча воды для варианта с оптимизацией, тыс. ст. м ³
2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2001	0,80	0,00	16,12	3,92	112,24	27,27	49,43	0,00
2002	0,90	0,00	21,43	9,44	149,20	65,71	290,17	0,00
2003	0,93	0,00	25,53	15,74	177,70	109,59	613,69	0,00
2004	0,94	0,48	29,12	22,99	202,73	160,03	980,75	3,31
2005	0,95	0,54	32,48	30,04	226,13	209,14	1379,52	57,11
2006	0,95	0,62	35,67	36,98	248,29	257,41	1800,87	125,75
2007	0,96	0,76	38,37	42,73	267,12	297,42	2242,88	217,97
2008	0,97	0,82	40,53	47,02	282,14	327,34	2703,95	335,72
2009	0,98	0,88	42,16	50,37	293,51	350,63	3183,20	475,10
2010	0,98	0,91	43,50	52,97	302,79	368,71	3675,46	631,64
2011	0,98	0,93	44,71	55,06	311,25	383,30	4180,02	801,98
2012	0,99	0,94	45,84	56,83	319,14	395,64	4695,74	984,47
2013	0,99	0,95	46,91	58,35	326,58	406,18	5223,29	1178,50
2014	0,99	0,96	47,93	59,65	333,62	415,24	5758,84	1381,55
2015	0,99	0,97	48,89	60,80	340,37	423,26	6303,19	1592,70

На основании результатов исследования можно сделать вывод, что описанный подход может быть применен при решении аналогичных задач оптимизации разработки, например: распределение отборов и закачки в системах одновременно-раздельной добычи / закачки, подбор оптимальных фильтрационных сопротивлений скважинных устройств контроля притока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Guliev R., Zolotukhin A. Field development optimization of waterflooding process using data assimilation methods // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. № 1 (700). С. 012054.

2. Canchumun S.W.A. [и др.]. Recent Developments Combining Ensemble Smoother and Deep Generative Networks for Facies History Matching, 2020.

3. Emerick A.A., Portella R.C.M. Production Optimization With Intelligent Wells, SPE, 2007.

4. Meum P. [и др.]. Optimization of Smart Well Production through Nonlinear Model Predictive Control, SPE, 2008.

5. Oliver D.S., Reynolds A.C., Liu N. Inverse Theory for Petroleum Reservoir Characterization and History Matching / D.S. Oliver, A.C. Reynolds, N. Liu, Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

6. Гулиев Р.З. Использование генеративно-состязательных сетей в качестве метода генерации фаций для воссоздания геологической неоднородности пласта // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2023. (4). С. 27–35.

УДК 665.52.061.5

Гайле А.А., Карнаух В.С.

(Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический университет))

Камешков А.В.

(ООО «ПО «Киришинефтеоргсинтез»)

ЭКСТРАКЦИОННАЯ ОЧИСТКА ЛЕГКОГО ГАЗОЙЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА СМЕСЯМИ N-МЕТИЛПИРРОЛИДОНА С ЭТИЛЕНГЛИКОЛЕМ

Ранее в СПбГТИ(ТУ) исследована экстракционная очистка вакуумных газойлей и газойлей вторичных процессов нефтепереработки с целью получения компонентов судовых топлив, удовлетворяющих экологическим требованиям по содержанию серы – не более 0,5 % мас., с пониженным содержанием азотистых компонентов и полиароматических углеводородов и хорошими цетановыми характеристиками [1].

Установлено, что экстракционная очистка газойлей висбрекинга и в особенности замедленного коксования значительно более эффективна, чем прямогонных вакуумных газойлей – при низких соотношениях экстрагентов N-метилпирролидона (N-МП) или N,N-диметилформамида (ДМФА) к сырью. Это обусловлено повышенным содержанием в газойлях термических процессов гетероциклических соединений ароматического характера, а также аренов с короткими алкильными заместителями, более термически стабильных по сравнению с насыщенными сернистыми соединениями и наиболее легко экстрагирующихся апротонными селективными растворителями.

Исследована также экстракционная очистка газойлей каталитического крекинга, отличающихся наиболее высоким содержанием полиароматических углеводородов, в связи с чем для образования гетерогенной системы в качестве экстрагентов использованы ДМФА с 5 % мас. воды и N-МП с 10 % мас. воды [2]. Однако повышенное содержание воды в этих растворителях нежелательно из-за возможного гидролиза ДМФА с образованием муравьиной кислоты и гидролиза продукта окисления N-МП – N-метилсукцинимиды с образованием янтарной кислоты, вызывающих коррозию оборудования. Так, в процессе Arosolvan при экстракции аренов C₆ – C₈ из катализаторов риформинга вместо использовавшегося сначала водного N-МП стали применять смеси N-МП – этиленгликоль (ЭГ) состава 60/40 % мас.

Цель данной работы – установление возможности получения компонента судового топлива с содержанием серы 0,5 % мас. экстракционной очисткой легкого газойля каталитического крекинга (ЛГКК) смесями N-МП – ЭГ различного состава. Параметры опытов экстракции приведены в таблице 1. Опыты двух- и трехступенчатой экстракции проводили в перекрестном токе.

Результаты экстракционной очистки ЛГКК представлены в таблице 2. По степени извлечения экстрагируемые компоненты располагаются в следующий ряд, аналогичный ранее установленной последовательности при одноступенчатой экстракционной очистке газойлей термических процессов нефтепереработки [1]: азотистые соединения > три⁺-арены > сернистые соединения > диароматические углеводороды (ДАУ) > олефины > моноароматические углеводороды (МАУ).

Объяснение этой последовательности приведено в обзоре [1]. Степень извлечения олефинов рассчитана с учетом, что они представлены моноалкенами. В действительности при каталитическом крекинге образуются и диеновые углеводороды, причем сравнительно низкокипящие, коэффициенты активности которых в полярных растворителях могут быть ниже, чем гибридных моноаренов, содержащих несколько насыщенных циклов.

Как следует из таблицы 2, при трехступенчатой экстракции в перекрестном токе экстрагентом состава N-МП – ЭГ 70/30 % мас. содержание серы снижается в 3.3 раза в рафинате по сравнению с сырьем. Выход рафината возможно существенно повысить при противоточной экстракции в экстракторе эффективностью 5-6 теоретических ступеней, обычной при селективной очистке масляных фракций. Соотношение экстрагента к ЛГКК 1 : 1 мас. ниже, чем при производстве смазочных масел.

Содержание серы в рафинате опыта 5 несколько выше 0,5 % мас., но смешением его с рафинатом еще более легко обессеривающегося экстракцией легкого газойля замедленного коксования возможно получение судового топлива с высоким цетановым индексом, удовлетворяющего требованиям по содержанию сернистых компонентов.

Таблица 1 – Параметры экстракционной очистки ЛГКК смесями N-метилпирролидона с этиленгликолем при массовом отношении экстрагент : сырье 1 : 1 и температуре 40 °С

Параметры экстракции	Номер опыта				
	1	2	3	4	5
Содержание ЭГ в смешанном экстрагенте, % мас.	20	30	40	30	30
Число теоретических ступеней экстракции	1	1	1	2	3

Таблица 2 – Характеристика ЛГКК и рафинатов экстракционной очистки

Показатель	ЛГКК	Рафинаты опытов				
		1	2	3	4	5
Выход рафината, % мас.	–	34,7	46,2	64,1	39,2	33,1
Показатель преломления, n_D^{24}	1,5420	1,5040	1,5130	1,5240	1,4940	1,4820
Плотность, $г \cdot см^{-3}$, при 24 °С	0,9340 (20 °С)	0,8624	0,8737	0,8854	0,8602	0,8519
при 15 °С	0,9370	0,8686	0,8798	0,8913	0,8664	0,8582
Содержание серы, % мас.	2,10	1,16	1,35	1,62	0,924	0,642
Содержание азота, ppm	880	173	212	295	62	–
Содержание аренов, % мас.	71,1	49,2	59,0	62,1	45,7	24,8
в том числе: МАУ	21,4	20,7	23,8	22,6	22,4	21,2
ДАУ	39,0	26,0	31,8	35,4	21,7	3,2
Три ⁺	10,7	2,5	3,4	4,1	1,6	0,4
Бромное число, г Br ₂ /100 г	12,3	10,6	10,5	9,4	10,9	12,3
Цетановый индекс	31,1	47,7	44,5	41,4	48,3	50,8
Степень извлечения, % мас.:						
сернистых соединений	–	80,8	70,3	50,6	82,8	89,9
азотистых соединений	–	93,2	88,9	78,5	97,2	–
МАУ	–	66,4	48,6	32,3	69,0	67,2
ДАУ	–	76,9	62,3	41,8	78,2	97,3
Три ⁺ -аренов	–	91,9	85,3	75,4	94,1	98,8
олефинов	–	70,1	60,6	51,0	65,3	66,9

ЛИТЕРАТУРА

1. Gaile A.A., Kameshkov A.V., Klement'ev V.N., Vereshchagin A.V. Production of Marine Fuel Components by Extraction Treatment of Vacuum Gasoils and Gasoils from Secondary Oil Refining Processes (A Review) // *Pet. Chem.* – 2023. – Vol. 63. – № 3. – P. 489-509. <https://doi.org/10.1134/S0965544123040047>
2. Камешков А.В., Гайле А.А., Карнаух В.С., Волков Д.А. Экстракционная очистка легкого газойля каталитического крекинга N,N-диметилформамидом и N-метилпирролидоном // *Нефтепереработка и нефтехимия.* – 2023. – № 4. – С. 24-28.

УДК 621.371: 550.837.6

Янушкевич В.Ф., Раскин В.И.

(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

МЕТОДЫ ПОИСКА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Актуальность приведенных в настоящей работе исследований определяется повышенными требованиями современной электроразведки к точности поиска и определения границ углеводородных залежей (УВЗ) [1 - 3]. Тенденции модификации электромагнитных методов поиска основываются на построении электродинамических моделей скоплений нефти и газа и получения откликов на зондирующее воздействие. Известны результаты моделирования сочетанием трехмерного конечно-элементного метода во временной области и трехмерного конечно-разностного метода в частотной области с использованием поверхностных гальванических источников в режимах радиальной и поперечной поляризации со скважинными приемниками [4]. Электродинамический отклик зондирующих сигналов определяется электрохимическими и электрофизическими процессами с образованием на границе с воздушным пространством промежуточной области, характеризующейся избытком свободных электронов при воздействии высокой температуры и пластовых давлений над залежью углеводородов [5, 6].

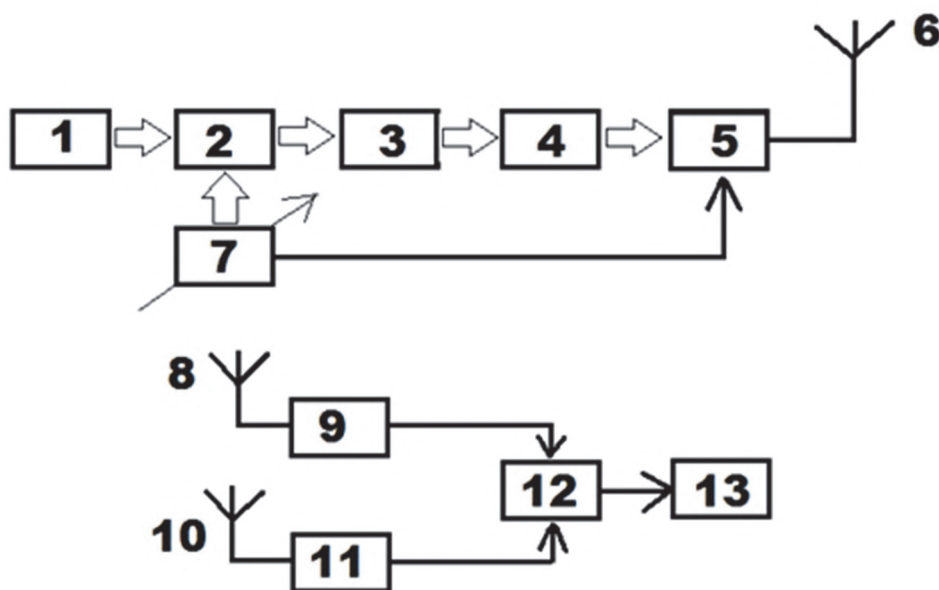
Были проведены экспериментальные исследования поверхностного импеданса среды над УВЗ в режиме амплитудно-частотно-модулированных сигналов (АЧМ) [1] с применением системы для реализации фазовых измерений (рис.1). Использование данного вида взаимодействия сигналов с УВЗ позволит повысить информативность методов поиска и идентификации.

С помощью устройства 12 и измерителя разности фаз 13 определяются фазовые сдвиги

$$\Delta\varphi_1 = \varphi_{z11}^1 - \varphi_{z11}^2 \quad (1)$$

$$\Delta\varphi_2 = \varphi_{z12}^1 - \varphi_{z12}^2, \quad (2)$$

где $\Delta\varphi_1, \Delta\varphi_2$ – разности фаз поверхностного импеданса соответственно для 1 и 2 каналов, $\varphi_{z11}^1, \varphi_{z11}^2$ – фазы поверхностного импеданса для составляющих АЧМ-сигнала по осям x и y для правой круговой поляризации, $\varphi_{z12}^1, \varphi_{z12}^2$ – фазы поверхностного импеданса для составляющих АЧМ-сигнала по осям x и y для левой круговой поляризации.



1 – генератор; 2 – ЧМ-модулятор; 3 – буферный каскад; 4 – АМ-модулятор;
5 – выходные каскады передатчика; 6, 8, 10 – антенны; 7 – генератор модулирующей частоты; 9, 11 – радиоприёмные устройства; 12 – устройство сравнения; 13 – измеритель разности фаз

Рисунок 1 – Радиотехническая система для реализации фазовых измерений в режиме амплитудно-частотно-модулированных сигналов

Предлагаемый способ был опробован на Южно-Тишковском месторождении УВЗ Гомельской области. Точки измерения выбирались следующим образом: обе точки измерения фазы находятся вне УВЗ, одна точка измерения фазы находится над УВЗ, вторая точка измерения фазы – вне УВЗ, обе точки измерения фазы находятся над УВЗ. Когда только одна точка измерения фазы (рис. 2) находится на границе залежи (пикет 550 для Южно-Тишковского месторождения УВЗ), происходит

уменьшение фазовой составляющей \dot{Z}_{11} от величины 2,0 рад (частота $f = 100$ МГц) до величины 0 рад (частота $f = 1000$ МГц) и с увеличением до 0,4 рад (частота $f = 1500$ МГц). По аномальным значениям фазовой составляющей \dot{Z}_{11} определяли границу УВЗ. В случае расположения обеих точек измерения фазы вне УВЗ наблюдаются отличия фазы в 2 каналах измерения с максимумом 0,4 рад (частота $f = 100$ МГц). В случае расположения обеих точек измерения фазы над УВЗ наблюдаются отличия фазы в 2 каналах измерения с максимумами 0,6 рад (частота $f = 100$ МГц) и 0,5 рад (частота $f = 300$ МГц).

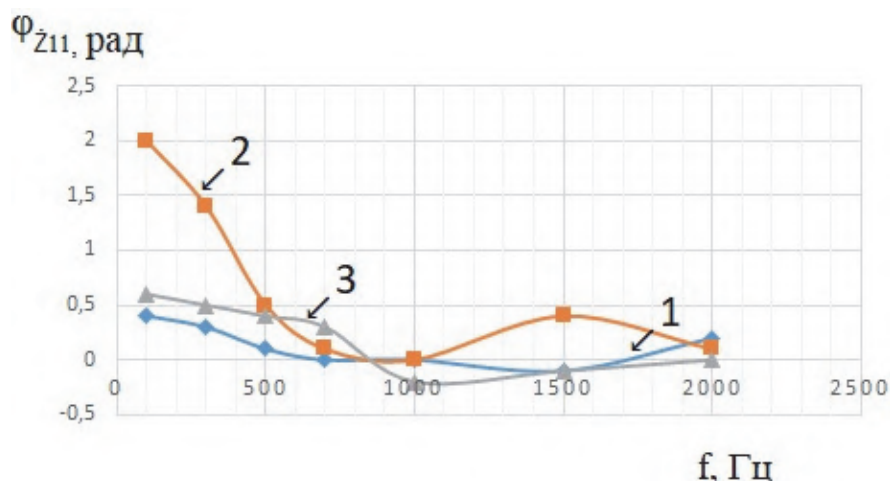


Рисунок 2 – Экспериментальные зависимости фазовой составляющей \dot{Z}_{11} для Южно-Тишковского месторождения
 1 – обе точки вне УВЗ, 2 – одна точка над УВЗ, вторая точка вне УВЗ
 3 – обе точки над УВЗ

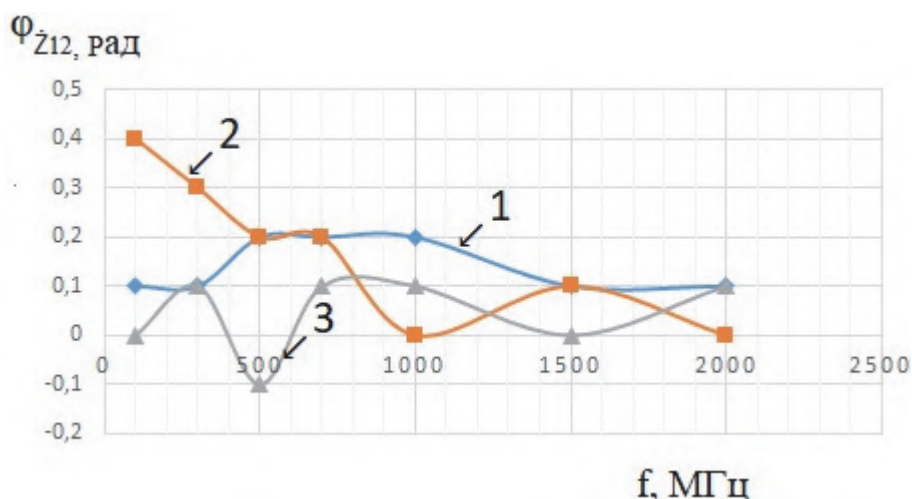


Рисунок 3 – Экспериментальные зависимости фазовой составляющей \dot{Z}_{12} для Южно-Тишковского месторождения:
 1 – обе точки вне УВЗ, 2 – одна точка над УВЗ, вторая точка вне УВЗ,
 3 – обе точки над УВЗ

При размещении только одной точки измерения фазы (рис. 3) на границе залежи (пикет 550 для Южно-Тишковского месторождения УВЗ), происходит уменьшение фазовой составляющей \dot{Z}_{12} от величины 0,4 рад (частота $f = 100$ МГц) до величины 0 рад (частота $f = 1000$ МГц) с увеличением фазы до величины 0,1 рад (частота $f = 1500$ МГц). По аномальным значениям фазовой составляющей \dot{Z}_{12} определяли границу УВЗ.

В случае расположения обеих точек измерения фазы вне УВЗ наблюдаются отличия фазы в 2 каналах измерения с максимумами 0,2 рад (частоты $f = 500, 700, 1000$ МГц). В случае расположения обеих точек измерения фазы над УВЗ наблюдаются отличия фазы в 2 каналах измерения с наличием как отрицательных, так и положительных разностей фаз.

Способ может быть реализован на несущих частотах АЧМ-сигнала 0,1...2 ГГц при использовании частоты модуляции $F = 10...100$ МГц с коэффициентами амплитудной модуляции в диапазоне 0,1...1,0 при индексах частотной модуляции в интервале 20...95.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янушкевич, В.Ф. Электромагнитные методы поиска и идентификации углеводородных залежей / В.Ф.Янушкевич // – Новополюцк, ПГУ, 2017. – 232с.
2. Петров, К.Н. Метод монотонных функций и его применение к прогнозу залежей углеводородов / К.Н. Петров // Информационные процессы. – 2023. – Т. 23. – № 1. – С. 126-137.
3. Ellis, M. Importance of anisotropic rock physics modelling in integrated seismic and CSEM interpretation / M. Ellis [et al.] // First Break. – 2011. – Vol. 29. – P. 87 – 95.
4. Colombo, D. Quantifying surface-to-reservoir electromagnetics for water flood monitoring in a Saudi Arabian carbonate reservoir / D. Colombo, G.W. McNeice // Geophysics. – 2013. – Vol.78. – P.E281-E297.
5. Yanushkevich, V. F. Effect of a powerful low-frequency signal on an anisotropic medium over hydrocarbon / V. F. Yanushkevich, D. A. Dauhiala, A. L. Adamovich [et al]. – Text: electronic // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1889. – P. 1 – 7.
6. Гололобов, Д.В. Влияние параметров амплитудно-модулированного воздействия на фазовые составляющие поверхностного импеданса анизотропной среды плазмopodobного типа / О.В. Орлова, В.Ф. Янушкевич // Вестник ПГУ. Серия С. Фундаментальные науки. Физика. - Новополюцк, 2010. – №9. – С.98 – 101.

ИЗУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ИНГИБИРУЮЩИХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ НЕЙТРАЛЬНОГО СУЛЬФОНАТА КАЛЬЦИЯ

Вследствие коррозии теряется большое количество металла, на восполнение которого в разных отраслях промышленности расходуется до 50% ежегодно производимого металла. В связи с этим проблема защиты металлических изделий от коррозионного разрушения относится к числу насущных практических задач.

Основное место в структуре системы обеспечения защиты металлов от коррозии занимают консервационные масла, содержащие ингибиторы коррозии [1]. Одним из видов антикоррозионных присадок к маслам являются сульфонаты различных металлов, которые также обладают моющими и нейтрализующими свойствами. Согласно литературным данным [2], в качестве ингибиторов коррозии более эффективны нейтральные сульфонаты, чем сверхосновные. Однако в качестве моющих присадок к маслам они уступают сверхосновным сульфонатам.

В качестве объекта исследований были выбраны: присадка НССК-30 ТУ ВУ 390401182-022-2011, представляющая раствор нейтрального синтетического сульфоната кальция в минеральном масле, произведенного на основе диалкилбензолсульфокислоты. Щелочное число присадки не превышает 30 мг КОН/г, а также масло НС-4 (ТУ ВУ 300042199.037-2015). Присадка в масло добавлялась в количестве 5% масс.

Оценка защитной способности ингибирующих составов на основе растворов нейтрального сульфоната кальция в базовом масле НС-4 осуществлялась по методу 4 ГОСТ 9.054: визуально путем микроскопического анализа поверхности стальных пластинок после пребывания в растворе электролита, а также по показателю коррозии, характеризующему, изменение массы единицы площади пластинки за время испытаний (168 часов) – результаты представлены на рисунке 1 и по методу 1 ГОСТ 9.054: визуально путем анализа поверхности стальных пластинок после пребывания в климатической камере (48 часов при температуре 40 С° и влажности 100%), а также по показателю коррозии – результаты представлены на рисунке 2.

В качестве стальных пластинок использована сталь со следующим химическим составом: Fe (99,1000% масс.), С (0,1560% масс.), S (0,0242% масс.), As (0,0153% масс.), Со (0,0102% масс.), Си (0,0091% масс.), Ti (0,0022% масс.), примеси других элементов (0,6830 % масс.).

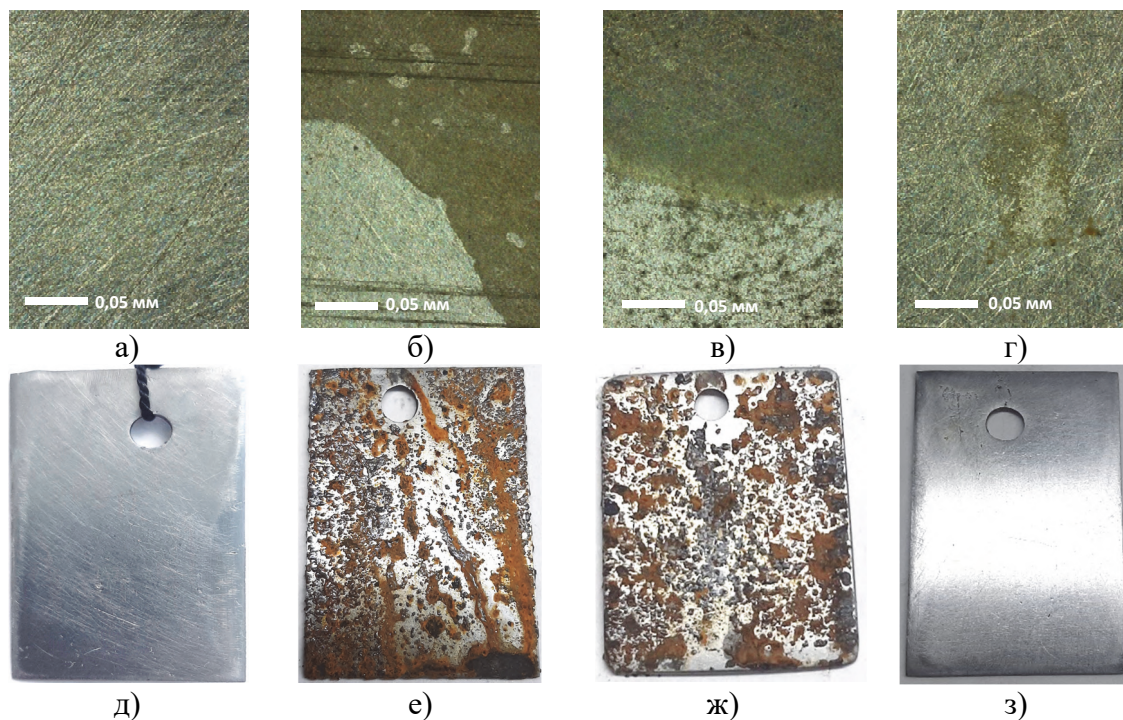


Рисунок 1 – Внешний вид поверхности стальных пластинок после пребывания 168 часов в растворе электролита (а-г) и после пребывания 48 часов в климатической камере (д-з):

а, д) контрольная пластинка; б, е) сталь не обработанная ингибирующим составом; в, ж) сталь обработанная маслом НС-4, г, з) сталь обработанная раствором базовое масло + сульфонат кальция

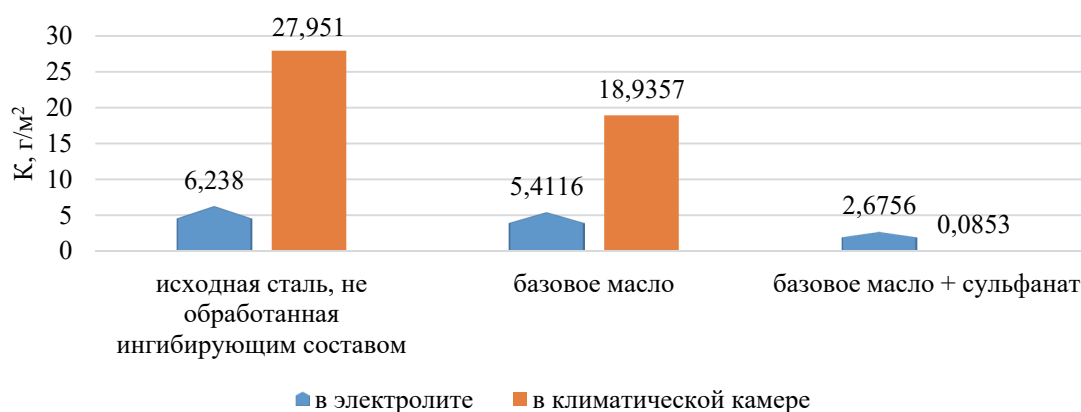


Рисунок 2 – Изменение показателя коррозии стали в электролите и климатической камере при её обработке базовым маслом без и с добавлением сульфоната

Из результатов исследования видно, что добавка нейтрального сульфоната кальция к базовому маслу НС-4 улучшает ингибирующие свойства последнего, причем наилучшие результаты наблюдаются в климатической камере.

Для оценки изменения рельефа поверхности стали в процессе коррозии и эффективности защитного действия базового масла без и с добавлением сульфоната, был использован метод атомно-силовой микроскопии (рис. 3 и 4).

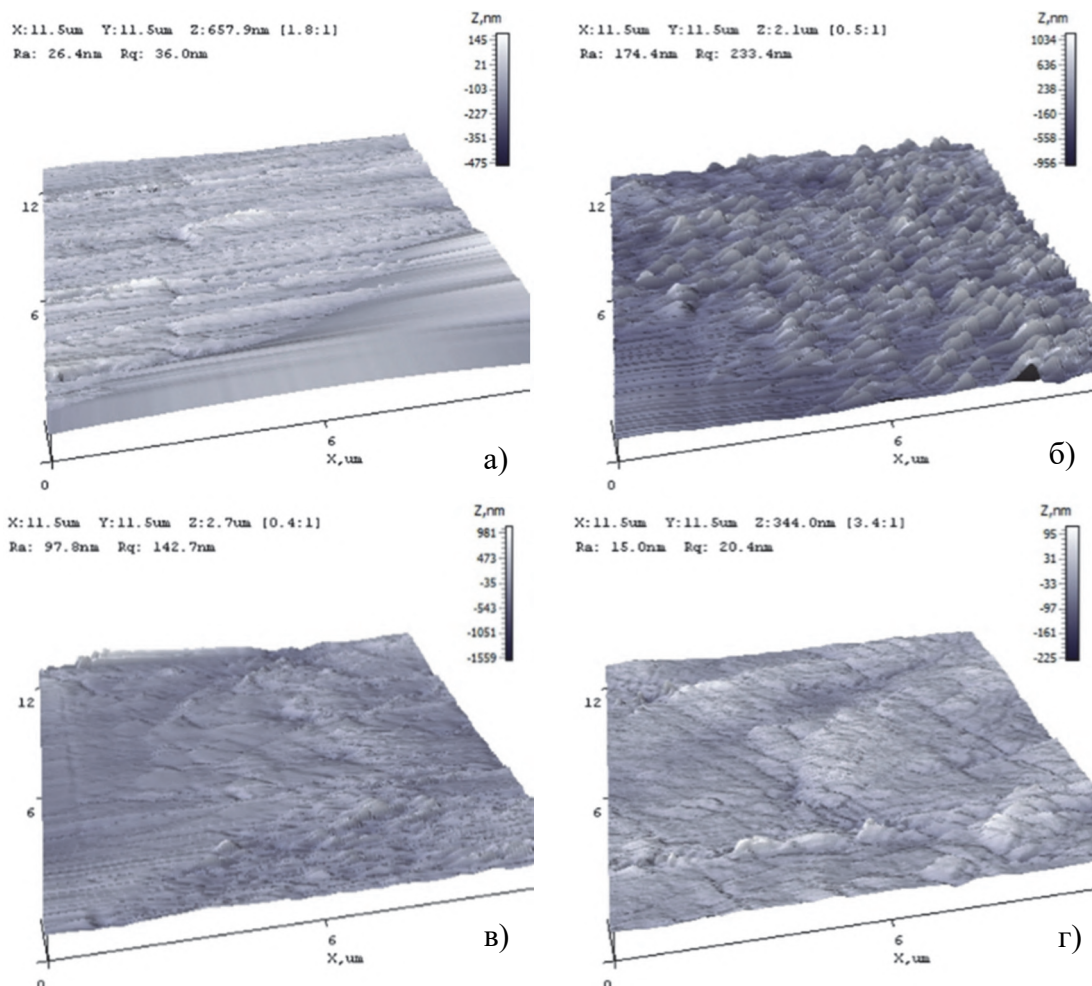


Рисунок 3 – Изображения поверхности стальных пластинок после пребывания в растворе электролита (168 часов):

- а) контрольная; б) не обработанная ингибирующим составом;
- в) обработанная маслом НС-4, г) обработанная раствором базовое масло + сульфонат кальция

Наблюдается существенное различие рельефа поверхности образца стали после пребывания в климатической камере и растворе электролита (рис. 3б и рис. 4б). Это можно объяснить отличием механизма протекания коррозии в различных условиях. В электролите наблюдается растворение стали с образованием солей. В климатической камере наблюдается образование оксидов железа и формирование ПИТТИНГОВ.

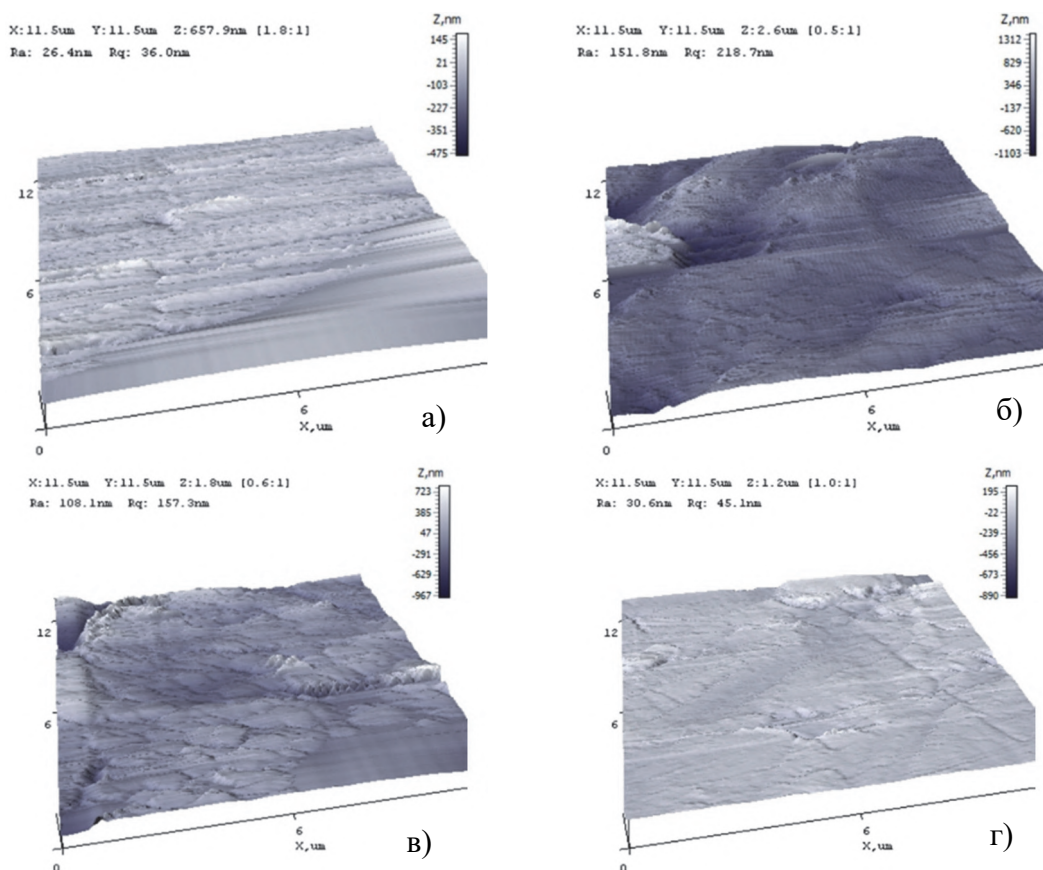


Рисунок 4 – Стальных пластинок после климатической камеры (48 часов):
 а) контрольная; б) не обработанная ингибирующим составом; в) обработанная маслом НС-4; г) обработанная раствором базовое масло + сульфонат кальция

Таким образом, присадка НССК-30 является достаточно эффективным ингибитором коррозии стали в составе масла НС-4. Поиск способов повышения ее антикоррозионной активности является актуальным и перспективным направлением в области защиты металлов от коррозии. Комплексное использование методов оптической и атомно-силовой микроскопии, а также оценка изменения массы образца, позволяет оценить интенсивность и механизм протекания коррозии стали в различных условиях и эффективность используемых защитных составов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайдар, С.М. Разработка технологий получения высокоэффективных защитных материалов от атмосферной коррозии с использованием сырья растительного происхождения и фторсодержащих поверхностно-активных веществ: монография / С.М. Гайдар [и др.]. – М.: МАДИ, 2021. – 165 с.
2. Шехтер, Ю.Н. Защита металлов от коррозии (ингибиторы, масла и смазки) / Ю.Н. Шехтер. – М.: Химия, 1964 г. – 120 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОВЛЕЧЕНИЯ ГУДРОНА И ПРОДУКТОВ ЕГО ДЕАСФАЛЬТИЗАЦИИ В ПРОЦЕСС КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА

Эффективная переработка тяжелых нефтепродуктов в индустриальном обществе является одним из главных способов улучшения экологии в мире. Процесс каталитического крекинга FCC позволяет увеличить глубину переработки нефти, так как предназначен для получения дополнительного количества легкокипящих углеводородов из более высококипящих. Однако переработка таких тяжелых продуктов сильно ограничена характеристиками сырья и катализатора. Несмотря на это, ведутся исследования по возможности переработки в процессе крекинга: пиролизного масла, нефтяного битума, отработанных масел и др. продуктов [1–4].

В настоящем исследовании поставлено две задачи:

- оценить показатели качества альтернативного сырья в процессе каталитического крекинга FCC: гудрона и деасфальтизата (ДА);
- провести анализ выход продуктов каталитического крекинга при утяжелении сырья.

Для определения основных показателей качества сырьевых компонентов использована классификация сырья каталитического крекинга, представленная в [5]. Физико-химический анализ ряда высококипящих нефтепродуктов, в частности, гудрона (см. табл. 1), показал, что последний имеет высокое содержание металлов, которые негативно влияют на процесс каталитического крекинга, отравляя катализатор [6].

Таблица 1 – Физико-химические характеристики потенциального сырья крекинга

Сырьевой компонент	Плотность, кг/м ³	Коксуемость, мас. %	Содержание S, масс. %	Содержание Ni, г/т	Содержание V, г/т
Вакуумный газойль	913,06	0,3	2,72	<< 10	<< 10
Деасфальтизат	921,43	0,9	2,34	<< 10	<< 10
Гудрон	981,20	13,1	2,38	30	50

Поэтому в данной работе использовали смесь вакуумного газойля (ВГ) и гудрона в массовом соотношении 4:1 соответственно.

Оценка фракционного состава вакуумного газойля и деасфальтизата проведена на газовом хроматографе Agilent 7890В с использованием специального программного обеспечения AC SimDis (рис. 1). По результатам анализа можно говорить о более низких температурах выкипания отдельных фракций первого продукта.

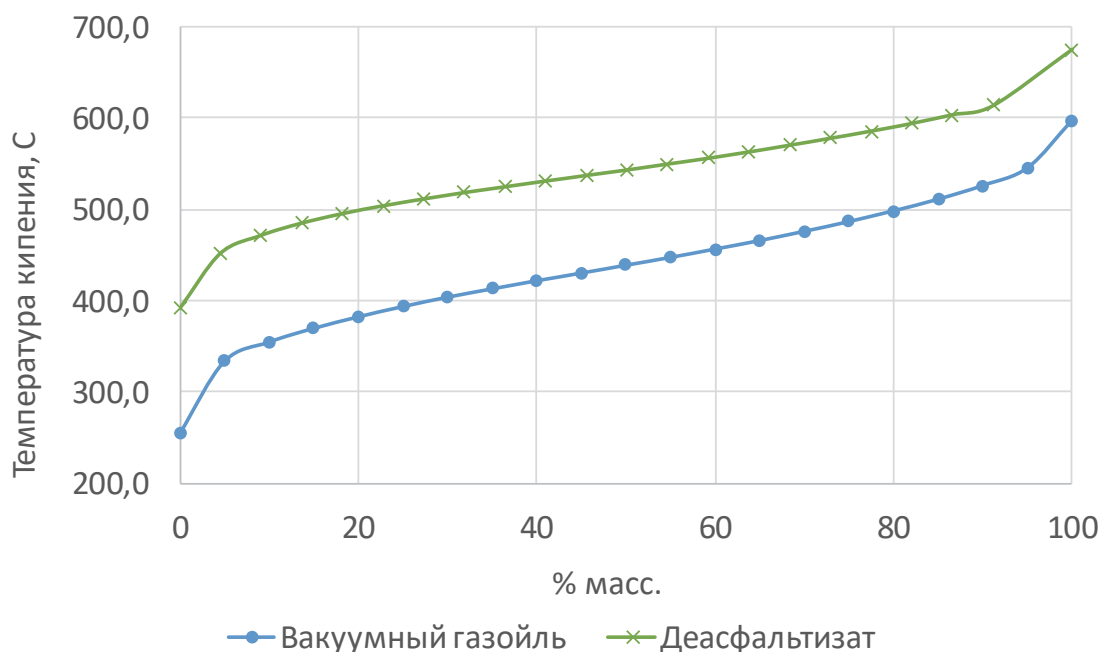


Рисунок 1 – Фракционный состав сырья крекинга

Групповой анализ вакуумного газойля и деасфальтизата представлен в таблице 2. Результаты показывают высокую долю парафино-нафтенной части деасфальтизата, несмотря на значительное увеличение температуры кипения продукта.

Таблица 2 – Групповой состав сырья крекинга

Наименование класса	ВГ	ВГ: гудрон (4:1 масс.)	ДА
Парафино-нафтенновые углеводороды	33,0	25,0	31,0
Моноциклические арены	29,5	33,7	36,2
Полициклические арены	37,5	41,3	32,8
сумма	100,0	100,0	100,0

Крекирование исследуемых образцов проведены на установке ACE R+ при температуре 530 °C, режим псевдооживления создавался с помощью азота. Массовое соотношение катализатор/сырье равно 6. Результаты крекинга представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Выход продуктов каталитического крекинга

Наименование	ВГ	ДА	ВГ:гудрон (4:1)
Степень конверсии, %	73,9	79,0	74,3
Кокс	6,8	8,0	9,0
Сухой газ, в т.ч.	2,0	2,0	2,1
Водород	0,096	0,103	0,096
Метан	0,7	0,7	0,8
Этан	0,5	0,5	0,5
Этилен	0,7	0,7	0,7
Фракция C ₃ , в т.ч.	7,1	7,6	6,4
Пропан	1,3	1,3	1,3
Пропилен	5,7	6,3	5,2
Фракция C ₄ , в т.ч.	11,5	12,6	10,4
н-Бутан	1,0	1,0	0,9
Изобутан	4,5	4,7	4,0
Бутен-1	1,3	1,4	1,2
Бутен-2	3,1	3,5	2,8
Изобутилен	1,6	2,0	1,5
Бензин (C ₅ –210 °С)	46,5	48,7	46,4
Фракция 210–340 °С	16,9	14,7	17,1
Фракция > 340 °С	9,2	6,4	8,6
Выход продуктов, масс. %	100,0	100,0	100,0

В ходе экспериментов, установлено, что крекинг продуктов пропановой деасфальтизации дает высокий выход бензиновой фракции и легких углеводородов, что делает перспективным его использование в качестве сырья каталитического крекинга II типа (не требующего предварительной подготовки). При крекинге деасфальтизата наблюдается наименьший выход фракций, выкипающих выше 210 °С, в сравнении с вакуумным газойлем и смесью ВГ-гудрон. В то же время выход кокса на деасфальтизате выше, чем на вакуумном газойле. Групповой анализ этих сырьевых компонентов показал, при близких значениях концентрации парафино-нафтеновых углеводородов, более высокое содержание моноциклических аренов в деасфальтизате. Этот класс углеводородов может принимать участие в реакциях расщепления наряду с парафинами за счет наличия длинных боковых цепей. Гудрон не может использоваться в чистом виде, однако его добавка к вакуумному газойлю в количестве до 20 % масс. позволяет охарактеризовать этот продукт как сырье II типа.

Исследования выполнены на базе оборудования Научного образовательного центра FCC и Центра наукоемких химических технологий и физико-химических исследований Пермского национального исследовательского политехнического университета, рег. номер: 354089.

ЛИТЕРАТУРА

1. Siau Ng et al. Comparison of catalytic cracking performance between riser reactor and microactivity test (MAT) unit / Ng Siau, Yang Hong, Wang Jinsheng, Zhu Yuxia, Fairbridge Craig, Yui Sok // *Energy and Fuels*. 2001. Vol. 15, № 4. P. 783–785.

2. Ancheyta J., Rodríguez S. Results of processing VGO-LCO blends in a fluid catalytic cracking commercial unit / J. Ancheyta, S. Rodríguez // *Energy and Fuels*. 2002. Vol. 16, № 3. P. 718–723.

3. Haruna A.M., Meredith W., Snape C.E. Synergistic effect in co-processing a residue from a transesterification process with vacuum gas oil in fluid catalytic cracking / A.M. Haruna, W. Meredith, C.E. Snape // *Fuel*. Elsevier Ltd, 2022. Vol. 327, P. 124973–124983.

4. Липин П.В. и др. Совместный крекинг вакуумного газойля на цеолитсодержащих катализаторах различного / П.В. Липин, О.В. Потепенко, Т.П. Сорокина, В.П. Доронин // *Современные молекулярные сита.* – 2022. – Т.4, №2. – С. 76–85.

5. Лихтерова Н.М. Технология глубокой переработки нефти. Ч.1. Термокаталитические процессы / Н.М. Лихтерова. – М., МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2004. – 64 с.

6. № 2624443 С2. Российская Федерация. Катализатор для каталитического крекинга углеводородов / Хаяси С., Аракава С., Сакаи С. // URL:<https://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=2624443> (Дата обращения: 29.09.2023). – 2013.

УДК 504.064.2

Белов Д.А.

(Тюменский индустриальный университет)

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Нефтегазовая промышленность на протяжении многих лет вносит большой вклад в мировую экономику, являясь ценным источником энергии для транспорта, производства и других аспектов современной

жизни. Однако эта отрасль все чаще становится объектом пристального внимания в связи с ее негативным воздействием на окружающую среду, что приводит к усилению регулирования и необходимости совершенствования технологий для снижения выбросов и повышения эффективности. В этом могут помочь информационные технологии (ИТ), которые играют все более важную роль в нефтегазовой сфере для улучшения охраны окружающей среды.

По данным консалтинговой компании CB Insight, доля инвестиций в проекты по цифровизации нефтегазовой отрасли составляет 25-40% от общего объема финансирования в эту сферу. Крупными ИТ компаниями, специализирующимися на нефтегазовой сфере, являются KappaEngineering, RFD, TGToil, компании, которые имеют в числе своих направлений ИТ разработки для нефтегазового сектора Schlumberger, Halliburton, CGGVeritas, EmersonElectric и др. Наиболее крупными ИТ компаниями на российском рынке являются Сигма, Ай-теко, Ланит, КРОК, УЦСБ, ГК Форс, Сател, Tegrus и др.

Ранжирование ИТ по распространенности внедрения и прогноз по данным Сколтех представлены на рисунке 1.

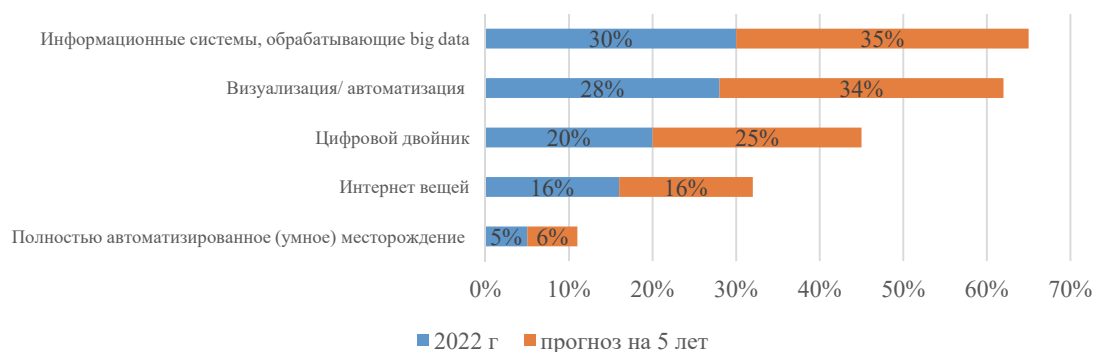


Рисунок 1 – Ранжированные ИТ технологии нефтегазовой сферы по степени внедрения

Важную роль в информационном обеспечении предприятий нефтегазовой отрасли играют географические информационные системы. ГИС можно использовать для составления карт потенциальных участков для разведки нефти и газа, а также для мониторинга землепользования и соблюдения экологических норм, отслеживания сейсмической активности и мониторинга состояния поверхности и недр, для выявления и мониторинга потенциальных экологических проблем [1]. Пример использования ГИС для моделирования аварийной ситуации разлива нефти представлен на рисунке 2.

<p>Построение трехмерной модели местности</p>	<ul style="list-style-type: none"> • построение геоинформационной модели территории (ГИМ), включающих отметки высот, объекты геодезической сети, дорожную сеть, трубопроводную сеть, водные объекты, растительность и др. • построение триангуляционной поверхности рельефа (TIN) • создание регулярной сетки поверхности (GRID)
<p>Определение маршрутов стекания нефти по рельефу</p>	<ul style="list-style-type: none"> • определение направлений стекания и длины разлива нефти, мест скопления в локальных понижениях
<p>Моделирование аварийного разлива на водных объектах</p>	<ul style="list-style-type: none"> • построение модели фарватера реки, анализ русла реки и расчет течения • построение модели движения нефтяного пятна, расчет числовых характеристик (площадь, концентрация, длина по фронтальной части)

Рисунок 2 – Использование ГИС для моделирования аварийных ситуаций

ГИС системы работают с технологиями Big Data. Источниками информации для ГИС являются космические аппараты с оптическими датчиками высокого разрешения, беспилотные летающие объекты, высокоточные ГЛОНАСС/РВ-измерения деформаций земной поверхности. Примерами ГИС, распространенных на рынке НГК являются ArcGIS компании Esri Inc., MapInfo Pro™ компании Pitney Bowws (MapInfo Corp.), ГИС «Панорама» ЗАО «КБ «ПАНОРАМА» и ГИС GET MAP компании «Совзонд».

Еще одно направление информационных технологий в нефтегазовой промышленности – интернет вещей (IoT) существует для решения непростой задачи быстрого сбора необходимых технологических данных на большом количестве производственных объектов. В экологическом направлении его используют для контроля условий окружающей среды: качества воздуха, воды, и для мониторинга выбросов в результате производственных процессов.

Цифровые двойники без возникновения реальной угрозы помогают моделировать условия работы аварийных систем при пожаре, прорыве трубопроводов и других чрезвычайных ситуациях. Такая информация позволяет заранее продумать план ликвидации аварийных ситуаций и тем самым повышать безопасность нефтегазовых объектов для человека и природы.

Искусственный интеллект (ИИ) используется в нефтегазовой отрасли для повышения эффективности работы, снижения затрат и минимизации воздействия на окружающую среду. ИИ включает в себя сеть взаимосвязанных процессоров (искусственных нейронов), которые способны к самообучению. Возможность обучения и является главным преимуществом нейронной сети. С экологической точки зрения имеется две потенциальные сферы применения технологий на основе ИИ: в геологоразведке и в добыче [2].

На стадии добычи нефти ИИ используется в умных месторождениях (Smart Field, iField). Поставщиками технологий являются зарубежные компании Chevron, BP и Shell. Согласно исследованию Cambridge Energy Research Association (CERA), коэффициент извлечения нефти на 2—10% выше, чем на традиционных. В таблице 1 представлена информация о существующих проектах с использованием ИИ.

Таблица 1 – Существующие проекты в России с использованием ИИ

Компания	Проекты, шт.	Доля в добыче, %	Доля в запасах, %
Роснефть	16	36 %	33 %
ЛУКОЙЛ	13	16 %	10 %
Газпром нефть	8	45 %	32 %
Татнефть	1	53 %	28 %
Всего	43	27 %	21 %

С помощью ИИ можно создавать абсолютно автоматизированные объекты, управляемые дистанционно без участия людей (безлюдные технологии), что снижает риски возникновения аварийных ситуаций из-за человеческого фактора и способствует контролю экологической ситуации. Однако несмотря на развитие ИТ имеются также проблемы, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Проблемы ИТ в нефтегазовой сфере и пути их решения

Существующие проблемы	Пути решения
Импортозависимость по отдельным направлениям 80-90% (особенно шельфовое оборудование)	Импортозамещение отечественными разработками, диверсификация рынков Азии, Латинской Америки, арабских стран.
Потребность в больших инвестициях	Высокая приоритетность инвестирования в ИТ (20-40% инвестиций в нефтегазовую отрасль направлены на ИТ)
Недостаток квалифицированных кадров	Обучение кадров, мотивация и стимулирование имеющихся специалистов
Отсутствие единого стандарта для взаимодействия различных устройств	Создание комплексных отечественных проектов с упрощенной интеграцией устройств
Структурные проблемы в общей системе создания инноваций	Создание благоприятных условий в цепочке разработки ИТ
Слабая готовность компаний к перенастройке бизнес-процессов	Повышение квалификации и обучение сотрудников
Высокая цифровизация создает риск угрозы хакерских атак	Повышение уровня информационной безопасности

Комбинирование технологий больших данных, интернета вещей, цифровых двойников и самообучающейся нейронной сети позволяет добиться высоких результатов нефтегазовой отрасли. По мере развития технологий, вероятно, ИТ будут играть все более важную роль в оказании помощи отрасли в повышении эффективности и экологической ответственности. При этом существует несколько проблем, которые мешают развитию ИТ в нефтегазовой промышленности: импортозависимость, потребность в инвестициях и кадрах, структурных изменениях, отсутствие единых стандартов и др. Импортозамещение информационных технологий в российской нефтегазовой отрасли оценивается в 30%. В 2023-2024 годах может произойти резкий рост запуска и внедрения российских ИТ-решений в топливно-энергетическом секторе [3]. Целью стоит за 3-5 лет выйти на подавляющее большинство российских технологий и новых поставщиков технологий среди арабских стран, Азии, Латинской Америки. Выполнение данной цели – стратегическая задача безопасности нефтегазовой отрасли РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронова Е.В., Петрова Л.В., Хуснутдинова Р.Р., Мондзонго Л.Ж. Геоинформационная система в нефтегазовой отрасли // *The Scientific Heritage*. – 2021. № 64. – С. 3-6
2. Подольский А.К. Применение методов искусственного интеллекта в нефтегазовой промышленности // *Современная наука*. 2016. - №3. С. 33-36.
3. Куклина Е. А. Стратегия цифровой трансформации как инструмент реализации бизнес-стратегии компании нефтегазового сектора современной России // *Управленческое консультирование*. – 2021. - № 6. – С. 40-53.

УДК 547.313

Белов Д.А.

(Тюменский индустриальный университет)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОЛЕФИНОВ В РФ

Актуальность темы роста производства олефинов в России обусловлена несколькими причинами. В настоящее время олефины являются одними из основных сырьевых материалов для производства

пластмасс, резин, синтетических волокон и других продуктов химической промышленности. Спрос на эти продукты постоянно растет как на внутреннем рынке, так и на мировом. Развитие производства олефинов позволит России увеличить свою долю на мировом рынке и снизить зависимость от импорта. Развитие производства олефинов в РФ способствует созданию новых рабочих мест, развитию научно-исследовательских и инновационных проектов, а также привлечению инвестиций в отрасль. Это способствует экономическому росту страны и увеличению ее конкурентоспособности.

Одним из главных производителей олефинов в России является НПЗ «Газпром нефтехим Салават». Завод специализируется на производстве этилена и пропилена – двух основных олефинов для полимерного производства. Ежегодно завод производит около 800 тысяч тонн этилена и 420 тысяч тонн пропилена. Россия имеет и другие компании, занимающиеся производством олефинов. Например, ОАО «Нижнекамскнефтехим», ОАО «СИБУР-Холдинг» и др. Вместе они формируют значительную долю российского рынка олефинов.

В ближайшем будущем можно ожидать роста производства олефинов в России. Российские компании активно развивают свои производственные мощности и модернизируют существующие заводы. Например, «Газпром нефтехим Салават» планирует расширить производственные мощности до 1,5 миллиона тонн этилена и 700 тысяч тонн пропилена в ближайшие годы [1].

Повышение производства олефинов в России будет способствовать развитию отечественной полимерной промышленности. Это позволит не только удовлетворить растущий спрос на полимеры внутри страны, но и увеличить экспортные возможности. Россия сможет стать крупным поставщиком олефинов и полимеров на международном рынке.

Существует пять основных направлений разработок и исследований в области производства олефинов в России. В таблице 1 представлен их сравнительный анализ [2].

Так, перспективные возможности для развития производства олефинов в России выступают следующие:

- Интенсивное развитие нефтехимической промышленности в России и модернизация производств способствуют увеличению объемов производства олефинов.

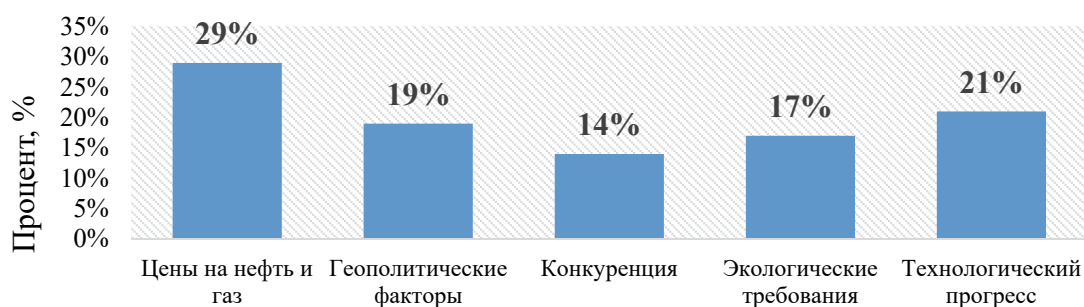
- Возможность использования альтернативных сырьевых материалов, таких как биомасса и другие, создает потенциал для более устойчивого и экологически чистого производства олефинов.

- Развитие экспортного потенциала позволяет России поставлять олефины и соответствующие полимеры на международный рынок.

Таблица 1 – Анализ направлений разработок в области производства олефинов в РФ

1. Развитие катализаторов	
Описание	Исследования в области разработки новых катализаторов для производства олефинов позволяют увеличить эффективность процесса и получать более чистые и высококачественные продукты
Плюсы	Повышение эффективности производства, улучшение качества продукции
Минусы	Высокие затраты на исследования и внедрение новых катализаторов
Компании	Роснефть, Газпром нефтехим Салават, Сибур, Лукойл
2. Технологии переработки биомассы	
Описание	Исследования по использованию биомассы в производстве олефинов имеют большой потенциал для развития экологически устойчивого производства
Плюсы	Снижение зависимости от нефтепродуктов, сокращение выбросов парниковых газов
Минусы	Требуется дальнейшая оптимизация технологий и высокие инвестиции для масштабирования
Компании	Корпорация «Биотех-внедрение», Сибур, Татнефть, Роснефть
3. Производство металлоорганических соединений	
Описание	Исследования по производству металлоорганических соединений для получения олефинов имеют перспективы для снижения затрат и улучшения качества продукции
Плюсы	Более эффективные и экономически выгодные процессы, повышение степени контролируемости реакций
Минусы	Требуется дальнейшая оптимизация и масштабирование технологии
Компании	СКТБ «Катализатор», Сибур, Лукойл, Нижнекамскнефтехим
4. Исследования по утилизации отходов	
Описание	Разработка методов утилизации отходов, содержащих олефины, может привести к экономическим и экологическим выгодам
Плюсы	Снижение объемов отходов, уменьшение негативного воздействия на окружающую среду
Минусы	Требуется разработка эффективных и экономически целесообразных методов утилизации
Компании	Газпром нефтехим Салават, Сибур, Лукойл, Нижнекамскнефтехим
5. Повышение энергоэффективности	
Описание	Исследования по снижению энергозатрат процессов производства олефинов способствуют сокращению операционных расходов и снижению нагрузки на окружающую среду
Плюсы	Повышение экономической эффективности, снижение негативного воздействия на окружающую среду
Минусы	Требуется масштабирование и внедрение новых технологий
Компании	Роснефть, Газпром нефтехим Салават, Сибур, Лукойл

Не стоит отрицать и ряд рисков при росте производства олефинов в РФ, которые отображены в процентном соотношении на рисунке 1.



Наименование риска

Рисунок 1 – Риски развития производства олефинов в России

Колебания цен на нефть и газ могут негативно повлиять на рентабельность производства олефинов, особенно в периоды снижения цен на нефтепродукты. Политические и экономические нестабильности в мировых регионах – риск для поставки нефтепродуктов и международной торговли олефинами. Возможное увеличение конкуренции со стороны других стран-производителей и новых игроков на рынке может оказывать давление на цены и долю рынка. Все более строгие экологические стандарты могут требовать значительных инвестиций и изменений в производственных процессах для соблюдения норм экологической безопасности. Развитие новых технологий и инноваций может привести к возникновению конкурентных преимуществ у других стран и компаний, что создает риск отставания от технического прогресса. Общая оценка современного состояния и прогноза развития производства олефинов в России приведена на SWOT-анализе представлен в таблице 2.

Таблица 2 – SWOT-анализ производства олефинов в России

Сильные стороны (Strengths)	Слабые стороны (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> – <i>Богатые запасы нефти и газа.</i> Россия обладает одними из крупнейших мировых запасов нефти и газа, что создает основу для развития производства олефинов. – <i>Наличие существующих производственных мощностей.</i> В России уже действуют крупные нефтехимические заводы, способные производить олефины, что обеспечивает основу для увеличения производства. – <i>Наличие экспортного потенциала.</i> Российские производители олефинов имеют возможность поставлять свою продукцию на международный рынок, что способствует развитию отрасли. 	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Высокая зависимость от нефтегазового сектора.</i> Производство олефинов неразрывно связано с нефтепереработкой, что создает риск для отрасли при колебаниях цен и спроса на нефтепродукты. – <i>Низкая диверсификация отрасли.</i> В России преобладают несколько крупных производителей олефинов, что может ограничивать конкуренцию и инновационный потенциал отрасли. – <i>Отставание в области экологических стандартов.</i> В сравнении с некоторыми западными странами, Россия может иметь недостаточное внимание к экологическому аспекту производства олефинов.

Окончание таблицы 2

Возможности (Opportunities)	Угрозы (Threats)
<p>– <i>Рост спроса на полимеры.</i> Россия имеет потенциал увеличить объемы производства олефинов для удовлетворения растущего мирового и внутреннего спроса на полимеры.</p> <p>– <i>Использование альтернативных сырьевых материалов.</i> Развитие технологий переработки биомассы и других возобновляемых источников сырья может уменьшить зависимость от нефти и газа.</p>	<p>– <i>Цены на нефть и газ.</i> Колебания цен на нефть и газ могут негативно повлиять на рентабельность производства олефинов, особенно в периоды снижения цен на нефтепродукты.</p> <p>– <i>Геополитические факторы.</i> Политические и экономические нестабильности в различных мировых регионах могут создать риск для поставок нефтепродуктов и международной торговли олефинами.</p>

Разрешение недостатков и минимизация угроз требуют комплексных подходов, таких как инвестиции в новые технологии, развитие альтернативного сырья, улучшение экологической устойчивости и укрепление позиций на международном рынке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волкова А. В. Рынок базовых продуктов нефтехимии: олефины и ароматические углеводороды //М.: ВШЭ. – 2019.
2. Левин В. О., Потехин В. М., Кудимова М. В. Производство низших олефинов как базис развития газонептехимии в России //Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2017. – №. 4. – С. 28-36.

УДК 504.054:665.765

Жолнеркевич В.И., Шрубок А.О.

(Белорусский государственный технологический университет)

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ

Ежегодно в мире образуется около 15 млн. тонн отработанных масел, которые полностью или частично утратили свои эксплуатационные свойства и не могут использоваться по своему назначению [1]. С одной стороны отработанные масла представляют угрозу для окружающей среды ввиду наличия в них вредных примесей и полициклических ароматических углеводородов, образующихся в процессе эксплуатации [2]. С другой стороны, их следует рассматривать как сырьевую

базу для производства различных нефтепродуктов. В Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. особое внимание уделено разработке технологий, материалов, продукции с высокой добавочной стоимостью с использованием доступного сырья и минимизации техногенного воздействия на окружающую среду. Следовательно вопрос экологической утилизации отработанных масел должен быть решен путем их рационального использования в производственных процессах.

Известны различные варианты использования отработанных масел [3]: в качестве котельного топлива; компонента базового масла; дизельного топлива, полученного пиролизической перегонкой отработанного масла; пластифицирующей добавки при модификации битума и производстве асфальтобетонных покрытий; флотационного агента и т.д. Все эти способы предполагают различные технологические схемы переработки отработанного масла. В связи с этим, представляет интерес изучить влияния последовательности очистки отработанных масел на выход и качество очищенной продукции.

Обобщенный компонентный состав отработанных масел показывает [3], что суммарное содержание механических примесей и полициклических ароматических углеводородов составляет около 13%, а воды – 9%, удаление которых из отхода позволит получить нефтепродукт с высокой добавочной стоимостью. Основным способом удаления механических примесей является коагуляция различными реагентами (солями, аминами, спиртами, их смесью, кислотами), в то время как полициклические ароматические углеводороды удаляют экстракцией селективным растворителем (этаном, пропаном, бутаном или их смесью, низшими спиртами, простыми эфирами, силосанам и т.д.). Известно [3], что повысить эффективность этих процессов возможно за счет предварительного окисления углеводородных отходов.

В связи с этим, в данной работе изучалось влияние последовательности стадии удаления нежелательных компонентов на эффективность очистки отработанного масла. В качестве стадии очистки отработанных моторных масел рассматривали предварительное окисление, коагуляцию и экстракцию.

Отработанное масло окисляли в присутствии 1 мас.% пероксида бензоила и кислорода воздуха в течение 4 часов при 70 °С. Предварительное окисление отработанного масла позволяет помимо окисления нежелательных компонентов усилить процесс слипания частиц механических примесей и повысить эффективность последующего процесса коагуляции. После стадии окисления проводили коагуляцию окисленного отработанного масла при комнатной температуре в течение 1 часа, в качестве коагулянта использовали комбинированный коагулянт. Поскольку в

процессе окисления образуются полициклические ароматические углеводороды, также проводили очистку окисленного отработанного масла экстракцией N-метилпирролидоном при 50 °С и кратности растворитель : сырье равном 2 : 1 по массе, с последующей коагуляцией (рисунок 1).

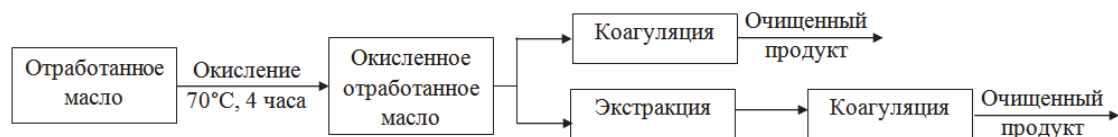


Рисунок 1 – Схема эксперимента

Для оценки очистки отработанного масла использовали метод пятна [4], который заключается в нанесении капли масла на фильтровальную бумагу и выдерживании фильтра в течение часа при 100 °С с последующей визуальной оценкой образовавшихся зон пятна (рисунок 2). Среди зон пятна можно выделить три зоны. Первая зона характеризуется наличием тяжелых нерастворимых механических примесей. Вторая зона указывает на содержание малорастворимых органических примесей. Третья зона – зона топлив, которая появляется, когда присадки теряют свои моюще-диспергирующие свойства, следовательно, чем шире зона топлив, тем эффективней очистка отработанных масел. Применение процесса коагуляции приводит к появлению зоны 3 (рисунок 2а). В то время как использование совместно стадий экстракции и коагуляции позволяет не только уменьшить зону 1, но и приводит к исчезновению зоны 2 (рисунок 2б).

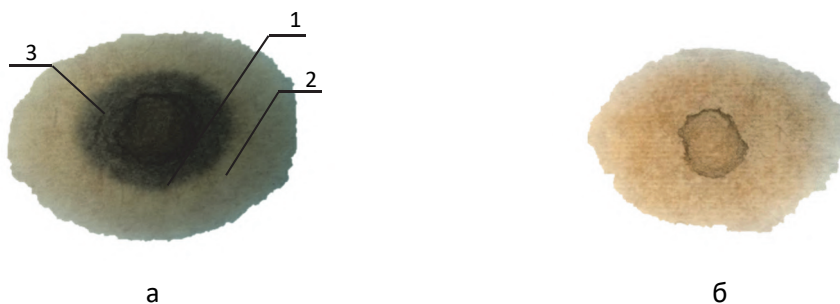


Рисунок 2 – Масляные пятна после коагуляции (а), после экстракции и коагуляции (б)

1 – зона тяжелых нерастворимых механических примесей;
2 – зона малорастворимых органических примесей; 3 – зона топлив

Для количественной оценки степени очистки отработанного масла от механических примесей по методу пятна определяли отношение площадей светлой зоны (зона 3) к площади темной зоны (зоны 1 и 2). Установлено, что процесс коагуляции позволит увеличить это соотношение с 1,49 до 3,72, а применение совместного воздействия (экстракции и

коагуляции) повысит соотношение почти в 4 раза (до 12,47). Данные по пятну подтверждаются спектрофотометрическим анализом, который показывает, что оптическая плотность образцов обработанных экстракцией и коагуляцией меньше, чем в случае просто коагуляции, что свидетельствует о большей степени очистки отработанного масла.

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. Родион И.А., Алексей А.В. Анализ способов очистки отработанных моторных масел // Наука и образование. – 2022. – Т.5. – №2. – С. 127 – 134.
2. Станьковски Л., Чередниченко Р.О., Дорогочинская В.А., Молоканов А.А. Оптимизация схемы переработки отработанных смазочных материалов с учетом современных условий // Мир нефтепродуктов. – 2011. – № 10. – С.36 –41.
3. Озеренко А.А., Куликов А.Б., Фросин С.Б., Дунаев С.В., Лесин А.В. Переработка отработанного моторного масла // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2023. – №1. – С.21 – 27.
4. Мелешко А.В. Экспресс-метод определения срока замены отработанного моторного масла // Промышленность. Химическая техника и технологии. – 2022. – Вып. 45 (115). – С. 133 – 135.

УДК 665.765

Кугач В.В., Жолнеркевич В.И., Шрубок А.О.

(Белорусский государственный технологический университет)

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Моторные масла должны обеспечивать надежную работу двигателя: уменьшать трение и износ трущихся поверхностей деталей, защищать детали двигателя от коррозии и загрязнений различными отложениями и т.п. [1]. Повышение мощности и усложнение конструкций современных двигателей приводит к ужесточению условий работы моторных масел. Воздействие высоких температур, кислорода воздуха, накопление в масле различных загрязнений и продуктов сгорания обуславливают ухудшение качественных характеристик моторных масел и сокращению их срока службы.

Срок службы моторного масла зависит от условий его использования, эксплуатационных характеристик и часто определяется производителем. Однако преждевременная замена моторного масла экономически нецелесообразна, а использование масла, утратившего свои свойства, приводит к снижению надежности двигателя и повышенному износу его деталей [2]. Основной причиной ухудшения качественных показателей моторного масла является его старение за счет различных химических превращений (окисление, разложение, полимеризация) углеводородов, входящих в состав масла. В результате изменяются такие физико-химические показатели масла как вязкость, кислотное число, содержание механических примесей, коксуемость. Содержащаяся в топливе сера также способствует окислению компонентов масла и ухудшению его свойств. К снижению срока службы моторных масел также приводит наличие твердых, жидких и газообразных загрязнителей, которые способствуют ухудшению работы двигателя, увеличению механического износа деталей двигателей, разрушению присадок и окислению углеводородов масла.

Таким образом, в процессе эксплуатации моторные масла происходит постепенное изменение их физико-химических свойств, изучение которого позволит рационально использовать ресурсный потенциал и разработать мероприятия по повышению срока службы масла.

Целью данной работы являлось исследование эксплуатационных свойств моторного масла в процессе его эксплуатации. В качестве объекта исследования было изучено моторное масло Sentron LD 5000 (производитель Petro-Canada Lubricants, Канада). Изменение физико-химических свойств масла в процессе эксплуатации отражено в таблице.

Таблица – Изменение физико-химических свойств масла в процессе эксплуатации

Показатель	Срок службы масла, ч				
	0	1315	3000	4624	6390
Кинематическая вязкость при 40°C, сСт	118,00	129,50	132,20	130,20	128,70
Кинематическая вязкость при 100°C, сСт	13,48	13,90	14,20	13,84	14,11
Общее щелочное число, мгКОН/г	–	3,8	3,3	3,5	3,9
Кислотное число, мгКОН/г	–	2,05	2,64	2,43	2,05
Содержание элементов, % мас.:					
– фосфор	0,028	0,033	0,035	0,035	0,029
– цинк	0,033	0,042	0,043	0,046	0,039
– кальций	0,170	0,209	0,240	0,249	0,249
– бор	0	0,002	0,001	0,0003	0,0002
– железо	0	0,0005	0,0012	0,0007	0,0007
– магний	0,0006	0,0009	0,0011	0,0011	0,0011
Продукты окисления, А/см	–	11,0	13,0	25,0	24,0

Вязкостно-температурные свойства моторного масла влияют на прокачиваемость масла, надежное смазывание и пуск двигателя, охлаждение деталей двигателя при наибольших допустимых нагрузках и температуре окружающей среды. В процессе эксплуатации кинематическая вязкость моторного масла Sentron LD 5000 при 40°C возрастает на 9–12%, а кинематическая вязкость при 100°C изменяется незначительно (на 3–5%). Изменение вязкостно-температурных свойств моторного масла обусловлено накоплением в нем загрязнений и образованием высокомолекулярных продуктов окисления углеводородных компонентов.

Постепенно происходит накопление продуктов износа деталей двигателя, о чем свидетельствует повышение содержания железа в моторном масле с увеличением продолжительности эксплуатации. Наблюдается уменьшение щелочного числа моторного масла за счет естественного срабатывания щелочного пакета присадок и в результате их окисления кислотами, образующимися при сгорании топлива [3].

С увеличением продолжительности эксплуатации моторного масла в нем происходит накопление окисленных продуктов. Согласно таблице деградация масла Sentron LD 5000 под воздействием высоких температур в присутствии кислорода возрастает с увеличением срока службы и достигает максимума при 4624 ч.

По изменению содержания металлов присадок в масле можно оценить пригодность масла к дальнейшему использованию. На срабатывание присадок влияет нейтрализация их продуктами окисления масла и сгорания топлива, образование хемосорбированных слоев на поверхности металла, коагуляция присадок на механических примесях, выпадение их в осадок и механическая деструкция. Установлено, что с увеличением срока службы содержание цинка возрастает с 0,033 до 0,046 мас.%, кальция – с 0,170 до 0,249 мас.%, магния – до 0,0011 мас. %. Содержание кальция в отработанном моторном масле незначительно превышает допустимые значения.

Таким образом, в работе показано изменение физико-химических свойств моторного масла Sentron LD 5000 (производитель Petro-Canada Lubricants, Канада) в процессе его эксплуатации. Выявлено накопление в масле продуктов окисления масла и сгорания топлива, дана оценка изменению содержания присадок в моторном масле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов, А.В. Топливо и смазочные материалы / А.В. Кузнецов. – М.: КолосС, 2007. – 199 с.
2. Гуреев, А.А. Химмотология / А.А. Гуреев, И.Г. Фукс, В.Л. Лашхи. – М.: Химия, 1986. – 368 с.

3. Лаушкин, А.В. Теоретические аспекты изменения щелочного числа моторного масла при работе силовой установки / А.В. Лаушкин, А.А. Хазиев // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. Том 1. – Пермь, ПНИПУ, 2014. – С. 88–94.

УДК 662.749.319+665.948.1:66.095.26-097

**Осипёнок Е.М., Прищепенко Д.В., Барановская А.С.,
Юсевич А.И., Войтов И.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СМОЛ СОПОЛИМЕРИЗАЦИЕЙ ТЯЖЕЛОЙ ПИРОЛИЗНОЙ СМОЛЫ И ЖИВИЧНОГО СКИПИДАРА

Синтетические углеводородные смолы широко используются для модификации свойств полимерных композиций при изготовлении клеев, типографских красок, лакокрасочных покрытий, полупроницаемых мембран и материалов для дорожной разметки. Важнейшей областью применения углеводородных смол является производство резин, в составе которых они выполняют функции мягчителей и пластификаторов, повысителей клейкости, упрочняющих и диспергирующих добавок [1].

Углеводородные смолы представляют собой аморфные термопластичные низкомолекулярные полимеры, важнейшей характеристикой которых является температура размягчения ($t_{\text{разм}}$), которая для большинства применений должна быть не ниже 70–80 °С. Получают их из непредельных углеводородов методами термической или каталитической полимеризации. Традиционным источником мономеров для синтеза углеводородных смол являются жидкие фракции продуктов пиролиза нефтяного сырья. Вместе с тем в связи с глобальными «зелеными» инициативами, общественным запросом на экологически чистые процессы и попытками сократить количество отходов за счет рециклинга и биоразложения материалов в последнее время для синтеза полимеров приобрело особую актуальность использование молекул биологического происхождения. В этом смысле идеальными исходными веществами для получения углеводородных смол являются терпены, выделяемые из скипидара. В настоящее время разработаны методы, позволяющие с высоким выходом синтезировать высокоплавкие политерпеновые смолы из индивидуальных терпенов, например, α -пинена [2]. Однако полимеризация скипидара, представляющего собой

смесь терпенов, без их предварительного разделения обычно приводит к смолам с невысокой температурой размягчения ($< 60\text{ }^{\circ}\text{C}$). Поэтому представляло интерес изучить возможность получения высокоплавких углеводородных смол совместной полимеризацией скипидара и жидких фракций продуктов пиролиза нефтяного сырья.

В качестве сырья были выбраны скипидар живичный производства ОАО «Лесохимик» (табл. 1) и тяжелая смола пиролиза завода «Полимир» ОАО «Нафтан» (табл. 2). Непосредственно полимеризации подвергали фракцию тяжелой смолы пиролиза, выкипающую до $340\text{ }^{\circ}\text{C}$ (табл. 3).

Таблица 1 – Характеристика скипидара

Показатель	Значение
Плотность при 20°C , $\text{кг}/\text{м}^3$	859
Показатель преломления n_D^{20}	1,466
Кислотное число, $\text{мг KOH}/1\text{ г}$	0,16
Доля отгона до $170\text{ }^{\circ}\text{C}$, об. %	92,5
Доля нелетучего остатка, мас. %	0,2
Содержание терпенов, хромат. %:	
- α -пинена	51,5
- β -пинена	0,8
- β -мирцена	2,4
- каренов	30,4
- дипентена	4,1
- терпинолена	3,9

Таблица 2 – Характеристика тяжелой смолы пиролиза

Показатель	Значение
Плотность при 20°C , $\text{кг}/\text{м}^3$	1042
Вязкость при 50°C , $\text{мм}^2/\text{с}$	13,46
Содержание серы, ppm	1300
Йодное число, $\text{г I}_2/100\text{ г}$	57,0
Доля отгона до 340°C , мас. %	54,0

Таблица 3 – Характеристика фракции $\leq 340\text{ }^{\circ}\text{C}$ тяжелой смолы пиролиза

Показатель	Значение
Плотность при 20°C , $\text{кг}/\text{м}^3$	980
Показатель преломления n_D^{20}	1,5765
Средняя молекулярная масса	129,0
Йодное число, $\text{г I}_2/100\text{ г}$	60,0
Содержание фракций, мас. %:	
- преднафталиновой ($<200\text{ }^{\circ}\text{C}$)	19,8
- нафталиновой ($200\text{--}230\text{ }^{\circ}\text{C}$)	40,1
- метилнафталиновой ($230\text{--}245\text{ }^{\circ}\text{C}$)	9,6

Углеводородные смолы синтезировали в присутствии катализатора Фриделя-Крафтса при температурах минус 20 и плюс 20 °С. Предварительно готовили каталитический комплекс, для чего в круглодонную колбу с обратным холодильником загружали 75,0 г толуола, 3,750 г $AlCl_3$, 1,875 г $SbCl_3$ и перемешивали смесь при 80 °С до полного растворения осадка. Каталитический комплекс охлаждали до температуры синтеза и добавляли к нему по каплям при перемешивании 75,0 г скипидара, либо дистиллята тяжелой смолы пиролиза, либо их смеси в массовом соотношении 1:1. После загрузки сырья продолжали перемешивание реакционной смеси в течение 3 ч.

Для разложения каталитического комплекса в реакционную колбу вносили воду и соляную кислоту и после перемешивания переносили содержимое колбы в делительную воронку, где отделяли углеводородный слой и тщательно промывали его водой. От углеводородного слоя отгоняли толуол при атмосферном давлении, затем – непревращенные мономеры и димеры под вакуумом. Определяли выход смолы, ее температуру размягчения, йодное число и среднюю молекулярную массу (рис.).

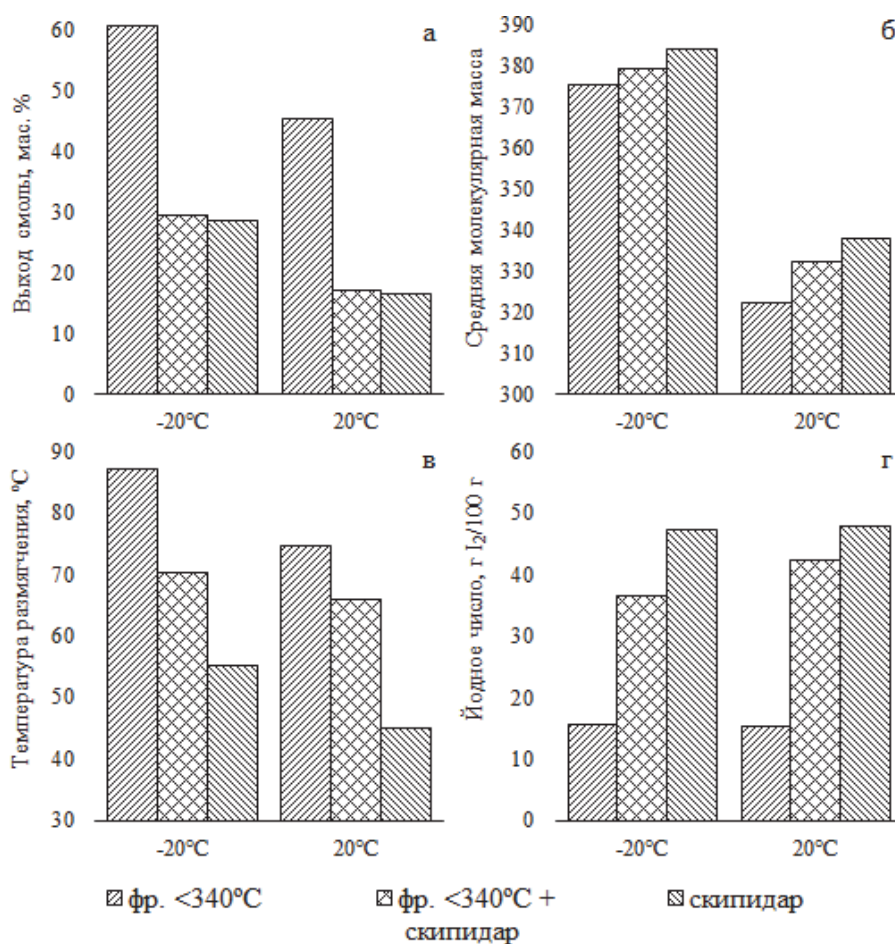


Рисунок – Зависимости выхода и свойств углеводородных смол от вида сырья и температуры синтеза

Выход углеводородных смол при полимеризации дистиллятной фракции тяжелой смолы пиролиза оказался в 2,1–2,8 раза выше, чем при полимеризации скипидара. При полимеризации смесового сырья наблюдалось неаддитивно большое снижение выхода углеводородной смолы по сравнению с полимеризацией чисто пиролизной фракции. По-видимому, скипидар оказывает дезактивирующее действие на каталитический комплекс хлорида алюминия и толуола. Возможно, диеновые углеводороды типа β -мирцена образуют с $AlCl_3$ новый, термодинамически более стабильный и каталитически менее активный комплекс.

Судя по молекулярной массе полученных продуктов, углеводородные смолы, независимо от вида сырья, состоят преимущественно из тримеров исходных молекул. При этом полимеризация скипидара совместно с жидкими продуктами пиролиза нефтяного сырья позволила получить смолы с температурой размягчения выше $70\text{ }^\circ\text{C}$ при сохранении высокого йодного числа (36–42 г $I_2/100\text{ г}$). Такие ненасыщенные углеводородные смолы востребованы в производстве лакокрасочных материалов.

С понижением температуры синтеза от 20 до минус $20\text{ }^\circ\text{C}$ выход углеводородных смол возрастает в 1,3–1,8 раза, причем большее увеличение выхода наблюдается при полимеризации скипидара. Меньшая температура синтеза приводит к большей молекулярной массе продуктов полимеризации прежде всего за счет уменьшения содержания остаточной димерной фракции в смоле. Последнее обстоятельство способствует увеличению температуры размягчения смол на $5\text{--}12\text{ }^\circ\text{C}$ в зависимости от вида сырья. Существенно, что при этом йодное число смол снижается незначительно.

Таким образом, сополимеризацией скипидара с дистиллятными фракциями тяжелой смолы пиролиза можно получать углеводородные смолы с различными сочетаниями температуры размягчения и йодного числа под конкретное применение.

Работа выполнялась в рамках Государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия».

ЛИТЕРАТУРА

1. Barlow F.W. Rubber compounding: principles, materials, and techniques. – CRC Press, 2018.
2. Радбиль А.Б., Журинова Т.А., Старостина Е.Б., Радбиль Б.А. Полимеризация альфа-пинена в присутствии катализаторов Фриделя-Крафтса // Химия растительного сырья. – 2004. – №4. – С. 39–48.

Трусов К.И., Юсевич А.И.

(Белорусский государственный технологический университет)

Агабеков В.Е.

(Институт химии новых материалов НАН Беларуси)

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОКРЕКИНГА АСФАЛЬТА В ПРИСУТСТВИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ СУЛЬФИДОВ МОЛИБДЕНА И НИКЕЛЯ

Гидрокрекинг тяжелых нефтяных остатков в суспензионном слое наногетерогенного катализатора является перспективной технологией, позволяющей достигать высоких степеней конверсии сырья (свыше 70%) без осаждения асфальтенов и образования кокса. Наибольшую активность в реакциях гидроконверсии асфальтенов проявляют сульфиды никеля, молибдена, вольфрама [1]. Наночастицы сульфидов металлов получают, как правило, путем разложения их масло- или водорастворимых прекурсоров *in situ* [2]. Природа прекурсора влияет на размер, химический состав, кристаллическую структуру и, как следствие, каталитическую активность генерируемых частиц, поэтому поиск новых прекурсоров представляет интерес с точки зрения повышения эффективности процесса гидрокрекинга тяжелого нефтяного сырья.

В рамках публикуемой работы изучали гидроконверсию асфальта пропановой деасфальтизации гудрона ОАО «Нафтан» в присутствии наноразмерных сульфидов молибдена либо никеля, которые получали *in situ* в среде гидрируемого нефтяного остатка в результате термического разложения маслорастворимых прекурсоров – тетраомолибдата тетраалкиламмония и олеата никеля соответственно. В последнем случае к сырью добавляли 0,15 мас. % элементарной серы для превращения первично образующегося оксида никеля в сульфид никеля. Процесс проводили в качающемся автоклаве Parr 4923 объемом 250 мл, оснащенный ПИД-регулятором температуры Parr 4843 и пружинным манометром. Количество вводимого прекурсора составляло 1 мас. % на асфальт. Навеску прекурсора растворяли в 30 г бензола, в полученном растворе диспергировали 20 г асфальта, и реакционную смесь количественно переносили в автоклав. Закачивали в автоклав 100 бар водорода, затем нагревали реакционную смесь со скоростью 9–10 °С/мин до 420 °С. Гидрокрекинг проводили при температуре 420–430 °С в течение 2 ч.

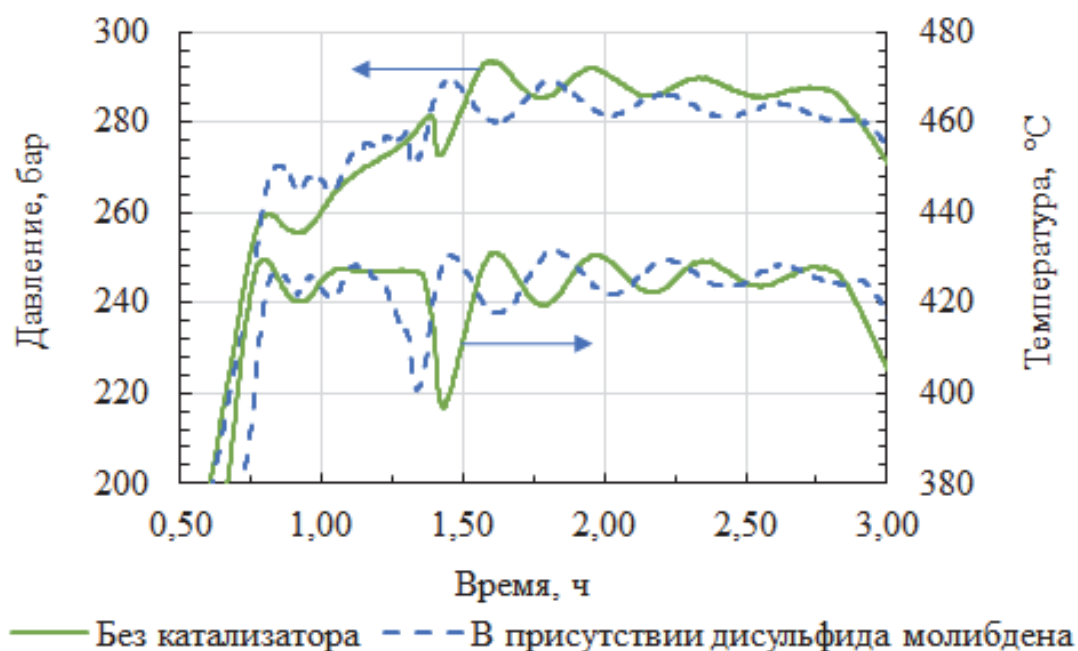


Рисунок 1 – Профили температуры и давления в реакторе при гидрокрекинге асфальта

При гидрокрекинге асфальта без катализатора в начале процесса имел место индукционный период продолжительностью 35–40 мин, в течение которого не наблюдалось значительных тепловых эффектов, и давление в системе росло плавно (рис. 1), вероятно, за счет образования летучих продуктов деструкции высокомолекулярных углеводородов и смолистых соединений нефти. По окончании индукционного периода наблюдался резкий рост давления, сопровождавшийся значительным эндотермическим эффектом, что, по-видимому, было обусловлено развитием радикально-цепной реакции распада молекул асфальтенов, приводящей к образованию газа и кокса. Продолжительность эндотермической реакции составляла ~0,1 от продолжительности индукционного периода. По завершении реакции температура и давление в системе стабилизировались, что свидетельствует о прекращении реакционных процессов.

При катализе дисульфидом молибдена индукционный период гидрокрекинга асфальта уменьшался на ~15 мин (рис. 1). В присутствии же сульфида никеля продолжительность индукционного периода была такая же, как и при некатализируемом гидрокрекинге, причем профили температур и давлений в этих двух опытах были практически идентичны.

По завершении гидрокрекинга от реакционной смеси отфильтровывали кокс, отгоняли бензол и летучие продукты, из остатка осаждали асфальтены. Данные о выходе продуктов представлены в табл.

На рис. 2 сопоставлены средние молекулярные массы асфальтенов до и после гидроконверсии. На рис. 3 приведено изображение наночастиц MoS₂, выделенных из реакционной смеси после гидрокрекинга, полученное с помощью сканирующей электронной микроскопии.

Таблица – Выход продуктов гидрокрекинга

Наименование продукта	Выход продукта, мас. %, при катализе		
	MoS ₂	NiS	без катализатора
Летучие вещества	30,0	32,5	35,1
Деасфальтизат	62,7	58,9	53,7
Асфальтены*	4,6	5,1	5,2
Кокс	2,4	3,4	5,9

* Содержание асфальтенов в исходном асфальте – 8,8 мас. %.

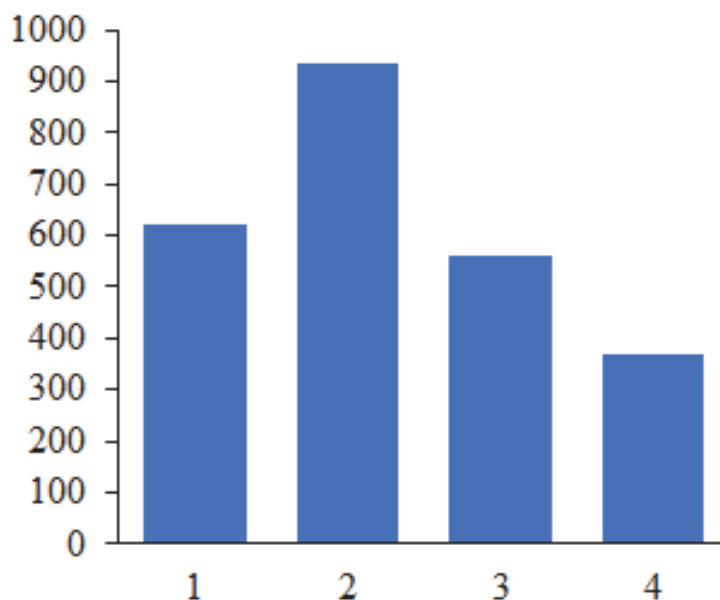


Рисунок 2 – Средняя молекулярная масса асфальтенов, выделенных из исходного асфальта (1) и продуктов его гидрокрекинга при катализе MoS₂ (2), NiS (3) и без катализатора (4)

Степень конверсии асфальтенов в результате гидротермической обработки асфальта без катализатора составила 41 %. В присутствии сульфида никеля конверсия асфальтенов возросла на 1 %, при катализе дисульфидом молибдена – на 7 %. По сравнению с некатализируемым процессом гидрокрекинга асфальта в присутствии наночастиц сульфидов металлов привел к увеличению выхода жидких продуктов (деасфальтизата) на 5,2–9,0 мас. % прежде всего за счет снижения выхода кокса и низкомолекулярных продуктов деструкции.

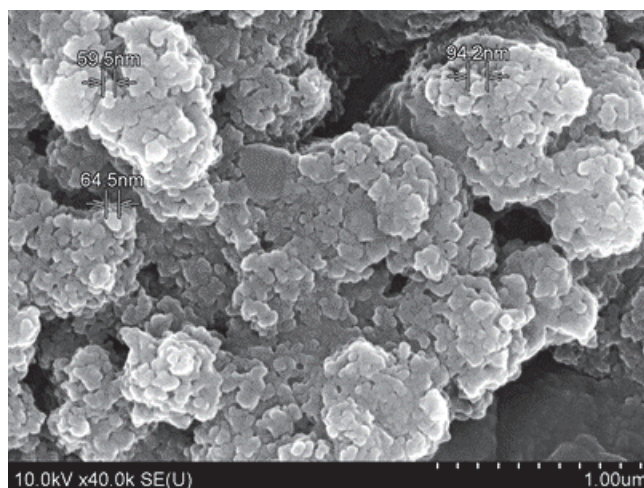


Рисунок 3 – СЭМ-фотография наночастиц MoS₂, выделенных из реакционной смеси после гидрокрекинга асфальта

В наибольшей степени этот эффект проявился при катализе дисульфидом молибдена. По-видимому, гидрирующая функция сульфидов металлов является определяющей в наногетерогенном катализе гидроконверсии тяжелого нефтяного сырья, поскольку позволяет стабилизировать первичные продукты деструкции асфальтенов за счет насыщения радикалов и тем самым предотвратить их дальнейший распад с образованием голаядерных полиароматических структур, склонных к ассоциации. Это предположение подтверждают более высокие значения средних молекулярных масс асфальтенов в опытах с MoS₂ и NiS по сравнению с опытом без катализатора (рис. 2).

В целом, наночастицы дисульфида молибдена, образующиеся в процессе гидрокрекинга асфальта в результате термического разложения тиомолибдат-ионов, проявляют более высокую каталитическую активность по сравнению с наноразмерным сульфидом никеля, получаемым из олеата никеля.

Работа выполнялась в рамках Государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия».

ЛИТЕРАТУРА

1. Recent advances in asphaltene transformation in heavy oil hydroprocessing: Progress, challenges, and future perspectives / M. T. Nguyen, D. L. T. Nguyen, C. Xia [et al.] // *Fuel Processing Technology*. – 2021. – Vol. 213. – P. 106681. – DOI 10.1016/j.fuproc.2020.106681.

2. Хаджиев, С. Н. Синтез и свойства наноразмерных систем – эффективных катализаторов гидроконверсии тяжелого нефтяного сырья / С. Н. Хаджиев, Х. М. Кадиев, М. Х. Кадиева // *Нефтехимия*. – 2014. – Т. 54. – № 5. – С. 327.

**ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Прогнозы на затяжной спад в экономике не оправдались. Последствия влияния COVID и санкций на экономику Республики Беларусь оказались неожиданными для многих специалистов. Угрозы утраты рабочих мест, кризис безработицы, выживания предприятий в действительности преобразовались в проблемы отсутствия достаточного количества квалифицированных специалистов, дефицитом рабочей силы и поиска новой архитектуры производственных цепочек. В силу структурных особенностей производственного сектора в Республике Беларусь решение большинства задач связано с поиском инновационной составляющей в стандартном процессе производства благ. При этом взаимосвязь величины производственного потенциала и способности извлекать из внешней среды инновационные идеи и внедрять их в производство на данный момент находится на самом высоком уровне. [1]

Производственный потенциал предприятий характеризуется множеством факторов, но наиболее важные из них это наличие определенных ресурсов и производственных связей, которые определяют возможность страны выходить на рынки сбыта. Именно отключение промышленных предприятий от рынков сбыта и инновационных технологий было основой вводимых против Республики Беларусь санкций. В действительности влияние санкций отразилось на удлинении цепочек поставок необходимых ресурсов, ростом затрат на логистические услуги, переформатированием географии рынков сбыта. Нельзя не отметить, что это сказалось на планах преобразования производственных предприятий, на перспективах развития их производственного потенциала. Однако, самое неприятное в этой ситуации – это отсутствие стремления предприятий к развитию собственных научных разработок. Происходит замещение выпадающих европейских и американских технологий на китайские и иранские в лучшем случае, а в худшем полным замораживанием финансирования модернизации и переходом в режим ожидания.

Снижение инвестиций в основные средства происходило в течении последних трех лет, что подтверждают данные статистики. [2]

В целом инвестиции в основной капитал сокращаются и достигли 59% от уровня 2015 г. в сопоставимых ценах (рисунок 1).

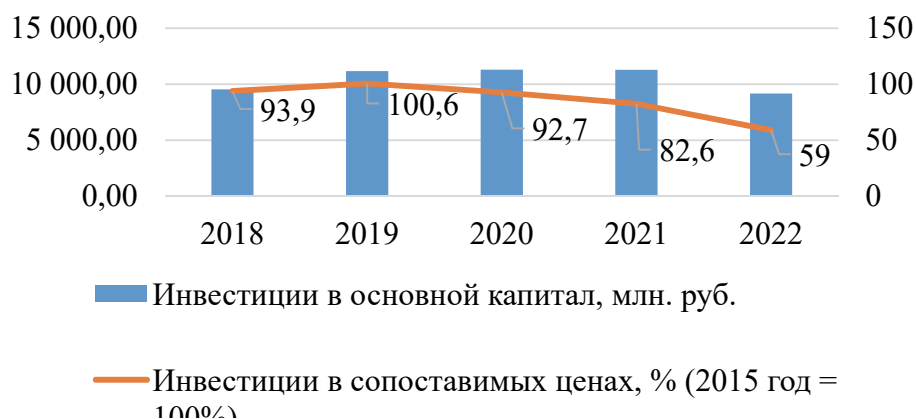


Рисунок 2 – Динамика инвестиций в промышленности в основной капитал, тыс. руб.

Снижение процентных ставок и избыток свободных финансовых ресурсов не спасает ситуацию на инвестиционном рынке. Слишком высокие рыночные риски и отсутствие проектов с высокой степенью готовности к внедрению не позволяет запустить механизм обновления производственного потенциала. Его структура продолжает ухудшаться. Устаревшие технологии и работающее на их основе оборудование не позволяют увеличить объемы продаж, сдерживают приток денег в промышленность. Динамика удельного веса отгруженной инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции в обрабатывающей промышленности за последние пять лет существенно не изменилась и колеблется в районе 20%. При этом сумма затрат на инновации организаций промышленности в текущих ценах снизилась с 1408411 тыс. руб. в 2019 г. до 816612 тыс. руб. в 2022 г. (рисунок 2).

Тренд на снижение затрат на инновации не позволяет надеется на улучшение структуры производимой продукции с пользой продукции с высокой добавленной стоимостью. Как правило, максимальные значения добавленной стоимости у товара наблюдается в фазе роста продаж при появлении на рынке инновации.

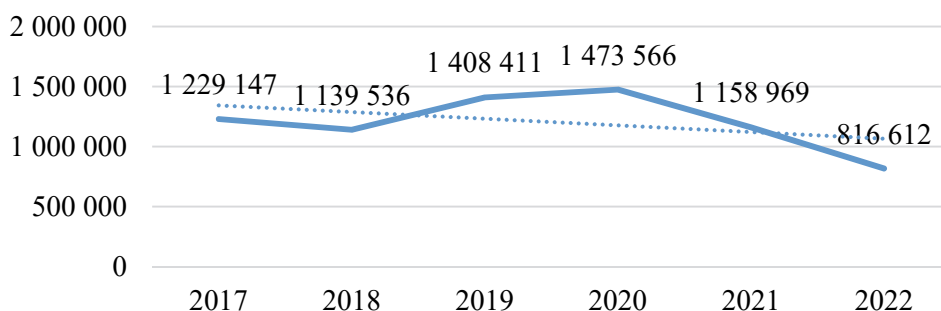


Рисунок 2 – Динамика затрат на инновации организаций промышленности в текущих ценах, тыс. руб.

Механизм проникновения инноваций на предприятия должен претерпеть изменения. Необходимо заинтересовать собственника предприятия и его руководителя в использовании отечественных научных разработок. Возникновение научных разработок невозможно без кооперирования исследователей и производственного менеджмента.

На данный момент инновации проникают на предприятия в основном через механизм закупки оборудования с последующим его сопровождением, как в эксплуатации, так и в возможности внедрения изменений. Если рассмотреть структуру прямых инвестиций в разрезе затрат на оборудование и строительно-монтажные работы (СМР), то можно увидеть совпадение стоимости СМР и стоимости покупаемого оборудования, порядка 42% от общего объема. Если же проанализировать структуру затрат на закупку оборудования, то можно наблюдать динамику увеличения затрат на нематериальную составляющую основных средств. Из имеющихся крайне малых сведений, рост доли нематериальной составляющей происходит из-за удорожания лицензий на программное обеспечение, которое поставляется с оборудованием и автоматизирует его работу. Второй составляющей является увеличение финансовых расходов на возмещение премии страховым компаниям и рост затрат за счет использования лизинговых схем. Лизинг хотя и позволяет не большим компаниям использовать современное оборудование, но в условиях белорусской экономики существенно увеличивает себестоимость продукции и не позволяет снижать инвестиционные затраты на сумму налоговых вычетов.

Развитие взаимодействия научных организаций и предприятий путем долгосрочных стажировок исследователей на предприятиях не увеличит расходы на инновации, а позволит изменить их структуру, сокращая накладные затраты и увеличивая прямые выплаты разработчикам, увеличивая их мотивацию и сокращая утечку опытных кадров из науки. Себестоимость исследования, которое будет проводиться непосредственно на предприятии сократится за счет более полной загрузки исследовательского потенциала заводских и вузовских лабораторий. Позволит поднять заработную плату работникам лабораторий, усилит позиции научной составляющей в структуре затрат. В ближайшее время необходимо обеспечить возвращение возможности проводить научные исследования работникам предприятий, получать доплаты за научные степени и звания, внедрение в штатное расписание единицы, специализацией которых являлась бы прикладные исследования. Это повысит конкуренцию в сфере научных разработок, сократит и оптимизирует затраты на инновационные разработки за счет появления выбора у предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад о наименее развитых странах, 2020. Производственный потенциал на предстоящее десятилетие. Женева, 2020, 31 с.
2. Промышленность Республики Беларусь, Статистический буклет, Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2023. – 32 с.

Секция II

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

УДК 677.017.632

Ковалева А.А., Кулевец П.С., Левданский А.Э.
(Белорусский государственный технологический университет)

ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ НА СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Пластмассовые материалы нашли широкое применение, обусловленное передовыми технологиями их производства, которые позволяют получать материалы с заданными характеристиками. Однако, проблема утилизация пластмасс через их захоронение негативно влияет на окружающую среду, делая при этом значительные территории непригодными для рационального использования [1]. Вторичное использование пластмасс является наиболее рациональным подходом в переработке полимерных материалов, снижая при этом потребление первичных пластмасс. Метод пенной флотации представляет собой эффективное решение для сортировки пластмасс с близкими или одинаковыми плотностями [2]. Этот процесс разделения основан на избирательной смачиваемости поверхности пластмасс. Для изменения поверхностных свойств пластмасс применяют различные поверхностно-активные вещества (ПАВ) [3]. Следовательно, исследования влияния концентрации ПАВ различной природы на смачиваемость пластмасс представляет собой важное направление, способствующее решению проблемы сортировки пластмассовых отходов перед их последующим использованием.

Цель работы заключалась в исследовании влияния концентрации поверхностно-активных веществ в водном растворе на смачиваемость поверхности полибутилентерефталата (ПБТ).

В качестве объектов исследования использовали пластинки размером 30×30×10 мм полибутилентерефталата ТУ 2253-025-11517367-2002.

В качестве поверхностно-активных веществ использовали лаурет-3 сульфосукцинат натрия (анионное ПАВ, представляющие собой прозрачную бесцветную жидкость); лаурил саркозинат натрия (анионное

ПАВ, представляющие собой прозрачную гелеобразную жидкость); полисорбат 80 (неионогенное ПАВ, представляющее вязкую, маслянистую жидкость светло-желтого цвета); алкилполиглюкозид (неионогенное ПАВ, представляющее собой светло-желтого цвета, мутный и вязкий водный раствор с массовой долей вещества 50–53 масс. %).

Для определения краевого угла смачивания авторами была разработана установка, представленная на рисунке 1 [4].

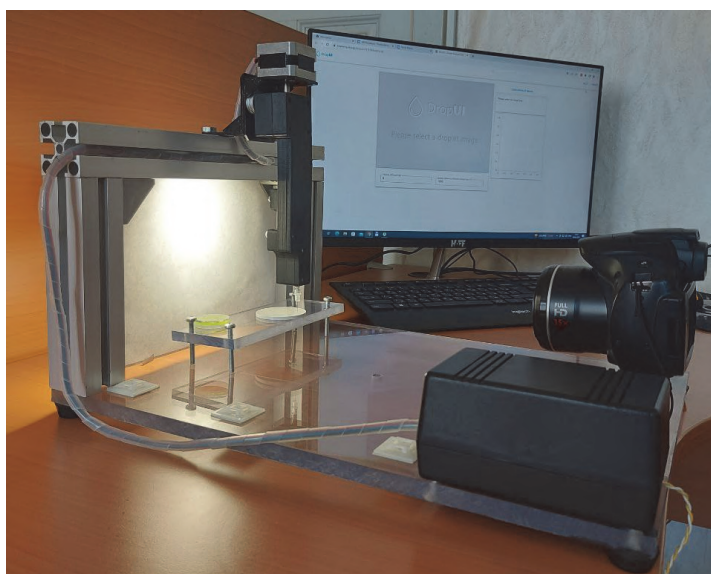
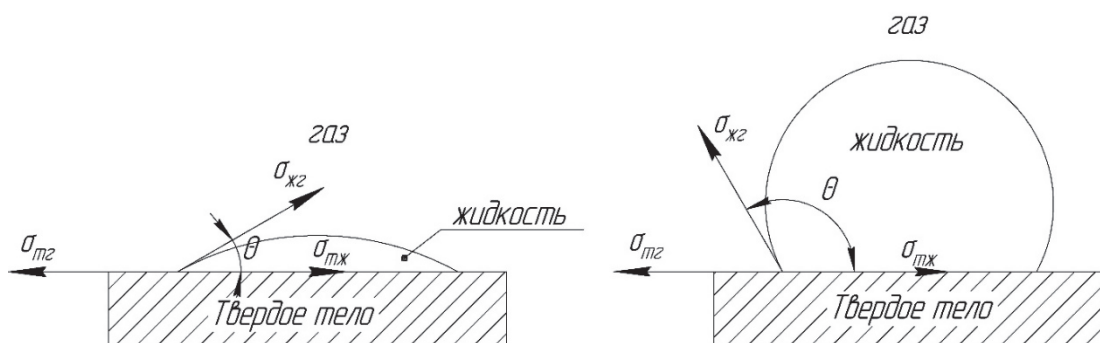


Рисунок 1 – Установка по определению краевого угла смачивания

Методика измерения краевого угла смачивания заключалась в следующем: на предметный столик размещали исследуемую пластинку размером $30 \times 30 \times 10$ мм ПБТ, поверхность которой предварительно подвергалась обезжириванию этиловым спиртом. С помощью устройства дозирования капли наносилась капля раствора объемом $\sim 0,05$ мл. После капли раствора освещали источником света, а ее профиль фиксировали с помощью цифровой камеры, связанной с персональным компьютером. Полученные изображения сохранялись в формате JPEG и масштабировались до необходимого размера. На основе изображения профиля капли, проводилось измерение краевого угла смачивания. Данный эксперимент выполняли по десять раз на пяти различных участках образца, для обеспечения надежности результатов. Экспериментальные исследования проводились при температуре воздуха $20 \pm 3^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $60 \pm 5\%$. Измерения краевого угла смачивания производили с помощью специального программного обеспечения «Drop UI» с онлайн доступом.

Краевой угол смачивания определялся по схеме, представленной на рисунке 2.



- а – жидкость смачивает поверхность твердого тела;
 б – жидкость не смачивает поверхность твердого тела

Рисунок 2 – Краевой угол смачивания θ

В таблице 1 представлены данные влияния природы и концентрации ПАВ в водном растворе на смачиваемость поверхности ПБТ.

Таблица 1 – Влияния природы и концентрации ПАВ в водном растворе на смачиваемость поверхности ПБТ

Название ПАВ	Концентрация водного раствора, 10^{-3} г/дм ³				
	1,94	3,88	5,83	7,78	9,72
Лаурет-3 сульфосукцинат натрия	65±2	53±2	62±2	71±2	67±2
Лаурил саркозинат натрия	74±2	79±2	76±2	73±2	74±2
Полисорбат 80	66±2	76±2	72±2	77±2	66±2
Алкилполиглюкозид	86±2	88±2	93±2	84±2	77±2

Поверхность ПБТ проявляла гидрофильные свойства к водному раствору лаурет-3 сульфосукцинат натрия. При концентрации водного раствора $3,88 \cdot 10^{-3}$ г/дм³, краевой угол смачивания поверхности ПБТ составлял 62 ± 2 град. При дальнейшем увеличении концентрации раствора, наблюдался незначительный рост значений краевых углов смачивания до 69 град.

Для поверхности ПБТ во всем диапазоне концентраций водных растворов лаурил саркозината натрия наблюдались незначительные изменения краевых углов смачивания и находились в пределах от 73 до 79 град. в данной серии экспериментов не выявлено явных закономерностей, связанных с влияем концентрации раствора на краевой угол смачивания ПБТ.

Краевые углы смачивания поверхности ПБТ водными растворами полисорбата 80 с концентрацией $1,94 \cdot 10^{-3}$ г/дм³ составили 65 ± 2 град. При увеличении концентрации водного раствора полисорбата 80 поверхность ПБТ имела близкие значения краевых углов смачивания в диапазоне 70–79 град.

Поверхность ПБТ проявляла гидрофобные свойства к водным растворам алкилполиглюкозида с концентрацией от $1,98 \cdot 10^{-3}$ г/дм³ до $5,83 \cdot 10^{-3}$ г/дм³ и краевые углы смачивания составляли 85–94 град. Однако, дальнейшее увеличение концентрации водного раствора алкилполиглюкозида до 0,01 г/дм³ привело к снижению значений краевого угла смачивания до 75 град.

Таким образом, поверхность ПБТ может проявлять гидрофильные и гидрофобные свойства в зависимости от типа ПАВ и их концентрации в водном растворе. Полученные результаты могут быть использованы при флотационном извлечении ПБТ из смеси пластмасс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hopewell, J. Plastics recycling: challenges and opportunities J. Hopewell, R. Dvorak, E. Kosior // *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*. – 2009. – P. 2115–2126.

2. Левданский, А.Э. Флотационное разделение смеси измельченных полимерных отходов / А.Э. Левданский, Е.В. Опимах, А.А. Волненко, К.Б. Корганбаев, Д.К. Жумадуллаев. – Шымкент: Типография «Элем», 2020. – 152 с.

3. Pita F. Plastics floatability: Effect of saponin and sodium lignosulfonate as wetting agents / F. Pita, A. Castilho // *Polimeros*. – 2019. – Vol. 29. – № 3. – P. 1–9.

4. Ковалева А.А., Кулевец П.С., Левданский А.Э., Опимах Е.В. Экспериментальные исследования краевого угла смачивания полимерных материалов // *Химические технологии и техника: сборник материалов 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (Минск, 31 января – 12 февраля 2022 г.) [Электронный ресурс] / БГТУ. отв. за издание И. В. Войтов; УО «БГТУ». Минск, 2022. С. 156–158.*

УДК 678.073:004.925.84

Кордикова Е.И., Шалай Е.Ю.

(Белорусский государственный технологический университет)

МЕЖСЛОЙНЫЙ СДВИГ В ПЭТФ, ПОЛУЧЕННОМ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО НАНЕСЕНИЯ РАСПЛАВЛЕННОГО МАТЕРИАЛА

Технология послойной укладки расплавленной полимерной нити – FDM-печать (fused deposition modeling), в настоящее время является наиболее простой и востребованной в различных отраслях промышленности для изготовления функциональных изделий из полимерных и

композиционных материалов [1]. Это объясняется доступностью оборудования (от настольных до профессиональных принтеров) и материалов.

Изделия, напечатанные по технологии послойной укладки расплавленной полимерной нити, имеют ярко выраженную слоистость (рис. 1), величина которой в большей степени определяется толщиной слоя печати. Такие материалы по аналогии со слоистыми композитами, полученными по классическим технологиям, демонстрируют снижение механических показателей по отношению к монолитным изделиям полученным, например, методом литья под давлением [2].

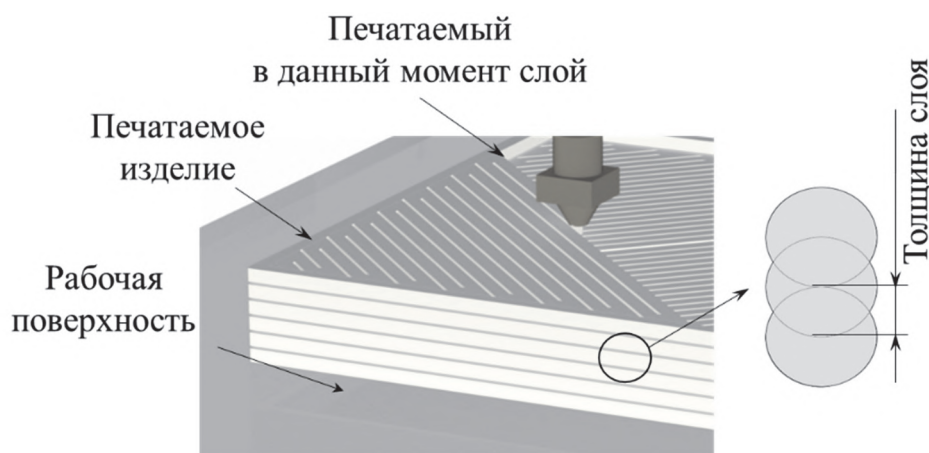


Рисунок 1 – Схема образования слоистости в напечатанном образце

Эффект снижения свойств может быть обусловлен низкой адгезией между отдельными слоями при печати. Помимо этого, расслоение дает качественное понимание свойств готового напечатанного материала. В современной литературе недостаточно сведений для анализа данной проблемы.

Целью работы является изучение влияния основных параметров печати на значения модуля сдвига в плоскости печати, а также предела прочности и вида разрушения для материала, полученного по технологии послойного наплавления.

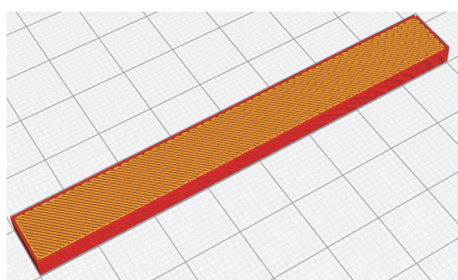
В качестве объекта исследования приняли полиэтилентерефталат гликоль (PETG) от производителя «Некрасовский полимер» (Российская Федерация), диаметр нити – 1,75 мм. Филамент перед печатью проходил цикл сушки в сушилке «eBOX Lite» при температуре 60°C в течение 3 часов.

Печать образцов осуществлялась на 3D-принтере с закрытой камерой Anycubic 4Max Pro, рабочей зоной 270×205×205 мм и диаметром сопла 0,4 мм, с параметрами печати, указанными в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры печати образцов

Параметр	Значение
Высота слоя, мм	0,2
Заполнение, %	100
Направление печати, град	±45
Температура экструзии, °С	235, 240, 245
Температура стола, °С	70
Скорость печати, мм/с	30, 40, 50

Форма и размеры образцов для механических испытаний определялись ГОСТ 32659-2014 (ISO 14130:1997) и показаны на рис. 2.



3d модель



напечатанный

Рисунок 2 – Вид образцов для испытаний по ГОСТ 32659

Для проведения испытаний использовалась универсальная испытательная машина MTS Criterion 43 (MTS Systems, США) с автоматической записью диаграммы деформирования. Нагружение осуществляли по трехточечной схеме (рис. 3) с постоянной скоростью 2 мм/с.

Нормальные и касательные напряжения, возникающие по высоте сечения (рис. 4), определяют по известным формулам [3]:

$$\sigma_{\max} = \frac{3 \cdot F \cdot L_v}{2 \cdot b \cdot h^2} \text{ и } \tau_{\max} = \frac{3 \cdot F}{4 \cdot b \cdot h},$$

где F – разрушающая нагрузка; b и h – размеры сечения образца; L_v – расстояние между опорами (база).

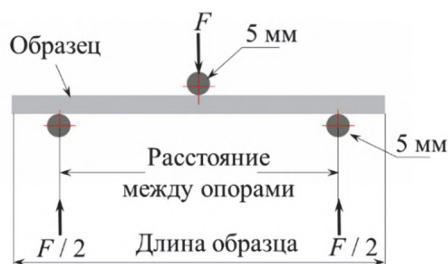


Рисунок 3 – Схема нагружения

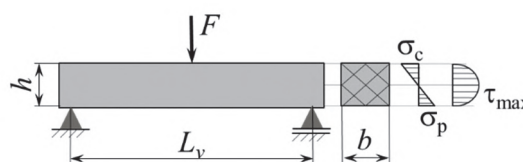


Рисунок 4 – Возникающие напряжения по высоте сечения b

Экспериментально установлено, что прочность межслойного сдвига не постоянна, а с увеличением относительного пролета L_v / h уменьшается (рис. 5).

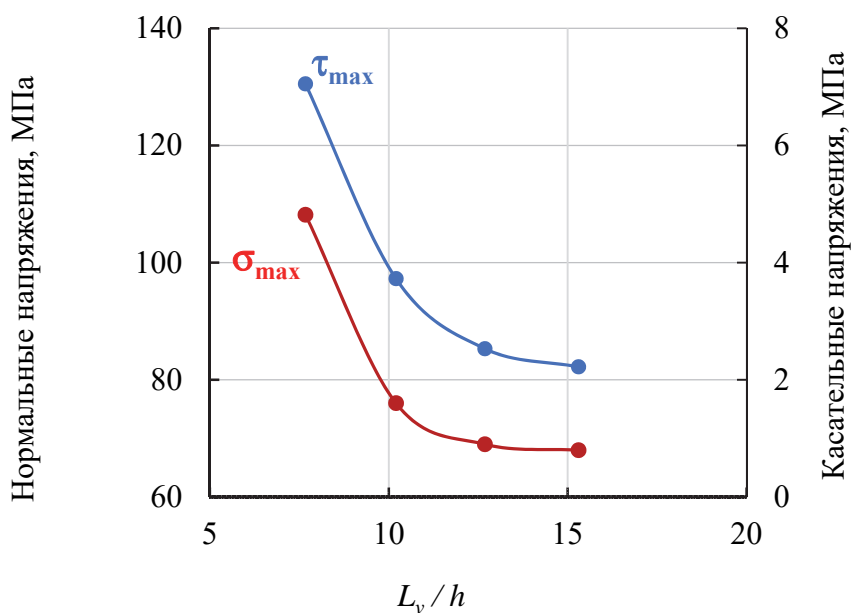


Рисунок 5 – Зависимость максимальных нормальных и касательных напряжений при изгибе от относительного пролета L_v / h

Результаты экспериментов показывают отсутствие разрушений от касательных напряжений – расслоение не наблюдается (рис. 6).



Рисунок 6 – Вид образцов после испытания

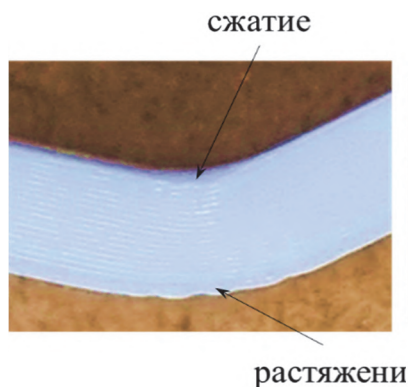


Рисунок 7 – Области сжатия и растяжения при разрушении образца



Рисунок 8 – Перелом сжатых слоев при разрушении образца

При малом расстоянии между опорами происходит смятие образца в области контакта с нагружающим устройством (рис. 7), при большом расстоянии между опорами увеличивается влияние растягивающих и

сжимающих напряжений, разрушение от нормальных напряжений сопровождается разрывом крайних растянутых волокон или переломом сжатых волокон (рис. 8).

В работе [3] предложена формула для расчета модуля межслоевого сдвига G в плоскости печати при трехточечном изгибе анизотропной балки:

$$G = \frac{1,2 \cdot (h/L_v)^2}{1/E_n - 1/E_{\text{раст}}},$$

где $E_{\text{раст}}$ – истинный модуль упругости, определенный из испытаний на растяжение по ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012) на образцах типа 1В с параметрами печати, указанными в таблице 1.

Полученные результаты эксперимента по определению модуля сдвига представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Модуль сдвига материала в зависимости от параметров печати

Температура, °С	$E_{\text{раст}}$, МПа			E_n , МПа			G , МПа		
	Скорость печати, мм/с								
	30	40	50	30	40	50	30	40	50
235	1927,4	1890,0	1914,3	1805,6	1771,9	1802,8	146,3	145,2	158,5
240	1979,4	1895,9	1890,8	1872,6	1802,6	1801,1	177,7	187,7	194,6
245	1971,1	1908,2	1916,6	1852,2	1792,6	1804,7	157,3	151,5	158,4

Модуль упругости при изгибе E_n вследствие межслоевого сдвига оказывается меньше модуля упругости при растяжении $E_{\text{раст}}$.

Можно сделать вывод, что печать образцов в выбранном диапазоне температур и скоростей не оказывает существенного влияния на межслоевой сдвиг, хотя увеличение данного показателя при увеличении температуры составляет 20–22%, что может указывать на улучшение связи между слоями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко Р.В. Современные полимерные материалы и технологии 3D-печати / Журнал: «Вестник казанского национального исследовательского технологического университета», Номер 1, Том 18, 2015, с. 263-266
2. Болдырева А.А., Яруничева Ю.А., Дернакова А.В., Ивашов И.В. Прочность полимерного композита (стеклопластика) при межслоевом сдвиге // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 2(62) С. 42-50
3. Тарнопольский Ю. М., Кинцис Т. Я. Методы статических испытаний армированных пластиков. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Химия, 1981. — 272 с., ил.

МОДИФИКАЦИЯ ВЫСОКОЭЛАСТИЧНЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Модификация лакокрасочных покрытий ионизирующим излучением – это процесс, при котором свойства покрытий целенаправленно изменяются под воздействием электронных, гамма- или ультрафиолетовых лучей [1]. Целью модификации является повышение прочности, адгезии, термостойкости и химической стойкости покрытий. Модификация лакокрасочных покрытий ионизирующим излучением имеет ряд преимуществ перед другими методами: возможность получать покрытия с высокой степенью сшивки без использования термической обработки или применения катализаторов, экологичность [2].

В представленном исследовании предполагалось, что ионизирующее излучение может приводить к различным изменениям физико-химических свойств лакокрасочных покрытий в зависимости от типа и дозы излучения. Изменение свойств покрытия обусловлено различными радиационно-химическими процессами, в основе которых лежат реакции взаимодействия промежуточных реакционноспособных частиц – ионов, возбужденных молекул и радикалов, строение и свойства которых определяют выход, состав и соотношение продуктов радиолиза, а следовательно, и конечные свойства покрытия [3].

Для проверки этой гипотезы был проведен эксперимент с использованием непигментированных образцов, полученных на основе полиуретанового лакокрасочного материала.

Образцы облучали ускоренными электронами и гамма-квантами до достижения различных поглощенных доз в интервале 0–100 кГр. Предметом исследования являлись следующие свойства лакокрасочных покрытий: содержание гель-фракции, величина водопоглощения, адгезия, твердость, прочность при ударе, эластичность при изгибе. Изменение природы поверхности после излучения оценивали по величине равновесного угла смачивания лакокрасочного покрытия водой.

На рисунке 1 приведена зависимость содержания гель-фракции в покрытиях от типа и дозы поглощения излучения. Воздействие ионизирующим излучением на исследуемые образцы приводит к увеличению содержания гель-фракции.

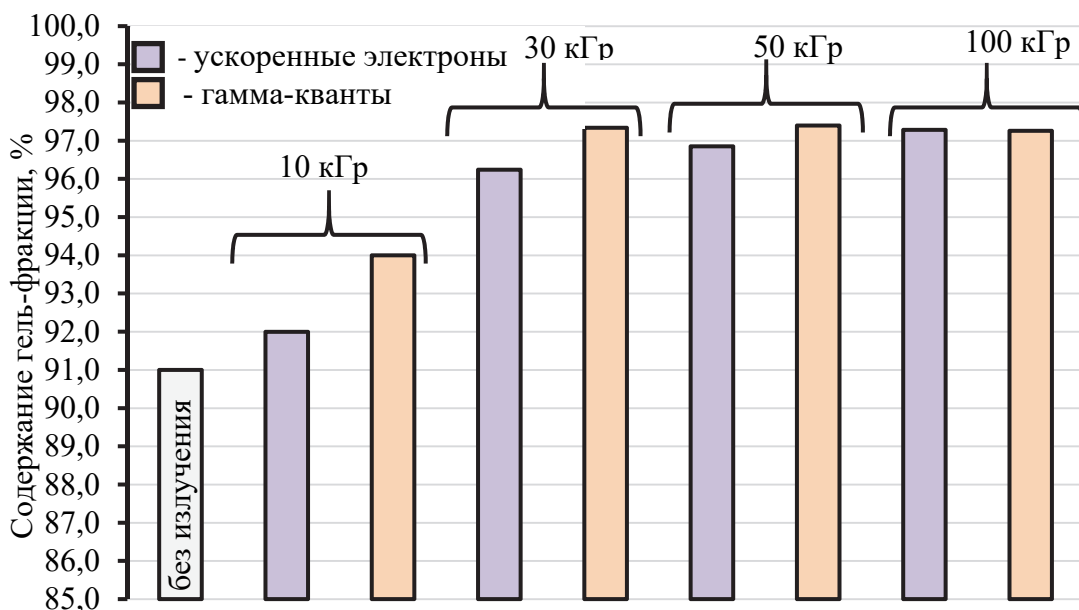


Рисунок 1 – Зависимость содержания гель-фракции в покрытиях от типа и дозы поглощенного излучения

В интервале поглощенных доз ионизирующего излучения 0–30 кГр наблюдается возрастание величины гель-фракции в покрытиях, причем большее влияние оказывает воздействие гамма-квантами. Увеличение поглощенной дозы ионизирующего излучения до 100 кГр не приводит к существенному увеличению данного показателя, при этом величина содержания гель-фракции в покрытиях не зависит от типа применяемого излучения. Таким образом, наиболее оптимальным с точки зрения процесса доотверждения покрытий является воздействие на них гамма-квантами до достижения поглощенной дозы 30 кГр.

На рисунке 2 приведена зависимость твердости покрытий по маятниковую прибору (ТМЛ А) от типа и дозы поглощения излучения. Воздействие ионизирующим излучением на исследуемые образцы приводит к увеличению твердости покрытий. Большее влияние на увеличение твердости оказывает воздействие гамма-квантами. По мере увеличения дозы поглощенного излучения, динамика увеличения твердости покрытий ослабевает, что коррелирует с зависимостью изменения гель-фракции в покрытиях.

Исследуемые образцы характеризуются высокими физико-механическими показателями: адгезия – не более 1 балла, прочность при ударе – не менее 100 см, эластичность при изгибе – не более 1 мм. В процессе воздействия ионизирующим излучением изменение величин данных показателей не зафиксировано.

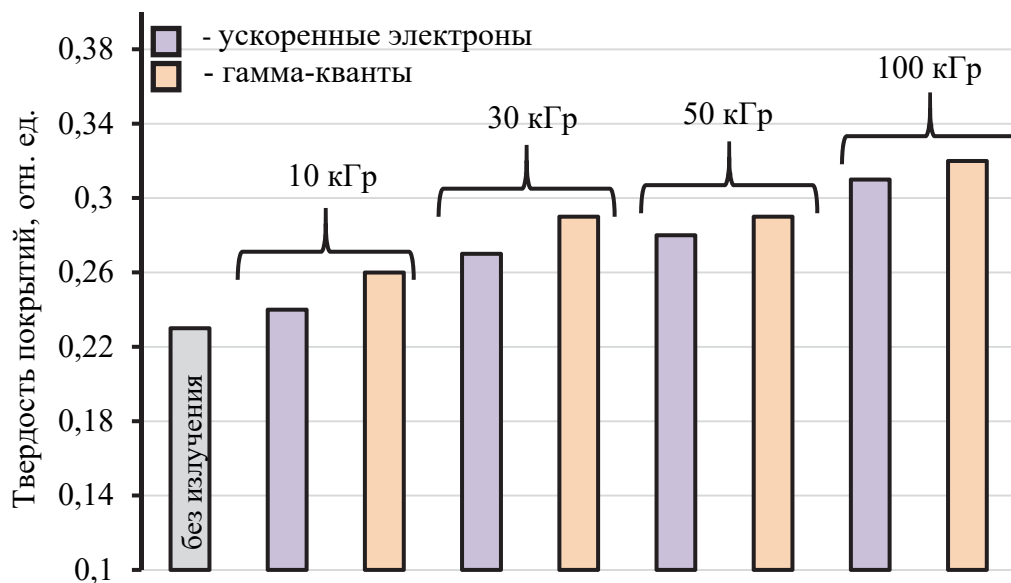


Рисунок 2 – Зависимость твердости покрытий от типа и дозы поглощенного излучения

Воздействие ионизирующим излучением может оказать влияние не только на физико-механические свойства лакокрасочных покрытий, но и изменить природу ее поверхности, повысив, либо понизив гидрофобность. В качестве критерия оценки гидрофобности поверхности нами использовалось определение равновесного угла смачивания водой (рисунок 3).

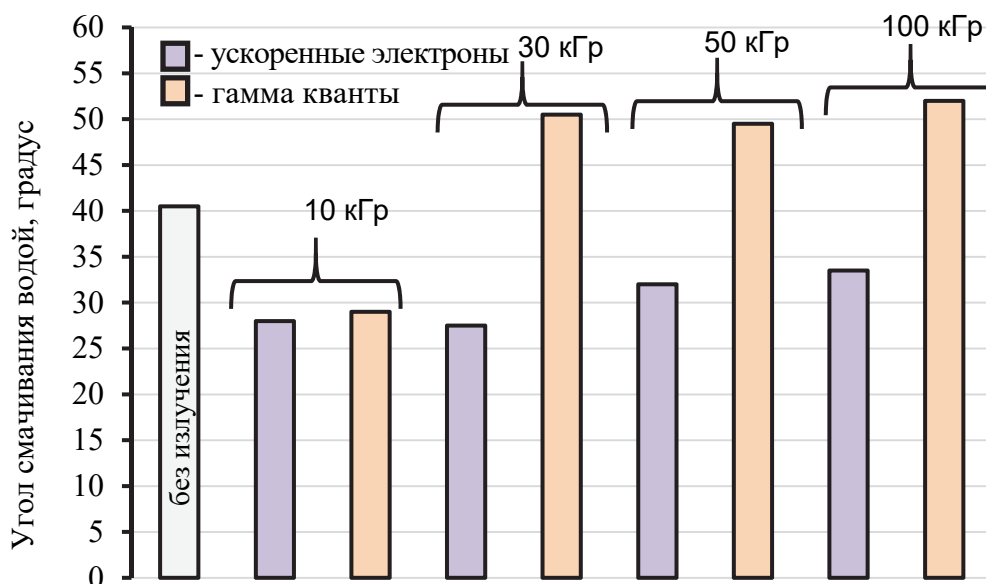


Рисунок 3 – Зависимость величины равновесного угла смачивания покрытий водой от типа и дозы поглощенного излучения

Увеличение угла смачивания в использованной нами методике может оцениваться как увеличение гидрофобности покрытия. Из представленных на рисунке 3 данных следует, что применение ускоренных электронов вне зависимости от продолжительности экспонирования и воздействие гамма-квантами в дозах до 30 кГр, снижает гидрофобность покрытий. В то же время, увеличение времени экспозиции покрытий в потоке гамма-квантов, до обеспечения величины поглощенной дозы 30 кГр и более, положительно сказывается на увеличении гидрофобности покрытий.

Анализ зависимостей изменения массы пленок в 3% NaCl показал, что воздействие гамма-квантами положительно влияет на устойчивость покрытий в растворе хлорида натрия (рисунок 4). Воздействие ускоренными электронами оказывает негативное влияние на устойчивость покрытий в аналогичных условиях.

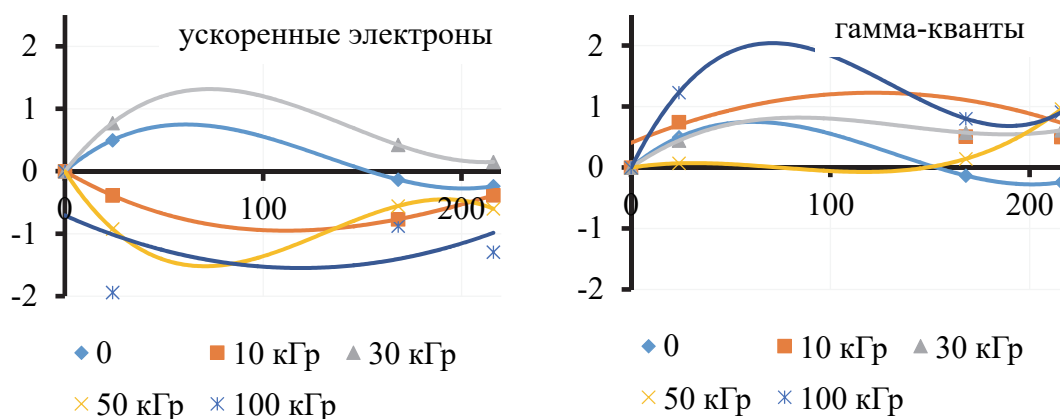


Рисунок 4 – Зависимость изменения массы пленок в 3% NaCl от типа и дозы поглощенного излучения

На основании анализа совокупности экспериментальных данных можно заключить, что с целью улучшения эксплуатационных свойств полиуретановых покрытий наиболее оптимальным является воздействие на них гамма-квантами до достижения поглощенной дозы 30 кГр.

ЛИТЕРАТУРА

1 Перспективы развития радиационных технологий в России / А. П. Черняев, С. М. Варзарь, А. В. Белоусов [и др.] // Ядерная физика. – 2019. – Т. 82, № 5. – С. 425–439. – DOI 10.1134/S004400271904007X.

2 Пьянков Г.И., Мелешевич А.П., Ярмилко Е.Г, Кабакчи А.М., Омельченко С.И. Радиационная модификация полимерных материалов / Киев: Техніка, 1969. – 232 с.

3 Ш.М. Маммадов, А.А. Гарибов Радиационная физики и химия полимеров // БАКУ – АГНА, 2015. – 549 с.

Карпович О.И., Наркевич А.Л., Калинка А.Л.
(Белорусский государственный технологический университет)

Пышняк А.М.
(ОАО «Пеленг»)

Подымако М.Э., Куцепенко А.В.
(ОАО «Могилевлифтмаш»)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ТЯГОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СТАЛЬНЫМ КАНАТАМ

Одним из перспективных направлений отраслевой лаборатории лифтового машиностроения ОАО «Могилевлифтмаш» является исследования в области тяговых элементов, альтернативных стальным канатам (ТЭАСК). Такие тяговые элементы достаточно широко используются в конструкции пассажирских лифтов иностранных производителей лифтового оборудования (например, фирмы Otis, Kone, Shindler) и обладают определенными преимуществами по сравнению с традиционными стальными канатами. В работе [1] исследованы аналоги ТЭАСК фирм *Otis* и *Shindler*. Они представляют собой силовые элементы (в виде относительно тонких стальных канатов) заключенные в оболочку из термопластичного полиуретана (ТПУ). Установлены основные требования к оболочке (твердость по Шору, коэффициент трения и др.) и силовым элементам (конструкция, разрывная нагрузка).

Цель работы – выбор и исследование компонентов для изготовления экспериментальных образцов (ЭО) ТЭАСК, получение необходимых исходных данных для проектирования технологической оснастки для изготовления и испытаний ТЭАСК.

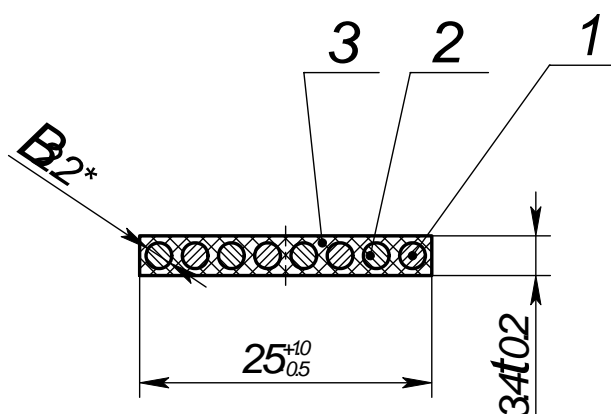


Рисунок 1 – Сечение ЭО ТЭАСК: 1, 2 – стальной канат с правым и левым направлением свивки соответственно; 3 – термопластичный полиуретан

Экспериментальный образец (ЭО) ТЭАСК представляет собой плоский ремень с прямоугольным поперечным сечением. Сечение ЭО ТЭАСК представлено на рисунке 1. Размеры сечения (ширина и толщина), допуски на соответствующие размеры принимали в соответствии с конструкцией изделия аналога (ремень фирмы Otis).

ЭО ТЭАСК состоит из 8 стальных канатов (4 каната 2,2 Г-В-С-Н-Р-1770 и 4 каната 2,2 Г-В-С-Л-Н-Р-1770 по ГОСТ 3066-80). Канаты отличаются направлением свивки (правое и левое). Канаты с правой свивкой чередуются с канатами, имеющими левую свивку. В конструкции ЭО ТЭАСК канаты находятся в оболочке из ТПУ (*Eccolan S98 A L C N* или *Eccolan 1198 A 10000*).

Для ТПУ определяли показатель текучести расплава (ПТР), параметры степенного закона течения, усадку, механические характеристики при растяжении и срезе, твердость по Шору, коэффициент трения. Для стального каната определяли разрывную нагрузку.

Значения ПТР, параметры степенного закона течения (коэффициент консистенции μ и параметр среды n), а также параметры температурной зависимости коэффициента консистенции (константа вязкости материала μ_0 , энергия активации E_a) представлены в таблице 1. Из данных таблицы 1 видно, что значения ПТР и коэффициента консистенции существенно зависят от температуры. Уменьшая температуру, можно уменьшить текучесть, что хорошо для формуемости методом экструзии. Увеличивая температуру, можно увеличить текучесть, что хорошо для обеспечения адгезии между стальным канатом и ТПУ. Однако, следует иметь в виду, что даже незначительное увеличение температуры (на 5–10 °С) приводит к значительному изменению данного показателя. Это говорит о необходимости точного поддержания температуры в процессе получения изделия.

Таблица 2 – Параметры степенного закона течения и температурной зависимости коэффициента консистенции

Материал	Температура, °С	ПТР, г/10 мин	μ , Па·с ⁿ	n	μ_0 , Па·с ⁿ	E_a , Дж/моль
<i>Eccolan S98 A L C N</i>	200	–	3080,0	0,39	$2,1 \times 10^{-37}$	$3,64 \times 10^5$
	205	14,9	–	–		
	210	36,2	453,7	0,59		
<i>Eccolan 1198 A 10000</i>	195	2,7	5710,0	0,24	$8,9 \times 10^{-28}$	$2,76 \times 10^5$
	205	51,0	1290,0	0,49		

Зависимость коэффициента консистенции от температуры представлена на рисунке 2.

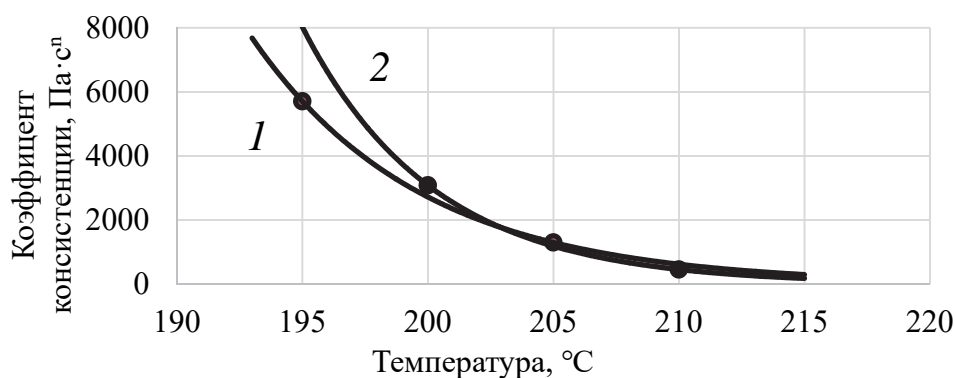


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента консистенции от температуры (точки – эксперимент, линия – согласно закону Аррениуса):
 1 – *Ecollan 1198 A 10000*; 2 – *Ecollan S98 A L C N*

Для определения механических характеристик ТПУ получали образцы методом литья под давлением при температуре материального цилиндра 210-220°C, форма – охлаждаемая. Значения механических характеристик ТПУ представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели механических характеристик для ТПУ

Характеристика	ТПУ	
	<i>Ecollan 1198 A 10000</i>	<i>Ecollan S98 A L C N</i>
Модуль упругости при растяжении, МПа	80,4	93,7
Напряжение, МПа, при деформации, %		
100	10,0	10,7
300	16,4	18,0
Прочность при срезе, МПа	7,8	9,1
Твердость по Шору, ед. по шкале А	89,6	92,3
Коэффициент трения для поверхностей:		
матовая	0,44	0,21
глянцевая	0,69	0,52
обработанная шкуркой	0,30	0,30
Усадка	0,43	0,64

Из данных таблицы 2 следует, что механические характеристики для двух марок ТПУ отличаются незначительно. При этом ТПУ марки *Eccolan 1198A 10000* является более податливым по сравнению с ТПУ марки *Eccolan S98 A L CN*. Значение твердости по Шору для исследованных марок ТПУ соответствует твердости аналогов (для ленты фирмы Otis твердость 90,0 ед. по шкале А).

Для тяговых канатов важен коэффициент трения. Обработка поверхностей литьевой формы позволила получить образцы с разной шероховатостью поверхностей. Условно обозначили их как матовая и глянцевая. Как показали исследования коэффициента трения его величина существенно зависит от шероховатости. Механическая обработка поверхности (например, обработка наждачной шкуркой) позволяет

получить стабильное значение коэффициента трения, практически не зависящее от марки ТПУ. Значение коэффициента трения ТПУ, обработанного наждачной шкуркой соответствует коэффициенту трения для аналога (для ленты фирмы Otis коэффициент трения 0,33).

Разрывное усилие стального каната определяли по ГОСТ 3241-91 «Канаты стальные. Технические условия». Испытание проводили на разрывной машине *MTS Criterion*. Для того чтобы все проволоки в канате несли нагрузку использовали специальные приспособления для закрепления концов каната. Расстояние между зажимами не менее 300 мм. Скорость нагружения 10 мм/мин. Фиксировали усилие, при котором происходило разрушение каната. Среднее значение разрывного усилия составило 3845 Н, что выше, чем минимальное нормативное значение (3390 Н) для данного каната согласно ГОСТ 3066-80.

В результате проведенных исследований компонентов ТЭАСК получены необходимые данные о их технологических и механических характеристиках. Полученные данные использовали для расчетов и разработки конструкторской документации на средства технологического оснащения для изготовления и испытаний ЭО ТЭАСК. Разработана конструкция экструзионной головки, калибрующего устройства и захватов для испытаний на растяжение. Также, данные будут использованы для отработки технологических режимов изготовления ЭО ТЭАСК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович О.И., Наркевич А.Л., Калинка А.Н., Подымако М.Э., Куцеполенко А.В. Тяговые элементы, альтернативные стальным канатам / Технология органических веществ: материалы 87-й науч.- техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января – 17 февраля 2023 г. [Электронный ресурс] / Белорус. гос. технол. ун-т. – отв. за издание И.В. Войтов. – Минск : БГТУ, 2023. – С. 129–133.

УДК 541.64; 544.77

Глевицкая Т.А., Назаров Е.А., Полын А.С., Бильдюкевич А.В.
(ГНУ «Институт физико-органической химии
Национальной академии наук Беларуси»)

ПОГРУЖНЫЕ ПОЛОВОЛОКОННЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Мембранные биореакторы (МБР) являются одними из самых эффективных и современных методов очистки сточных вод, объединяющих в себе мембранную фильтрацию и биологическую очистку активным илом.

Ультрафильтрационные мембраны в МБР предназначены не только для глубокой очистки сточных вод (до уровня приемлемого для возвращения воды в природные водоемы), но и для концентрирования активного ила в аэротенке. Чаще всего для очистки сточных вод используют МБР с внешним расположением мембран, для которых требуется дополнительная установка мощных перекачивающих насосов, способных нагнетать высокое трансмембранное давление – 0,5 – 1,0 МПа. Современная альтернатива выносным мембранным установкам – погружные мембранные модули, способные успешно функционировать при достаточно низком трансмембранном давлении 0,03 – 0,1 МПа.

В ИФОХ НАН Беларуси разработана технология получения армированных полволоконных мембран с типом фильтрации «снаружи-внутри» на основе различных полимерных материалов (полиэфирсульфон (ПЭС), полиакрилонитрил (ПАН) и ацетата целлюлозы (АЦ)) с номинальным молекулярно-массовым пределом отсечения 100 – 300 кДа (рис.1), и изготовлены погружные мембранные ультрафильтрационные модули на их основе (рабочая площадь мембран 0,65 – 0,9 м²). Разработанные погружные мембранные модули были использованы для комплектации лабораторной установки для тонкой очистки, дополнительно укомплектованной самовсасывающим насосом для отвода фильтрата и компрессором для обеспечения дополнительной аэрации.

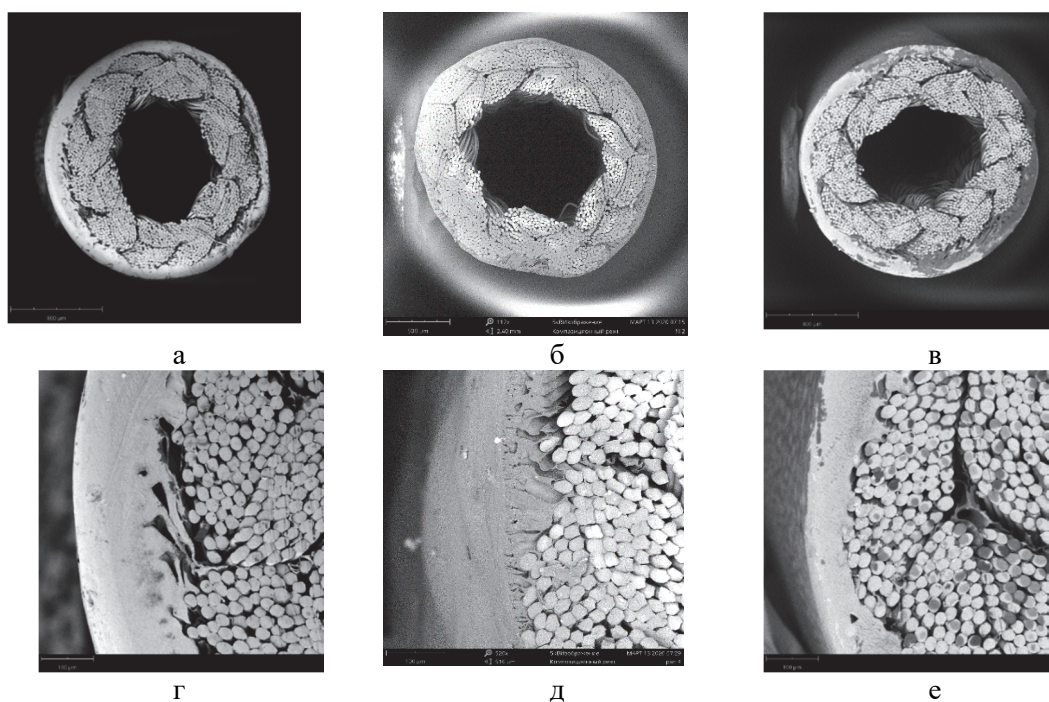


Рисунок 1 – Микрофотографии армированных полволоконных мембран с типом фильтрации «снаружи-внутри» на основе а,г – ПЭС, б,д – ПАН, в,е – АЦ.



Рисунок 2 – Лабораторная установка для тонкой очистки воды при помощи погружных ультрафильтрационных элементов

Проведены исследования разработанных мембранных модулей в процессе ультраfiltrации циркуляционного активного ила с влажностью 99% и зольностью 23% (источник очистные сооружения УП «Минскводоканал») при различных режимах (время фильтрации, трансмембранное давление, интенсивность аэрации, степень концентрирования). Объем и концентрация ила в системе поддерживались на постоянном уровне. Установлено, что разработанные ультрафильтрационные модули характеризуются стабильно высокими значениями удельной производительности – 22-60 л/(м²ч·атм). Показано, что ультраfiltrация с использованием разработанных погружных мембранных модулей позволяет существенно снизить мутность, цветность и общее содержания органического углерода циркуляционного активного ила до уровня, приемлемого для возвращения воды в природные водоемы, табл.1.

Таблица 1 – Результаты очистки циркуляционного активного ила при помощи погружных ПЭС-мембран

Фильтрат	Мутность, NTU	C(Fe), мг/л	C(Ca), мг/л	C(Mg), мг/л	C(Cu), мг/л	C(Zn), мг/л	C(Al), мг/л	ТОС, мг/л	IC, мг/л
ПЭС	9,6	0,04	59,4	41,4	0,01	0,07	0,014	2,42	49,8
ПАН	6,6	0,11	44	16,9	0,01	0,06	0,02	16	29,6
АЦ	1,12	0,02	34,4	28,3	0,05	0,14	0,02	21,6	59,0

Показано, что степень восстановления потока разработанных погружных мембранных модулей после ультраfiltrации активного ила достаточно высока и составляет 75-96% в зависимости от номинального молекулярно-массового предела отсека и материала мембраны.

Установлено, что разработанные погружные мембранные модули и установка на их основе перспективны для использования в аэротенках на водоочистных сооружениях для извлечения чистой воды из смеси сточных вод и активного ила.

ЛИТЕРАТУРА

1. Al-Asheh S., Bagheri M., Aidan A. Membrane bioreactor for wastewater treatment: A review //Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. – 2021. – Т. 4. – С. 100109.

2 Aslam M. et al. Membrane bioreactors for wastewater treatment: A review of mechanical cleaning by scouring agents to control membrane fouling //Chemical Engineering Journal. – 2017. – Т. 307. – С. 897-913.

УДК 541.64; 544.169; 544.023.26

Бурть Е.С., Плиско Т.В. Бильдюкевич А.В.
(Институт физико-органической химии НАН Беларуси)
Пенькова А.В.
(Санкт-Петербургский государственный университет)

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕМБРАН ДЛЯ НАНОФИЛЬТРАЦИИ МЕТОДОМ МЕЖФАЗНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Разработаны новые тонкопленочные композиционные нанофильтрационные мембраны полифенилсульфон (ПФС)/полиамид (ПА). Благодаря высокой химической и термической стойкости, а также устойчивости к окислению полимеры полисульфоновой группы весьма перспективны в качестве материалов для получения ультрафильтрационных мембран. Однако достаточно высокая гидрофобность поверхности ограничивает их применение. Существует множество способов модификации таких полимеров и повышения их гидрофильности. Одним из наиболее эффективных способов является введение в формовочный раствор гидрофильных добавок. Блок-сополимеры полиэтиленгликоля (ПЭГ) и полипропиленгликоля (ППГ) являются перспективными модифицирующими добавками в полимерные матрицы благодаря своей амфифильной природе. Формирование селективного слоя методом межфазной полимеризации во многом зависит от свойств мембраны-подложки. Известно, что размер пор, пористость, гидрофильность, смачиваемость и сродство к аминному мономеру мембранообразующего полимера подложки влияют на скорость высвобождения аминного

мономера из нее к границе раздела фаз. Это влияет на толщину и структуру селективного ПА слоя, формируемого методом межфазной полимеризации. Повышение гидрофильности поверхности может привести к более равномерному распределению амина при формировании ПА слоя, в результате чего образуется более плотный и тонкий слой, характеризующийся высокой задерживающей способностью по солям.

Ультрафильтрационные мембраны-подложки на основе ПФС (Ultrason P3010, $M_w = 48000 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$) были получены методом инверсии фаз способом мокрого формования. В качестве полимерной добавки (3 и 7 мас.%) в формовочный раствор использовали триблок-сополимеры, состоящие из гидрофильного ПЭГ и гидрофобного ППГ (Pluronic®) (таблица), характеризующиеся различной молекулярной массой и содержанием блоков ПЭГ. В качестве коагуляционной ванны использовали дистиллированную воду.

Таблица – Виды сополимеров Pluronic® и их характеристики

Тип сополимера	Молекулярная масса, $\text{г} \cdot \text{моль}^{-1}$	Содержание ПЭГ-блоков, %
L61	2 000	10
L62	2 500	20
L65	3 500	50

Нанофильтрационные мембраны получены путем формирования тонкого селективного слоя методом межфазной полимеризации пиперазина и тримезоилхлорида на поверхности пористой мембраны-подложки на основе ПФС с добавлением триблок-сополимеров ПЭГ-ППГ-ПЭГ. Характеристики нанофильтрационных мембран ПФС-Pluronic/ПА исследовали при нанофильтрации модельных водных растворов солей (MgCl_2 , CaCl_2 , Na_2SO_4 , MgSO_4) с концентрацией $2 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ при $\Delta P=5 \text{ атм}$, перемешивании и комнатной температуре.

Установлено, что увеличение содержания ПЭГ-звеньев в триблок-сополимере приводит к формированию более пористой структуры селективного слоя ультрафильтрационных мембран. Увеличение концентрации Pluronic в формовочном растворе также приводит к увеличению размера и количества пор. По данным АСМ-исследований, увеличение содержания ПЭГ-звеньев с 10–20% до 50% вызывает резкое увеличение параметров шероховатости поверхности селективного слоя ПФС мембран. Увеличение концентрации триблок-сополимера с 3 до 7 мас.% независимо от содержания ПЭГ-звеньев также приводит к повышению шероховатости поверхности селективного слоя, вероятно, за счет более высокой пористости и большего размера пор. Выявлено, что гидрофильность поверхности мембран ПФС-Pluronic повышается при увеличении как концентрации триблок-сополимера, так и содержания ПЭГ-звеньев.

Установлено, что увеличение содержания ПЭГ-звеньев в триблок-сополимере, а также повышение концентрации Pluronic в формовочном растворе с 3 до 7 мас. % приводит к увеличению удельной производительности ультрафильтрационных мембран по воде (рисунок 1а). Удельная производительность мембран с добавкой 7 мас. % триблок-сополимера значительно превышает оную для мембран с 3 мас. %. Коэффициент задерживания по поливинилпирролидону с $M_n=40\ 000\ \text{г}\cdot\text{моль}^{-1}$ (ПВП К-30) мембран с добавкой 3 мас. % триблок-сополимера практически не изменяется с увеличением содержания ПЭГ-звеньев и незначительно снижается при введении 7 мас. % добавки (рисунок 1б). Кроме того, показано, что коэффициент задерживания мембран с 7 мас. % сополимера в формовочном растворе ниже, чем у мембран, полученных из растворов ПФС добавкой 3 мас. % сополимеров, за счет увеличения размера пор селективного слоя.

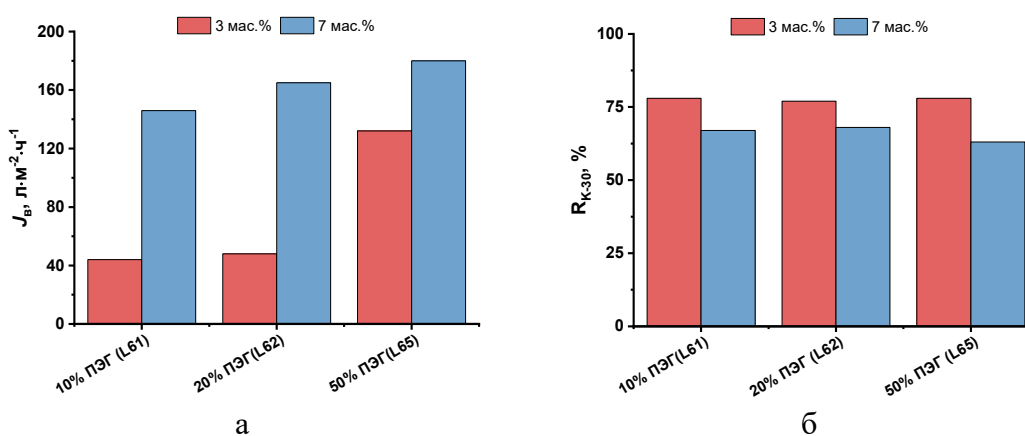


Рисунок 1 – Зависимость удельной производительности по воде (а) и коэффициента задерживания по ПВП К-30 (б) ультрафильтрационных ПФС мембран от содержания ПЭГ-звеньев в триблок-сополимере

Установлено, что поверхность селективного слоя нанофильтрационных мембран состоит из глобулярных образований ПА, которые представляет собой типичную структуру селективного слоя. С увеличением содержания ПЭГ-звеньев в триблок-сополимере наблюдается формирование более однородной поверхности и уменьшение размера глобулярных образований. Выявлено, что с увеличением содержания ПЭГ-звеньев в триблок-сополимере наблюдается образование более тонкого и однородного селективного слоя нанофильтрационных мембран (рисунок 2). Это особенно выражено для мембран, полученных из формовочных растворов с 7 мас. % триблок-сополимера ПЭГ-ППГ-ПЭГ.

Показано, что удельная производительность нанофильтрационных мембран по воде повышается с увеличением содержания ПЭГ-звеньев в блок-сополимере (рисунок 3а). Коэффициент задерживания по

MgSO₄ практически не изменяется с увеличением содержания ПЭГ-звеньев при введении 3 мас.% добавки, но незначительно снижается при введении 7 мас.% блок-сополимера в формовочный раствор. Для всех остальных солей (MgCl₂, CaCl₂, Na₂SO₄) коэффициент задерживания снижается с увеличением содержания ПЭГ-звеньев в триблок-сополимере и повышением концентрации триблок-сополимера в формовочном растворе с 3 до 7 мас.% (рисунок 3б).

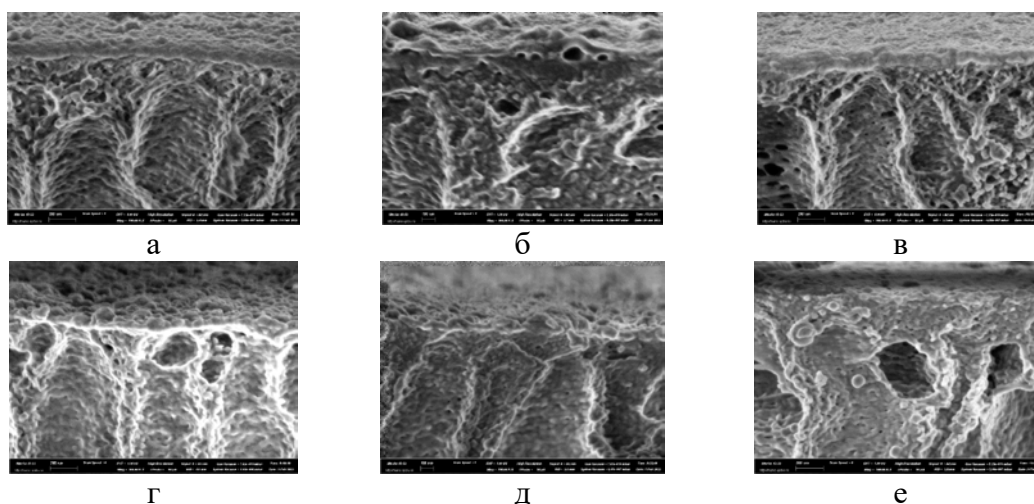


Рисунок 2 – СЭМ-микрофотографии поперечных сечений нанофильтрационных мембран на основе ПФС с добавками в формовочный раствор 3 мас.% (а-в) и 7 мас.% (г-е) блок-сополимера, тип блок-сополимера: а,г - L61; б,д - L62; в,е - L65

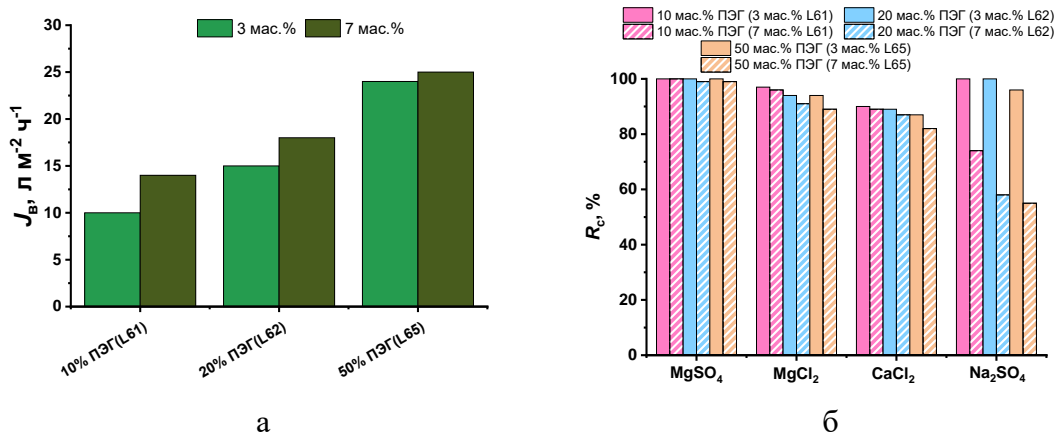


Рисунок 3 – Зависимость удельной производительности по воде (а) и коэффициента задерживания по солям (б) нанофильтрационных мембран ПФС -Pluronic/ПА от содержания ПЭГ -звеньев в триблок-сополимере

Установлено, что для сульфата натрия наблюдается очень сильное снижение коэффициента задерживания с увеличением концентрации блок-сополимера в формовочном растворе.

**Чикунская В.М., Щербина Л.А.,
Будкуте И.А., Огородников В.А.**
(Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий)

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОЙ ЭКСПОЗИЦИИ НА НАБУХАНИЕ ИОНИТОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОНИТРИЛА И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ

Волокнообразующие сополимеры на основе акрилонитрила (АН) обладают комплексом свойств, которые позволяют им долгие годы сохранять за собой стабильную потребительскую нишу среди других полимерных материалов. В частности, получаемые из них волокнистые материалы проявляют уникальные свойства и способность к различным модификационным обработкам. Исследования в области разработки и применения хемосорбционных волокнистых материалов входят в число приоритетных научных направлений в промышленно развитых странах. Введение в структуру сорбентов хемоактивных сорбатов позволяет использовать их в качестве катализаторов в процессах получения различных веществ. Подобные подходы не новы, однако имеющиеся научно-практические результаты позволяют считать их развитие перспективным и многообещающим.

В частности, материалы на основе сополимеров АН и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС) проявляют ионообменные свойства [1–2]. Увеличение в них содержания кислотного сомономера (КС) – один из путей повышения обменной ёмкости ионита. Однако работа с материалами на основе поли[АН–со–АМПС] с содержанием АМПС более 25 % (масс.) затруднена вследствие их значительного набухания в водных средах, переходящего в растворение. В частности, результаты оценки изменения кратности набухания в различных средах немодифицированных образцов поли[АН–со–АМПС] по мере увеличения содержания в них КС представлены на рисунке 1.

Наиболее существенное набухание испытываемых образцов отмечается в дистиллированной воде, в то время как в кислой и щелочной средах способность к набуханию снижается.

Исходя из этого, целью данного исследования явился анализ возможности снижения кратности (степени) набухания в различных водных средах ионообменных материалов на основе поли[АН–со–АМПС] за счет их модификации посредством воздействия физических факторов.

Так, для обеспечения меньшей склонности ионитов к набуханию в водных средах, на модельных гранулированных образцах на основе

поли[АН–со–АМПС], содержащих от 20 до 30 % (масс.) кислотного со-мономера, было рассмотрено влияние на них термической обработки.

С этой целью образцы ионитов выдерживали в течение 60 минут при различных температурах. Результаты проведенных экспериментов показали, что кратность набухания изучаемых ионогенных материалов по мере увеличения температуры их обработки снижается (рисунок 2).

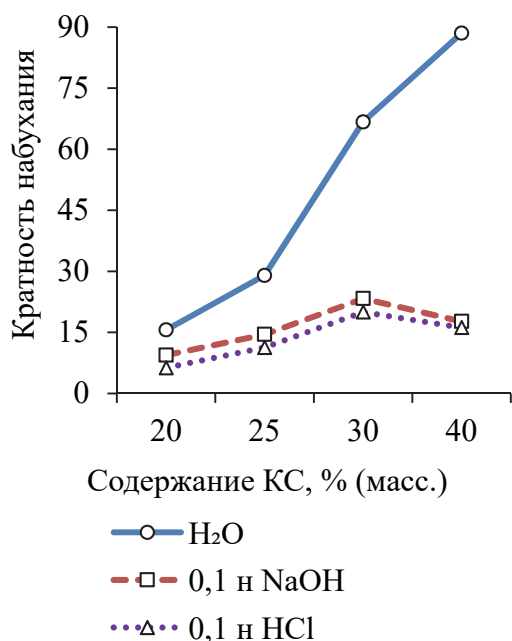


Рисунок 1 – Влияние содержания КС в поли[АН–со–АМПС] на кратность их набухания в водных средах

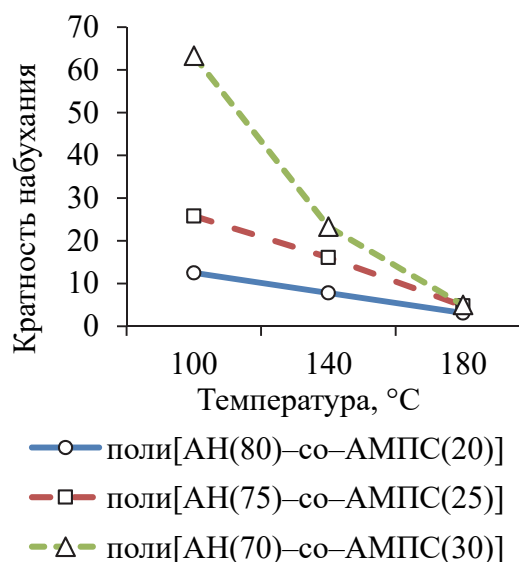


Рисунок 2 – Влияние температуры обработки ионитов на основе поли[АН–со–АМПС] на кратность их набухания в воде

Возможными причинами этого могут являться активируемые температурным воздействием полимераналогичные и иные превращения в полимерном субстрате поли[АН–со–АМПС].

Влияние температурно-временной экспозиции на изменение структуры полимерной основы ионитов можно продемонстрировать посредством оценки способности растворяться поли[АН(80)–со–АМПС(20)] (таблица 1 и рисунок 3а), поли[АН(75)–со–АМПС(25)] (рисунок 3б) и поли[АН(70)–со–АМПС(30)] (рисунок 3в) в апротонном растворителе – диметилформамиде (ДМФ).

Так, можно отметить, что с увеличением температурно-временной экспозиции снижается продолжительность обработки до достижения ограниченной степени набухания ионитов на основе поли[АН)–со–АМПС].

На характер протекания термохимических превращений в структуре поли[АН–со–АМПС] указывает изменение спектральных характеристик модельных образцов в ИК-диапазоне.

Таблица 1 – Влияние температурно-временной экспозиции на набухание поли[АН(80)–со–АМПС(20)] в диметилформамиде

Условия термообработки						
Продолжительность, мин	Температура, °С					
	100	120	140	160	180	200
13	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
15	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	0
17	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	0	-
19	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	0	0	-
21	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	0	0	-
23	<i>p</i>	<i>p</i>	0	0	-	-
25	<i>p</i>	<i>p</i>	0	0	-	-
27	<i>p</i>	0	0	-	-	-
29	<i>p</i>	0	0	-	-	-
31	<i>p</i>	0	0	-	-	-
33	0	0	-	-	-	-
35	0	-	-	-	-	-
37	0	-	-	-	-	-
39	0	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-

Примечание; «*p*» – неограниченное набухание (растворение); «0» – ограниченное набухание; «-» – отсутствие видимого набухания

Таким образом, в результате проведенной работы продемонстрирована возможность снижения степени набухания ионогенных сополимеров на основе АН и АМПС путем их термической обработки, что позволяет рассматривать перспективы использования рассматриваемых сорбентов с повышенным содержанием КС.

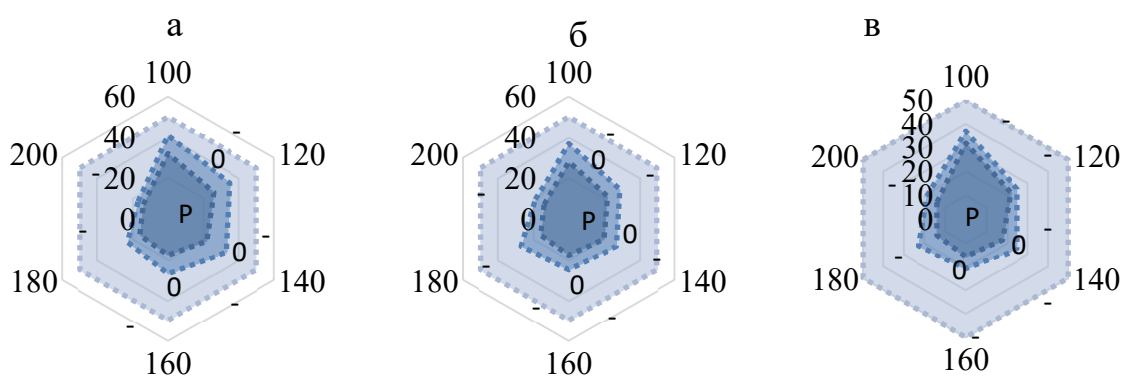


Рисунок 3 – Влияние продолжительности термообработки образцов поли[АН–со–АМПС] на их растворимость в ДМФ (при содержании КС: а – 20 % (масс.), б – 25 % (масс.), в – 30 % (масс.))

ЛИТЕРАТУРА

1. Огородников, В.А. Исследование ионообменных свойств полимерных сорбентов на основе волокнообразующих сополимеров акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропансульфоукислоты / В.А. Огородников, Л.А. Щербина, В.М. Чикунская // Вестник СПГУТД. – 2016. – № 3. – С. 94-99.

2. Чикунская, В.М. Сорбционная активность материалов на основе поли[акрилонитрил-со-2-акриламид-2-метилпропансульфоукислоты] / В.М. Чикунская, В.А. Огородников, Л.А. Щербина, И.А. Будкуте // Полимерные материалы и технологии. – 2022. – Т. 8. – № 1. – С. 50-56.

УДК 621.798.264

Хайбуллова К.М., Сергин Н.А.,
Закирова Л.Ю.
(ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань)

ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИИЗОБУТИЛЕНА ДЛЯ ВРЕМЕННОЙ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В процессе конвейерной сборки холодильного оборудования требуется осуществление временной герметизации некоторых полостей и швов с целью не допустить попадания в данные полости основного герметизирующего материала. Временный герметизирующий материал наносится на технологические отверстия в условиях конвейерной сборки вручную и должен иметь пастообразную (пластилинотипную) консистенцию для удобства нанесения.

Кроме того, герметизирующий материал должен быть безопасен для человека (не вызывать раздражение кожных покровов), обладать адгезией к стали и определенной консистенцией в нормальных условиях.

Перечисленным требованиям удовлетворяют неотверждаемые герметизирующие материалы. Неотверждаемые герметизирующие композиции производят на основе эластомеров – полиизобутилена, бутилкаучука, реже этилен-пропилендиенового каучука, олигомеров – низкомолекулярного полиизобутилена, полиэтилена и др. [1-3].

Основными качественными характеристиками всех видов герметиков являются:

- допустимая температура применения и рабочая температура;
- эластичность;

- адгезия к различным поверхностям;
- устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды.

В качестве полимерной основы предлагаемой композиции использовали низкомолекулярный полиизобутилен (П-20), представляющий собой медоподобное вещество, обладающее высокой газонепроницаемостью.

В качестве дисперсного наполнителя использовали порошкообразные вещества: мел, диоксид кремния, каолин, тальк, крахмал, в количестве 200÷600 мас.ч. Учитывая неполярную природу низкомолекулярного полиизобутилена и полярную природу наполнителя, для повышения совместимости в составе композиции был использован компатибилизатор – стеариновая кислота.

В качестве разбавителя использовали нефтяное промышленное масло, которое обеспечивает равномерное распределение наполнителя в композиции. Содержание масла варьировалось в интервале 10÷40 мас.ч.

Герметизирующую композицию изготавливали в лабораторном двухроторном смесителе, в течение 10 минут. Состав герметизирующих композиций приведен в табл.1.

Таблица 1 – Состав композиций

Компоненты	Состав композиции, масс. ч.					
	1	2	3	4	5	6
П-20	100	100	100	100	100	100
Мел МТД-2	600	500	–	–	–	–
Каолин	–	–	500	–	–	–
Белая сажа	–	–	–	200	–	–
Тальк	–	–	–	–	500	–
Крахмал	–	–	–	–	–	300
Стеариновая кислота	40	20	20	10	20	20
Индустриальное масло И-20а	40	10	20	10	20	20

У приготовленных композиций определяли физико-механические и вязкостные свойства (табл. 2). Прочность при растяжении образцов определяли в соответствии с ГОСТ 270–75 «Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении» Скорость движение зажима – 100 мм/мин. У полученных образцов определяли пенетрацию по ГОСТ 32154-2013 «Материалы битуминозные. Метод определения пенетрации». Пенетрация характеризует консистенцию исследуемых материалов. Чем выше значение пенетрации, тем мягче консистенция. В качестве индентора использовали стандартную иглу. Дополнительный груз при определении пенетрации не использовали. Определение показателя проводили при н.у и при 50°С.

Адгезию к алюминию определяли по ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624: 2002) «Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом отрыва». Испытания на адгезию проводили на разрывной машине Zwick/Roell/VT1-FR2.5TH.140.

Таблица 2 – Свойства композиций с различными наполнителями

Показатель	Номер композиции					
	1	2	3	4	5	6
Наполнитель	мел	мел	каолин	белая сажа	тальк	крахмал
Условная прочность при разрыве (F _б), МПа	0,3	0,449	0,508	0,345	0,05	0,08
Относительное удлинение при разрыве (E _{отн}),%	0,5	3,2	0,1	8,0	0,1	1,0
Твердость, по Шор А	28	20	45	12	15	7
Адгезия, МПа	0,20	0,18	0,12	0,35	0,09	0,13
Характер адгезионного разрушения*	К	А	А	К	А	А
Пенетрация, при 25 °С, мм ⁻¹	20	27	18	17	6	35
Пенетрация, при 50 °С, мм ⁻¹	78	98	38	48	35	140

* А – адгезионный характер разрушения; К – когезионный характер разрушения.

Анализ данных таблицы 2 показал, что самую большую прочность и твердость имели герметики, наполненные 500 мас.ч. каолина. Наилучшую адгезию к субстрату имели герметики, наполненные мелом и белой сажой. Самую низкую вязкость имели герметики, наполненные крахмалом. Оптимальные свойства имела композиция с 600 мас.ч. мела.

Таким образом, разработаны высоконаполненные, неотверждаемые герметики на основе низкомолекулярного полиизобутилена, безопасные при ручном нанесении. Исследовано влияние типа наполнителя на свойства герметиков. Установлен уровень физико-механических и вязкостных свойств герметизирующих композиций. Оптимальный комплекс свойств имели герметики, наполненные мелом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Имамутдинов, И.В. Герметики на основе эластомеров / И.В. Имамутдинов, Р.Ю. Галимзянова, Ю.Н. Хакимуллин // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т.18, – №6. – С. 69–74. EDN: TSXABN.
2. Шишкина, Н.Н. Использование добавок на основе карбамида в резиновых смесях как агентов полифункционального действия / Н.Н. Шишкина, Л.Ю. Закирова, Я.Д. Самуилов // Каучук и резина. – 2020. – Т. 79. – № 4. – С. 198-202.

3. Вольфсон, С.И., Основные тенденции развития мирового и российского рынков нанотехнологий и нанокompозитных материалов / С.И. Вольфсон, Н.А. Охотина А.И. Нигматуллина// Вестник Казанского технологического университета. – 2013. Т. – 16. – № 4. – С. 144-146.

УДК 547.995.1:677.469

Прокопчук Н.Р., Прищепенко Д.В.

(Белорусский государственный технологический университет)

НАНОВОЛОКОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ХИТОЗАНА, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ СОЛЯМИ СЕРЕБРА И ЦЕРИЯ

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.

Рост устойчивости патогенных штаммов микроорганизмов к современным антибактериальным препаратам диктует необходимость поиска и оценки эффективности различных химических элементов и соединений, а также их композиций в лечении хирургической инфекции. Особый интерес в данном направлении в последние годы представляет медицинское применение наноматериалов, в том числе изучение влияния наночастиц на патогенные микроорганизмы. Известно, что при переходе на нанометровый уровень (диапазон от 1 до 100 нм) у материалов изменяются физико-химические свойства, которые невозможно предсказать [1].

В качестве антимикробного и ранозаживляющего вещества использование перспективно использование нановолокон природного полимера хитозана, обладающего антимикробными и ранозаживляющими 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. Биодegradуемые материалы, к которым относится биополимер хитозан, постепенно разрушаясь, способны высвобождать наночастицы, поэтому образцы модификаций нановолокон хитозана частицами серебра, церия

и их комплексом потенциально могут стать новым средством для создания высокоэффективных раневых покрытий.

В качестве антибактериальных агентов использовали нитрат церия (III) и нитрат серебра. Серебро в виде наночастиц может прикрепиться к клеточной стенке микроорганизмов и выделять ионы, когда находится во взвешенном состоянии в растворе.

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 «Kionutrimе-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/м².

Результаты испытаний антимикробных свойств в Белорусском государственном медицинском университете методами диффузии в агар и количественно суспензионным методом [2] показали, что нановолокна хитозана, модифицированные ионами серебра, проявили высокие показатели антимикробной активности в отношении специально отобранных госпитальных штаммов *P. aeruginosa*, *A. baumannii*, *K. pneumoniae*, *E. coli*, *St. aureus*. Образцы нановолокон хитозана с ионами церия проявили умеренную антимикробную активность в отношении госпитальных штаммов бактерий.

Антимикробная активность образцов нановолокон хитозана, модифицированных комплексом ионов серебра и церия, заметно ниже таковой у образцов, модифицированных только серебром или только церием, что, по-видимому, связано с более низкой концентрацией металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ржеусский, С. Э. Наночастицы серебра в медицине / С. Э. Ржеусский // Вестник Витебского государственного медицинского университета. – 2022. – Т. 21, № 2. – С. 15-24. – DOI 10.22263/2312-4156.2022.2.15. – EDN GYXFVT.

2. Нановолокна хитозана, модифицированные церием и серебром, как перспективный антимикробный агент / В. В. Машель, Г. Г. Кондратенко, П. С. Неверов [и др.] // Хирургия. Восточная Европа. – 2023. – Т. 12, № 2. – С. 194-203. – DOI 10.34883/PI.2023.12.2.022. – EDN ZIMEFB.

Прокопчук Н.Р., Ленартович Л.А., Вишневская Т.А.
(Белорусский государственный технологический университет)

О МЕХАНИЗМЕ ВЛИЯНИЯ НАНОЧАСТИЦ TiO_2 И ZnO НА СВОЙСТВА ПЭТ НИТЕЙ

При наномодификации ПЭТ наночастицами TiO_2 и ZnO на стадии синтеза полимера нами было установлено существенное упрочнение моонитей: на 35% наночастицами TiO_2 и на 22% наночастицами ZnO (при оптимальном их содержании 0,015%). Одновременно, при этом наблюдали значительное замедление горения образцов с 20 до 1с до момента самозатухания. Такое улучшение важнейших эксплуатационных свойств ПЭТ нитей имеет важное практическое значение, так как возрастание их себестоимости незначительное из-за сверх малых количеств (0,015масс.%) наночастиц. Была так же предложена гипотеза, объясняющая действие наночастиц на свойства ПЭТ нитей [1, 2].

Наночастицы, имея на своей поверхности некомпенсированный электрический заряд, равномерно распределяясь по объёму полимера, взаимодействуют с полярными группами макромолекул ПЭТ ($C=O$; $COOH$; OH), образуя дополнительные к существующим в не модифицированном полимере физические связи. В результате снижается подвижность звеньев в макромолекулах, повышается устойчивость сложноэфирных химических связей внутри макромолекул в температурно-силовых полях.

Нами проведено теоретическое и экспериментальное исследование по доказательству выдвинутой ранее гипотезы.

Улучшение механических свойств ПЭТ моонитей при модификации полимера TiO_2 и ZnO можно объяснить ростом энергии активации термоокислительной деструкции наномодифицированных образцов. Согласно кинетической теории прочности твердых тел [3]:

$$\sigma = \gamma^{-1}(u_0 - RT \ln \tau/\tau_0)$$

$$u_0 = E_d + \Delta \bar{E}_{м.вз}$$

где U_0 , E_d – энергия активации (потенциальный барьер) разрыва химических связей в макромолекулах полимера, находящегося в твердой фазе и в расплаве соответственно; $\Delta \bar{E}_{м.вз}$ – увеличение энергии межмолекулярных взаимодействий при превращении расплава полимера в твердый материал; γ – структурно-чувствительный коэффициент, характеризующий плотность упаковки макромолекул; T – температура испытания образцов постоянная, равная 20 °С; τ_0 – константа, равная 10–13 с; τ^* – долговечность полимерного материала при испытании на разрывной машине.

В нашем случае: $\gamma = \text{const}$, т.к. мононити вытянуты до одной кратности вытяжки 4,5; $\tau^* = \text{const}$, т.к. время деформирования образцов до разрыва практически одинаково ($\epsilon = \text{const}$); диаметр моноволокон 0,08 мм, их зажимная длина 80 мм, объем растягиваемого ПЭТ постоянный, что исключало масштабный фактор; температура испытаний 20°C; скорость растяжения мононитей одинакова и составила 5 мм/мин; характеристическая вязкость растворов всех образцов ПЭТ близкая (0,68–0,70), что позволило исключить влияние молекулярной массы на механические свойства мононитей.

Таким образом, рост прочности (а, следовательно, и модуля упругости) мононитей при модификации ПЭТ наночастицами оксидов цветных металлов достигается за счет усиления межмолекулярных взаимодействий $\Delta E_{\text{м.вз}}$ (роста параметров U_0 и E_d). Это подтверждается экспериментальными данными: характер роста параметра E_d от содержания наночастиц, такой же, как и параметров σ и E и составляет 20 и 18 кДж/моль для ПЭТ с 0,015масс.% TiO_2 и 0,015масс.% ZnO соответственно.

Рост энергии активации термоокислительной деструкции в расплавах ПЭТ, содержащих наночастицы TiO_2 и ZnO , можно объяснить с позиции химической физики окисления полимеров. Макромолекулы с ограниченной молекулярной подвижностью в большей степени сопротивляются окислительной деструкции: константы скорости передачи кинетических цепей по реакции $\text{POO}^* + \text{RH} = \text{POOH} + \text{R}^*$ на эти макромолекулы значительно ниже. В полимерах с малой подвижностью звеньев цепей реакционная способность в процессах термоокислительной деструкции определяется не только свойствами электронных оболочек атомов, но и их подвижностью. Физические модели и механизмы этого явления не вполне ясны до сих пор. Одной из предпочтительных моделей является модель запаздывания гибридизации [4]. Так, при отрыве атома водорода от атома углерода в полимерной цепи происходит изменение гибридизации атома углерода, которое сопровождается изменением валентных углов и длин связей. В изолированных макромолекулах с большой их подвижностью оба акта – отрыв атома водорода и перегибридизация происходят одновременно, синхронно, а в полимерной матрице эти акты разделены во времени. Перегибридизация, скорость которой лимитируется структурной релаксацией, запаздывает относительно акта переноса атома водорода, это эквивалентно увеличению истинной энергии активации, т.к. за время реакции не успевают реализоваться активированный комплекс энергетически выгодного, оптимального строения, в результате процесс протекает по более высокому профилю поверхности потенциальной энергии. Поскольку молекулярная подвижность, при неизменной термодинамической гибкости макромолекул,

определяется уровнем межмолекулярных взаимодействий, рост значе- ний параметра E_d при наномодификации ПЭТ обусловлен дополнитель- ными межмолекулярными взаимодействиями, образованными наноча- стицами TiO_2 и ZnO с макромолекулами полимера.

Установлено весьма существенное замедление горения ПЭТ нитей с увеличением в них содержания наночастиц TiO_2 и ZnO . Суммарное время горения $t_{с.г.}$ серии из пяти образцов для композиций с TiO_2 после двухкратного приложения пламени по ГОСТ 28157, метод Б и извлече- ния их из пламени газовой горелки снизилось с 21 с до 1 с.

С увеличением содержания наночастиц как TiO_2 , так и ZnO в ПЭТ поведение расплава под действием силы тяжести принципиально изме- няется: капли расплава немодифицированного ПЭТ большие и падают с большой частотой, в то же время по мере увеличения концентрации наночастиц TiO_2 и ZnO частота падения капель замедляется, и они вы- тягиваются в волокна.

Полученное одновременное замедление горения и упрочнение ПЭТ наночастицами диоксида титана и оксида цинка можно объяс- нить следующим образом. В результате действия наночастиц оксидов металлов на звенья макромолекул их подвижность снижается, повы- шается кинетическая жесткость макромолекул, упрочняются внутри- молекулярные химические связи, возрастает потенциальный барьер их разрыва, растет энергия активации термоокислительной деструк- ции E_d ПЭТ, а, следовательно, энергия активации процессов механо- деструкции U_0 и высокотемпературного окисления (горения). Кроме того, наночастицы замедляют развитие цепных процессов, вероятно, взаимодействуя с образующимися макрорадикалами и снижая их ак- тивность.

Об усилении межмолекулярных взаимодействий в ПЭТ при введе- нии в него наночастиц TiO_2 и ZnO свидетельствует также исчезновение экзотермического пика холодной кристаллизации на кривых ДСК у наномодифицированного ПЭТ, в то время как у немодифицированного ПЭТ он отчетливо проявляется при $117,4^\circ C$. Усиление межмолекуляр- ных взаимодействий наночастицами TiO_2 и ZnO в расплаве замедляет движение звеньев макромолекул ПЭТ, снижает гибкость макромоле- кул, необходимую для образования кристаллов.

Усиление межмолекулярных взаимодействий в расплавах ПЭТ, со- держащих наночастицы TiO_2 и ZnO , экспериментально доказано воз- растанием вязкости расплавов наномодифицированных ПЭТ компози- ций. Рост вязкости фиксировался замедлением истечения расплавов ПЭТ +0,015 мас.% ZnO и ПЭТ +0,015 мас.% TiO_2 через стандартный капилляр пластометра XNR-400.

В цилиндр прибора загружалось по 10 г каждого образца в виде гранул. При 260°C гранулы расплавлялись и под действием минимальной нагрузки на поршень 325 г. Расплавы образцов вытекали за время: ПЭТ – 90 с, ПЭТ +0,015 мас. % ZnO – 142сек., ПЭТ +0,015 мас.% TiO₂ – 180 с. Существенный эффект замедления истечения одного и того же объёма расплавов с наночастицами является ярким свидетельством увеличения вязкости этих расплавов. В результате вытекания наномодифицированных расплавов за большее время длина вытекших и затвердевших моноконических образцов увеличивается, а, следовательно, их диаметр уменьшается, т.к. объём вытекаемого расплава одинаков. Это подтверждено измерением диаметров моноконических образцов: ПЭТ – 0,44 мм; ПЭТ +0,015 мас.% ZnO – 0,35 мм; ПЭТ +0,015 мас.% TiO₂ – 0,31мм. Дополнительные межмолекулярные взаимодействия наночастиц с макромолекулами сближают расстояние между ними, свободное пространство в расплаве уменьшается, он сжимается, уплотняется, диаметр струи уменьшается.

Рост межмолекулярных взаимодействий при наномодификации ПЭТ подтвержден также снижением усадки моноконических образцов. Линейная усадка обусловлена главным образом релаксационными явлениями в материале. Под действием тепловой энергии на нити ПЭТ, находящиеся в свободном состоянии, усиливаются колебания звеньев макромолекул в аморфных областях из-за частичного разрушения межмолекулярных связей. Макромолекулы приобретают возможность к конформационному переходу из вытянутого в менее вытянутое состояние (частичная релаксация), образец нити сокращается (усаживается). Согласно развиваемой нами концепции, при модификации ПЭТ наночастицами TiO₂ и ZnO образуются дополнительные физические взаимодействия между наночастицами и макромолекулами полимера, которые замедляют процесс релаксации, что должно привести к снижению линейной усадки моноконических образцов ПЭТ. Это предположение подтверждается экспериментально. Линейная усадка моноконических образцов ПЭТ, ПЭТ +0,015 мас.% ZnO – 7,5%, ПЭТ +0,015масс.% TiO₂ оценена по ГОСТ 19603-74 (выдержка образцов в сушильном шкафу при 150°C в течение 30 мин). Получены следующие значения усадки: ПЭТ – 8%, ПЭТ +0,015 мас.% ZnO – 7,5%, ПЭТ +0,015 мас.% TiO₂ – 7,1%.

Гипотеза подтверждена следующими экспериментальными данными: ростом энергии активации термоокислительной деструкции с 180 до 200 кДж/моль; отсутствием экзотермического пика холодной кристаллизации ПЭТ у наномодифицированных образцов; снижением усадки моноконических образцов с 8% до 7%; повышением вязкости расплава при 260°C с наночастицами TiO₂ и ZnO (замедление времени истечения расплавов из пластометра XNR-400 до двух раз).

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Р. Прокопчук [и др.] / Наномодификация полиэтилентерефталата // Нефтехимия – 2021 : материалы IV Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 22–24 ноября 2021 г. – Минск : БГТУ, 2021. – С. 104-106.
2. Н. Р. Прокопчук [и др.] / Замедление горения ПЭТФ, наномодифицированного диоксидом титана // Технология органических веществ : материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 января - 12 февраля 2022 г. - Минск : БГТУ, 2022. – С. 111-113
3. Эмануэль Н. М., Бучаченко А. Л. / Химическая физика старения и стабилизации полимеров. – М.: Наука, 1982. – 360 с
4. Регель В. Р., Слуцкер А. И., Томашевский Э. Е. / Кинетическая природа прочности твердых тел. – М.: Наука, 1974. – 560 с.

УДК 677.014.86

**Горбачев А.В., Файзуллин И.З., Вольфсон С.И.,
Казаков Ю.М.**
(ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань)
Касперович А.В.
(Белорусский государственный технологический университет)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА БИОХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Рисовая шелуха является одним из наиболее распространенных сельскохозяйственных отходов. Растительная оболочка, состоящая из внешних оболочек семян риса, содержит в себе значительное количество биохимически активных компонентов, таких как целлюлоза, лигнин, силикаты и другие органические соединения [1]. Благодаря биоразлагаемости и доступности рисовая шелуха обладает потенциалом для применения в различных промышленных секторах, включая строительство, автомобильную промышленность и упаковочную индустрию [2].

В работе [3, 4] был использован метод биохимической модификации в условиях высокосдвиговых нагрузок. Для получения высокосдвигового эффекта необходим двухроторный смеситель, что не позволяет эффективно использовать данный метод в производстве в связи с высокой энергозатратностью.

В данной работе был исследован метод биохимической модификации рисовой шелухи, основанный на ферментативной обработке без высокосдвиговых усилий. Биохимическую модификацию рисовой шелухи фракцией помола 1 мм проводили в водной среде с использованием высокоскоростного смесителя при комнатной температуре в течении двух часов с применением комплекса ферментных препаратов «Ронозим». Далее для удаления влаги проводили четырехчасовую сушку рисовой шелухи в климатическом шкафу при температуре 65 °С. Обработанный наполнитель вводили в композиционный материал на основе полипропилена. В качестве полимерного связующего для получения композиций был использован полипропилен марки PP 4215M производства ПАО «СИБУР холдинг».

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]. Рецептура исследуемых полимерных композитов приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептура исследуемых полимерных композитов

Ингредиенты	Контрольный	Модифицированный
PP 4215M, % мас.	50	50
Рисовая шелуха, % мас.	49,9	49,4
Irganox 1010, % мас.	0,1	0,1
Комплекс ферментных препаратов «Ронозим», % мас.	–	0,5

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 – 10 минут. Образцы для испытаний готовились на инжекционно-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 полученных композиционных материалов на основе полипропилена и рисовой шелухи представлены в таблице 2.

Сравнив физико-механические характеристики контрольного и модифицированного образца, можно отметить, что прочность при растяжении у образцов с биохимической модификацией увеличилась на 7,5 %, модуль упругости при изгибе остался неизменным, показатель текучести расплава модифицированного образца увеличился на 19 %, ударная

вязкость при +23 °С возросла на 8 %, а твердость материала по Шор D увеличилась на 6 %. Как видно из таблицы, модифицированный образец демонстрирует улучшение в большинстве физико-механических характеристик по сравнению с контрольным образцом.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики полученных композитов

Показатель, ед. изм.	Контрольный	Модифицированный
Прочность при растяжении, МПа	33,7	36,1
Модуль упругости при изгибе, МПа	5119	5124
Показатель текучести расплава, г/10мин (при 2,16 кг/230 °С)	1,17	1,4
Ударная вязкость при +23 °С, Дж/м ²	8131,1	8785
Твердость материала по Шор D, усл.ед.	74,5	79

Установлено, что данный метод позволяет увеличить физико-механические и эксплуатационные свойства композиций на основе полипропилена и рисовой шелухи без использования высокосдвиговых усилий. Полученные данные подтверждают важность дальнейших исследований в данной области.

Дальнейшие исследования необходимо направить на оптимизацию механизма биохимической модификации, а также на оценку стабильности свойств и долговечности модифицированных композиций в реальных эксплуатационных условиях. По результатам дальнейших исследований возможно расширение практического применения данного метода и использование рисовой шелухи в производстве полимерных композитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбачев А. В. и др. Лигноцеллюлозные наполнители и методы их модификации //Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – №. 8. – С. 148-157.
2. Кыдырали С. Е. и др. Рециклинг отходов апк. Процессы и технологии переработки рисовой шелухи //Интернаука. – 2021. – №. 20-3. – С. 35-38.
3. Горбачев А. В. и др. Биохимическая модификация растительного наполнителя и разработка полимерного композиционного материала на основе полипропилена и модифицированного наполнителя // Технология органических веществ. – 2021. – № 85. – С. 225-226.
4. Вольфсон, С. И. и др. Разработка метода биохимической модификации древесной муки для полимерных композитов // Технология органических веществ. – 2022. – С. 312-314.

5. Сулейманова Д. Ф. и др. Технология производства древесно–полимерного композита на основе термомодифицированной муки // Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины. - Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. – 2020. – С. 197-201.

УДК: 678.073

**Шарафиев И.А., Хисамиева Д.Р.,
Миронова Ю.Е., Никифоров А.А.,
Галимзянова Р.Ю., Вольфсон С.И.,
Хакимуллин Ю.Н., Казаков Ю.М.
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)
Касперович О.М.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**ВЛИЯНИЕ ТИПА ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО КРАХМАЛА
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ
НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА МЕДИЦИНСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
БИЛИАРНЫХ СТЕНТОВ**

В последние годы изделия из пластмасс стали неотъемлемой частью нашей жизни. Однако, несмотря на все преимущества, пластик оказывает серьезное воздействие на экологическую обстановку. С целью решения данной проблемы разрабатываются биоразлагаемые материалы, которые не наносят вреда окружающей среде [1]. Одним из таких материалов является полилактид (ПЛА) – биоразлагаемый полимер, получаемый из кукурузного крахмала. Стоит отметить, что полилактид используется для изготовления медицинских изделий различного назначения благодаря своей биологической совместимости и способности к деградации в организм. Для снижения хрупкости в матрицу полимера вводится термопластичный крахмал (ТПК), что также имеет примеры использования в медицине, например в тканевой инженерии [2]. Однако он влияет на механические свойства полученного композита, в том числе снижая прочность ввиду их взаимной несовместимости [3]. Для поиска путей решения данной задачи было проведено исследование по разработке композита на основе ПЛА и термопластичного крахмала (ТПК) двух видов, кукурузного и амилопектинового. Для полученных композиций были определены физико-механические свойства.

Методы и материалы исследования.

В качестве метода получения композиций было выбрано двухстадийное смешение на измерительном роторном смесителе Brabender с последующим экструдированием в виде ленты. В качестве состава для ТПК были выбраны следующие компоненты: амилопектиновый крахмал восковидной кукурузы производства ООО «ГЕНЕТИКЛАБ», кукурузный крахмал производства ООО «НД-техник», глицерин дистиллированный марки ПК-94 производства АО «Нэфис Косметикс», сорбит производства ООО «Сладкий мир». Содержание ТПК на основе кукурузного и амилопектинового крахмала в ПЛА варьировалось от 50 м.ч. до 200 м.ч.

На первой стадии был получен термопластичный крахмал (ТПК). Для получения ТПК нативный кукурузный крахмал был смешан с комбинацией двух пластификаторов – сорбита и глицерина. Компоненты смешивали на лабораторной станции Brabender «Plasti – Corder® Lab-Station» с роторным смесителем 350 ЕНТ закрытого типа при температуре 140°С, 80 об/мин, в течение 12 минут. Такие же шаги проделывались с амилопектиновым крахмалом. Далее на второй стадии смешивали полилактид и полученный на первой стадии ТПК при температуре 180 °С, 80 об/мин, в течение 15 минут. Затем для удобства дальнейшей переработки смеси дробились. Далее образцы были экструдированы на лабораторном одношнековом экструдере при 70 оборотах. С температурой по зонам: T1=150 °С, T2=165 °С, T3=175 °С, T4=185 °С. После этого из полученной ленты вырубались образцы согласно ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012) “Пластмассы. Метод испытания на растяжение” для исследования характеристик материала.

Результаты и их обсуждение

Прочность при растяжении образцов определяли на разрывной машине ТРМ-П 50 С1 (1 С1) при температуре 23±2°С, в соответствии с ГОСТ Р 11262-80. На рис. 1. представлена зависимость предела прочности от содержания полилактида в композициях с кукурузным и амилопектиновым крахмалом. С увеличением содержания ТПК в композициях предел прочности уменьшается. При максимальном содержании ТПК в 200 мас. ч. наблюдается максимальное уменьшение предела прочности на 79,48 % в случае кукурузного крахмала и при содержании ТПК в 100 мас. ч. на 24,82 % в случае амилопектинового крахмала. Такое снижение можем объяснить более высокой прочностью полилактида, в отличие от ТПК. Предел прочности чистого полилактида составляет 65,7 МПа, а чистого ТПК – 4,2 МПа

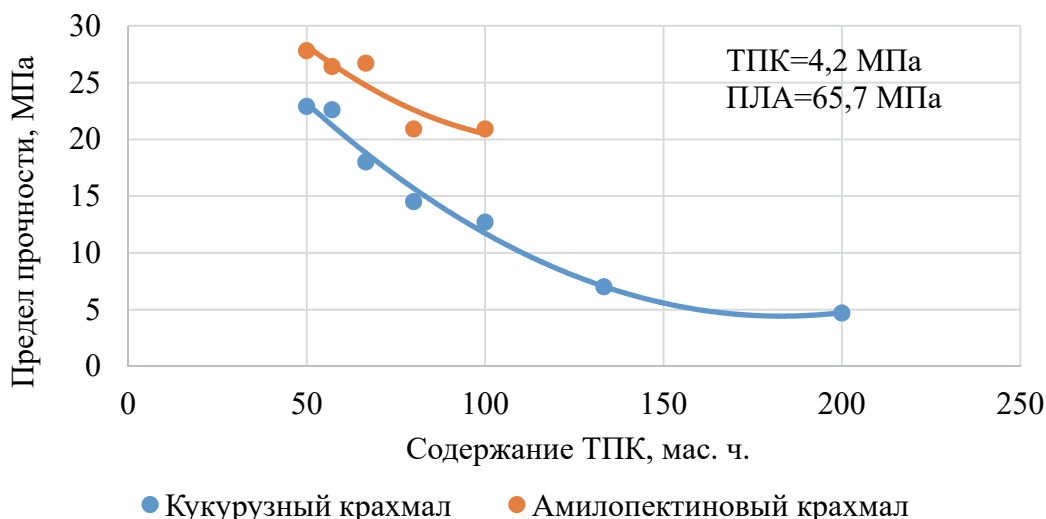


Рисунок 1 – Зависимость предела прочности от содержания ТПК (кукурузного и амилопектинового)

С увеличением содержания ТПК в композициях относительное удлинение в случае смесей с кукурузным крахмалом уменьшается, а в случае композиций с амилопектиновым крахмалом увеличивается. При максимальном содержании ТПК в 200 мас. ч. наблюдается уменьшение значения относительного удлинения на 17,69 % в случае кукурузного крахмала и при содержании ТПК в 100 мас. ч. увеличилось на 48,25 % в случае амилопектинового крахмала. На рис. 2 представлена зависимость относительного удлинения от содержания ТПК в композициях с кукурузным и амилопектиновым крахмалом.

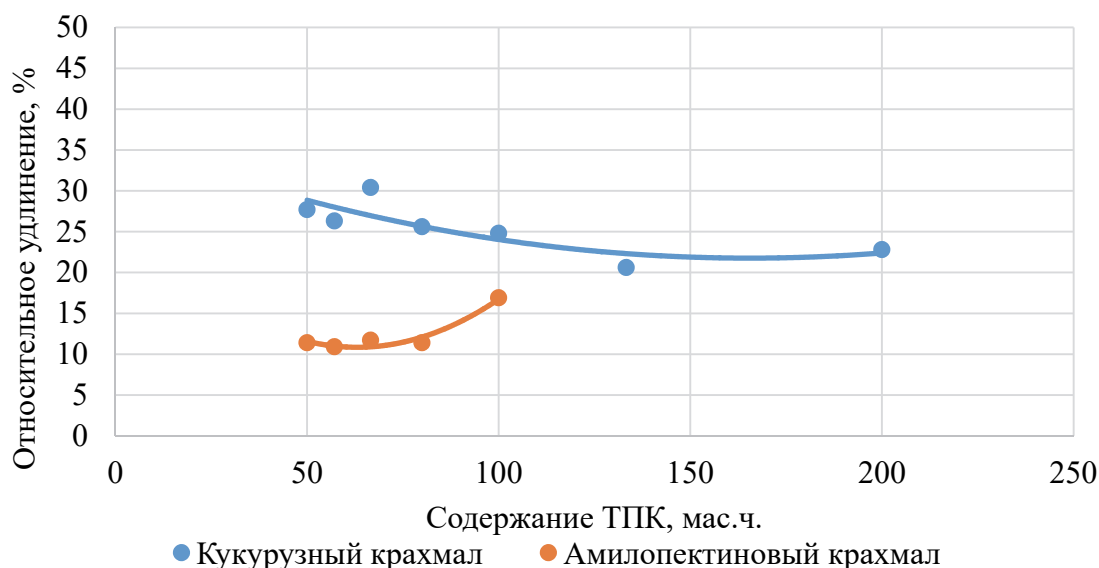


Рисунок 2 – Зависимость относительного удлинения от содержания ТПК (кукурузного и амилопектинового)

Также было отмечено, что с увеличением содержания ТПК в композициях условный предел текучести уменьшается. С увеличением содержания ТПК в композициях показатель текучести расплава уменьшается.

Полученные результаты свидетельствовали о снижении механических свойств композитов по мере увеличения содержания ТПК в матрице ПЛА. Характер данной закономерности имеет аналогию с инертными полимерными наполнителями, увеличение содержания которых также влечет уменьшение физико-механических характеристик. Данное наблюдение позволяет предположить, что поиск решения проблемы лежит через подбор дополнительных компонентов в смеси ПЛА-ТПК, таких как, совместители, активные наполнители.

Установлено, что значения у амилопектинового крахмала по сравнению с кукурузным крахмалом при соотношении ТПК 50/ПЛА 100 выше, а именно: предел прочности на 18 %, условный предел текучести на 33,5 %, показатель текучести расплава на 4,5 %. Значение относительного удлинения у амилопектинового крахмала ниже на 16,3 % по сравнению с кукурузным крахмалом, однако это свойство не является основополагающим в нашем исследовании. Для дальнейших исследований был выбран состав с соотношением ТПК (амилопектиновый) 50/ПЛА100, так как образцы, изготовленные из этой композиции, показывали лучшие значения по результатам физико-механических испытаний, в том числе предел прочности составляет 27,8 МПа, условный предел текучести равен 24,2 МПа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Российские биополимеры поддержат экономику и сохраняют окружающую среду [Электронный ресурс]: Режим доступа <https://www.if24.ru/rossijskie-biopolimery-podderzhat-ekonomiku-i-sohranyat-okruzhayushhuyu-sredu/> (Дата обращения: 23.04.2023).

2. Хисамиева, Д. Р. Применение термопластичного крахмала в тканевой инженерии / Д. Р. Хисамиева, Р.Ю. Галимзянова, Ю. Н. Хакимуллин // Наука. Наследие. Университет: сборник материалов Международной 56-й научной студенческой конференции (Чебоксары, 8–15 апреля 2022 г.). – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2022. – С. 493-495

3. Laohakunjit N., Noomhorm A. Effect of Plasticizers on Mechanical and Barrier Properties of Rice Starch Film. *Starke*. № 56. P. 348–356. (2004).

УДК: 678.073

**Хисамиева Д.Р., Назмиева А.Ф., Шарафиев И.А.,
Галимзянова Р.Ю., Никифоров А.А.,
Хакимуллин Ю.Н., Вольфсон С.И.**
(ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань)

Касперович О.М.

(Белорусский государственный технологический университет)

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ДЕГРАДАЦИЮ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО КРАХМАЛА ДЛЯ МЕДИЦИНЫ

Использование биорезорбируемых костных имплантатов для процедуры остеосинтеза существенно возросло за последнее десятилетие. В настоящее время большинство из них изготавливается из биосовместимого поли-L-лактида, его сополимеров или смесей с другими компонентами. *In vivo* поли-L-лактид сохраняется в течение многих лет (3 года) после того, как его хирургическая роль закончилась, что подтверждается долгосрочными гистологическими исследованиями. Долговечность и отсутствие его замены костью указывает на то, что, несмотря на удовлетворительные клинические характеристики, он не является идеальным материалом для биорезорбируемых имплантатов [1].

Эти недостатки можно уменьшить или полностью устранить путем комбинирования поли-L-лактида с другими полимерами. В частности, в последние годы глубоко изучается вопрос применения термопластичного крахмала (ТПК) в тканевой инженерии [2]. Крахмал интересен для инженерии костной ткани, поскольку является биосовместимым и гидрофильным полимером, позволяющим регулировать время резорбции имплантатов, а продукты его распада имеют слабый иммуногенный характер. Крахмал и его производные обеспечивают подходящую среду для адгезии и пролиферации клеток *in vitro* и *in vivo* [3].

Цель работы – изучить влияние полимолочной кислоты на физико-механические свойства и деградацию композиций на основе термопластичного крахмала.

Материалы и методы исследования

Кукурузный крахмал высший сорт производства ООО «Крахмальный завод Гулькевичский» (Россия, Москва), глицерин марки ПК-94 АО «Нэфис Косметикс» (Россия, Казань), сорбит производства ООО «Сладкий мир» (Россия, Нижний Новгород), гранулы полимолочной кислоты марки Ingeo 4043D (Nature Works).

Биорезорбируемые композиции получали путем двухстадийного смешения в смесительной камере «Measuring Mixer 350E» смесительного оборудования фирмы Brabender «Plasti – Corder® Lab-Station». На первой стадии получали ТПК путем смешения кукурузного крахмала с комбинацией двух пластификаторов (сорбит и глицерин) в соотношении 60/26,7/13,35 в течение 12 минут при температуре 140°С. На второй стадии, к полимолочной кислоте добавляли полученный термопластичный крахмал и смешивали в течение 15 минут при температуре 180 °С.

Готовые смеси были экструдированы на лабораторном одношнековом экструдере при 60 оборотах и температуре 180°С. После, из полученной ленты штанцевым ножом были подготовлены образцы типа 1В согласно ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012) «Пластмассы. Метод испытания на растяжение» для исследования физико-механических характеристик материала.

Ускоренную деградацию полученных композиций ПЛА/ТПК проводили согласно ГОСТ Р ИСО 13781-2011 «Смолы и отформованные элементы на основе поли(L-лактида) для хирургических имплантатов. Исследование деградации методом *in vitro*».

В таблице 1 представлены соотношения компонентов в составе композиций ПЛА/ТПК.

Таблица 1 – Соотношение компонентов в композициях ПМК/ТПК

Номер рецептуры	Полимолочная кислота	Термопластичный крахмал
1	50	100
2	75	100
3	100	100
4	125	100
5	150	100
6	175	100
7	200	100

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 представлены результаты физико-механических испытаний полученных композиций ПМК/ТПК.

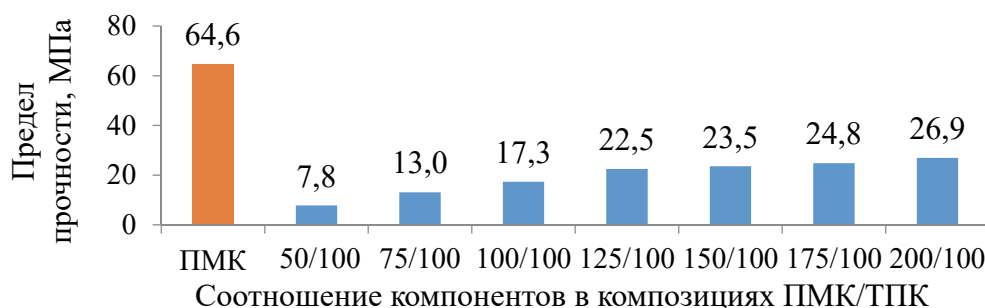


Рисунок 1 – Результаты физико-механических испытаний композиций ПМК/ТПК

По результатам испытаний композиции ПМК/ТПК имеют предел прочности при растяжении значительно ниже по сравнению с чистой полимолочной кислотой. Снижение прочности при растяжении в композициях ПМК/ТПК можно объяснить слабой межфазной адгезией между ПМК и ТПК, которая не позволяет переносить напряжение через поверхность раздела.

При увеличении ПМК в составе композиций наблюдается увеличение предела прочности при растяжении от 7,8 МПа при содержании ПМК в составе смеси 50 мас.ч. до 26,9 МПа при содержании ПМК в составе смеси 200 мас.ч.

На рисунке 2 представлены результаты потери массы композиций после испытаний на ускоренную деградацию.

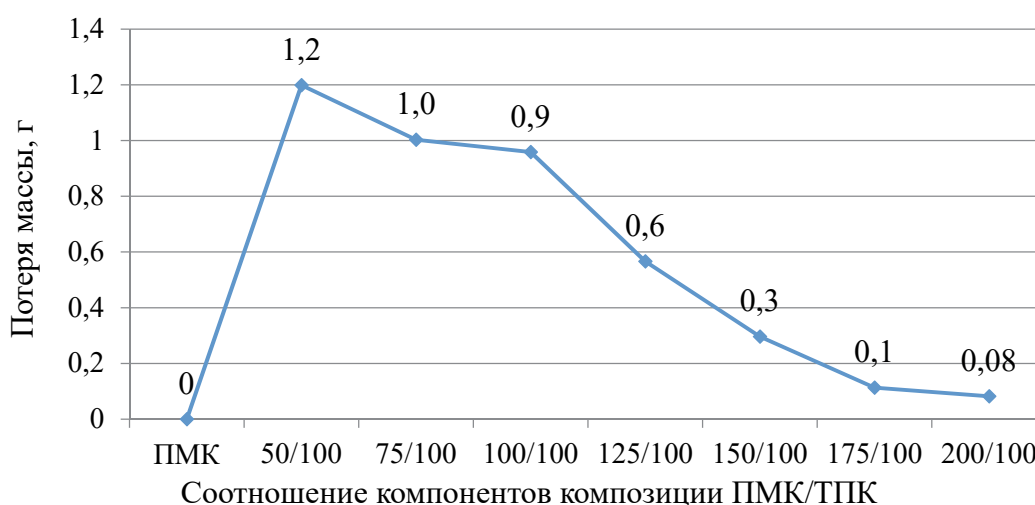


Рисунок 2 – Потеря массы композиций ПМК/ТПК после ускоренной деградации

По результатам испытаний у композиций ПМК/ТПК после ускоренной деградации в течение 24 час наблюдается потеря массы в отличие от чистой полимолочной кислоты. Это подтверждает, что крахмал в составе биорезорбируемых материалов может способствовать ускорению процессов резорбции. Напротив, при увеличении ПМК в составе композиций ПМК/ТПК наблюдается снижение потери массы от 1,2 гр. при содержании ПМК 50 мас.ч. до 0,08 гр. при содержании ПМК в составе смеси 200 мас.ч.

ЛИТЕРАТУРА

1. N. J. Cotton. Long-term in vivo degradation of poly-L-lactide (PLLA) in bone / N. J. Cotton, M. Walton // Journal of Biomaterials Applications. – 2007. – Vol.21. – № 4. – P. 395-411.

2. Хисамиева, Д. Р. Применение термопластичного крахмала в ткаевой инженерии / Д. Р. Хисамиева, Р.Ю. Галимзянова, Ю. Н. Хакимуллин // Наука. Наследие. Университет: сборник материалов Международной 56-й научной студенческой конференции (Чебоксары, 8–15 апреля 2022 г.). – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2022. – С. 493-495

3. De Carvalho, A. J. F. Biomedical Applications for Thermoplastic Starch / A. J. F. De Carvalho, E. Trovatti // Biodegradable and biobased polymers for environmental and biomedical applications. – 2016. – Vol.1. – P.1-24

УДК 544.23

Yunusov K.E., Sarymsakov A.A., Mirxolisov M.M.

Institute of Polymer Chemistry and Physics, Uzbekistan Academy of Sciences

Rogachev A.A., Agabekov V. E., Ihnatovich Zh.V.

Institute of Chemistry of New Materials of the NAS of the Republic of Belarus

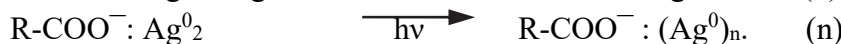
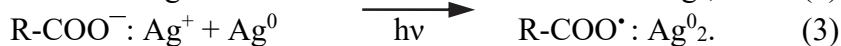
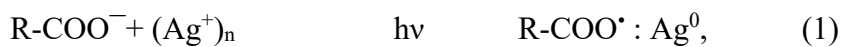
**PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF BIOMATERIALS
BASED ON CELLULOSE FIBRES COATING
SODIUM-CARBOXYMETHYLCELLULOSE CONTAINING
NANOPARTICLES OF SILVER**

Presently, there is a great practical interest in the elaboration of cellulose fibers and textile biomaterials and products on their bases possessing a high bactericidal activity against pathogenic fungus and bacteria [1]. Bactericidal and bacteriostatic activity in the bases of cellulosic biomaterials and their products may take place by incorporating silver ions in their structure and following their reduction into nanoparticles, their interaction with the polymer matrix is carried out through the formation of coordinational bonds [2]. Silver (Ag) and Ag-based compounds have become the most widely represented and studied inorganic antimicrobial agents for use in textiles [3].

The aim of this investigation is to prepare and physicochemically characterize textile biomaterials obtained from cotton fiber containing silver nanoparticles (AgNPs) stabilized with sodium-carboxymethylcellulose (Na-CMC).

In the first stage of the investigation, the formation of AgNPs in 0.2-0.4 wt.% solutions of Na-CMC with degree of substitutions (DSs) - 0.85 and degree of polymerization (DP) - 400 were carried out by photochemical reduction of Ag^+ . It has been established that adding Ag^+ to a Na-CMC solution increases the viscosity of the solution owing to the decreased solubility of Ag^+CMC^- complexes generated due to the formation of coordination bonds between the carboxylate groups ($-\text{COO}^-$) of Na-CMC macromolecules and Ag^+ .

For the photochemical generation of AgNPs in the Na-CMC solution, one can suppose that the negative charges of the carboxymethyl groups (-COO⁻) “trap” Ag⁺ ions. Then, the reaction sequence according to the Mott-Gurney mechanism is represented as follows:



Based on the results, the following conditions were determined for the formation of homogeneous, spherical, and stable AgNPs with sizes of 5-35 nm: UV-irradiation for 30 minutes and solution concentrations of 0.2 wt.% Na-CMC and 0.0086 wt.% AgNO₃.

To obtain bactericidal c/f, they were treated with Ag⁰CMC solutions. At this low concentration of Na-CMC solution, the sizes of the AgNP and ions enabled their penetration between fibers and within the intermolecular free spaces of cellulose materials. The obtained wet cellulose materials were subjected to additional UV-irradiation, where the reduction of unreacted Ag⁺ within the Na-CMC matrix was carried out (Figure 1).

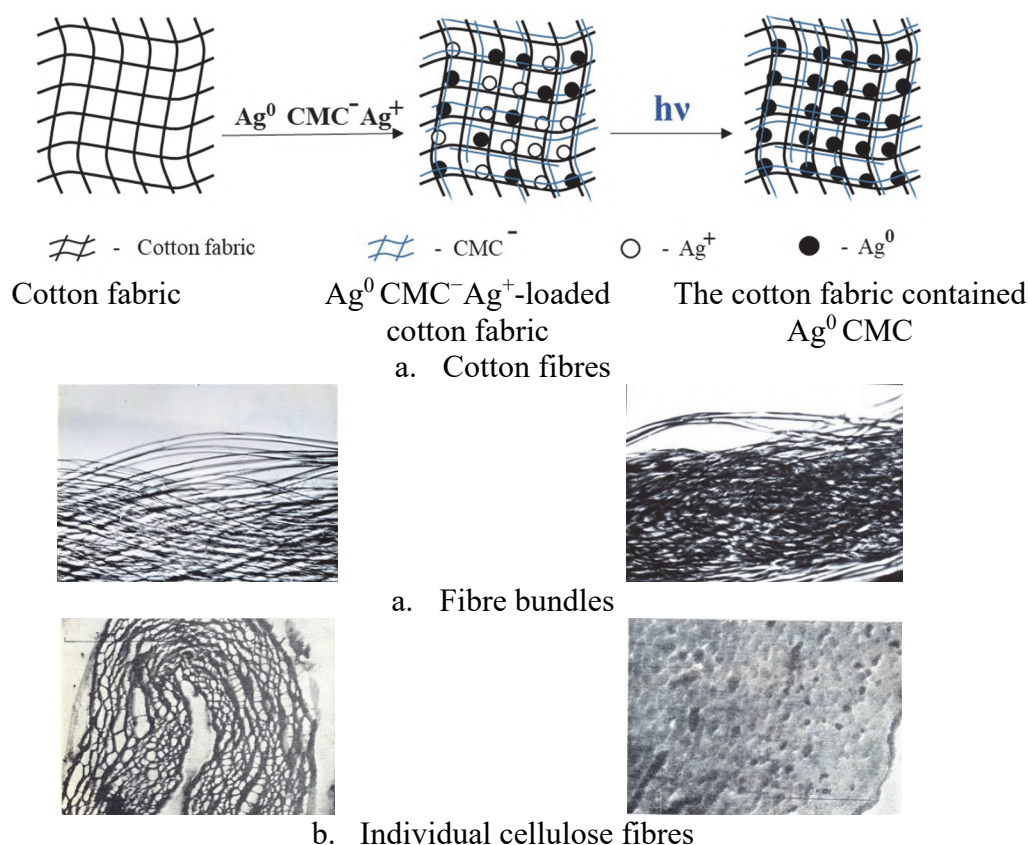


Figure 1 – Supposed scheme of the formation and fixation of AgNPs in the structure of cotton fibres (a), fibre bundles (b), and individual cellulose fibres (c).

Bactericidal activity of the obtained samples of cotton fabrics grafted with the solution of Na-CMC, containing AgNPs in test cultures of *Staphylococcus epidermidis* and *Candida albicans*, was studied in the laboratory of the Institute of Microbiology, Academy of Sciences, Republic of Uzbekistan.

It was established that the replaced Ag^+ in Na-CMC macromolecules is mainly subject to restoration and plays the role of “nanoreactors” in which the carboxylic groups of a negative ion, according to the theory of Mott-Gurney, are the “trap” for positively charged ions of silver and promote the photostimulated formation of AgNPs.

Investigations showed that spherical AgNPs with sizes of 5-35 nm were present in Na-CMC, whereas 0.0086 wt.% AgNPs sized 2-30 nm formed in cotton fabric, exhibiting high bactericidal activity.

It was established that depending on the concentration of polymeric substrate, silver ions and UV irradiation, spherical and rod-like stabilized AgNPs of different sizes form in the structure of Na-CMC. The conditions of the formation of AgNPs with different shapes and sizes in dependence on components interaction reaction parameters and photochemical restoration were revealed.

Correlation dependence between the size and shape of AgNPs in Na-CMC structure and their biological activity was established. It was shown that the size of the AgNPs decreasing promotes the increase of their antimicrobial activity at the same concentrations in a polymeric matrix.

It was found that the grafted cotton fibre within cotton fabric stabilized by AgNPs possessed high bactericidal and bacteriostatic properties. Stabilization of AgNPs within the structure of the c/f helped preserve their bactericidal and bacteriostatic activity even after five washes.

The obtained bactericidal biomaterials, based on the cellulose-containing stabilized AgNPs, possessed the antifungal effect, prevented offensive odor, decreased the level of pathogenic germs, and preserved the fungal disease. Cellulose-contained biomaterials could be used as face masks for air filtration.

Acknowledgement. *This work was supported by project Uzbekistan-Belarus MRB-2021-548 (Creation of fibre containing materials modified with organic and polymer-inorganic coatings for various functional purposes) for the years 2022-2023 by the Ministry of Innovative Development of the Republic of Uzbekistan.*

REFERENCES

1. M.I. Cusina, B.M. Kostyuchenok, Wounds and wound infection: Textbook for physicians. 2nd, pub Under editions M.: Medicine 529 (1990).
2. H.J. Lee, S.Y. Yeo, S.H. Jeong, Antibacterial effect of nanosized silver colloidal solution on textile fabrics. *J Mater. Sci* 38: 2199–2204 (2003).
3. B. Mahltig, H. Haufe, and H. Bottcher, Functionalisation of textiles by inorganic sol-gel coatings. *J. Mater Chem*; 15: 4385–4398 (2005).

**ЗАЩИТНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ
ПОКРЫТИЯ НА МАГНИЕВОМ СПЛАВЕ,
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЗАПОЛНЕННЫМИ МЕТИОНИНОМ
ГАЛЛУАЗИТОВЫМИ НАНОТРУБКАМИ**

Постоянно возрастающий интерес к сплавам магния в настоящее время обусловлен, прежде всего, возможностью потенциального использования материалов на их основе в качестве имплантатов в ортопедической хирургии. Магниево-сплавовые материалы характеризуются высокой механической прочностью, низкой плотностью и совместимостью с биологическими тканями [1]. Тем не менее, важным ограничением в применении магниевых имплантатов является их склонность к быстрой коррозии во внутренней среде организма. Процесс коррозии магния сопровождается выделением водорода и щелочных продуктов, что может привести к появлению трещин и разрушению материала имплантата [2]. Кроме того, этот процесс может вызывать негативные реакции со стороны тканей организма, что повышает риск отторжения имплантата.

Проблемы, связанные с коррозией магния и его сплавов внутри организма, могут быть успешно решены путем применения методов инженерии поверхности, нацеленных на разработку защитных покрытий с различными функциональными характеристиками [3]. Один из многообещающих подходов к модификации поверхности магния и его сплавов заключается в химическом нанесении конверсионных покрытий на основе фосфата кальция (CaP). В области биоинженерии ортопедических имплантатов помимо неорганических, также применяются органические покрытия, которые предоставляют широкий спектр возможностей для интеграции разнообразных химических функциональных групп на поверхности имплантатов. Для создания органических покрытий на поверхности имплантатов используются различные биополимеры, такие как полигликолевая кислота (PGA), полимолочная кислота (PLA), хитозан (CS) и другие.

Дополнительное введение нанотрубок в полимерную матрицу позволяет расширить функциональность и характеристики полимерных оболочек, делая их более эффективными и совершенными. В области медицины и биотехнологии использование нанотрубок для адресной доставки лекарств представляет собой важную исследовательскую область, обладающую значительным потенциалом для улучшения эффективности лечения разнообразных заболеваний. Нанотрубки представляют собой

наноматериалы с уникальными свойствами, которые позволяют точно доставлять лекарственные препараты к конкретным местам в организме [4].

Целью работы было изучение защитных свойств, наполненных галлуазитовыми нанотрубками композиционных полимерных PLA-покрытий на сплаве магния WE43 в растворе Хэнка (pH 7.4).

На образцах сплава WE43 были созданы конверсионные фосфатсодержащие покрытия (CaP) путем обработки в течение 60 минут в растворе (pH 3) следующего состава: H_3PO_4 – 0.2; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ – 0.2. pH раствора регулировали 0,1 н. NaOH. Температура раствора составляла $70 \pm 2^\circ\text{C}$.

После предварительного фосфатирования полимерные покрытия на поверхности образцов формировали путем их погружения в раствор полилактида (PLA) в хлороформе с концентрацией 5%. Сушку образцов проводили в течение 48 часов при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Электрохимические исследования коррозии проводили с использованием потенциостата/гальваностата Autolab PGNST 302N в трехэлектродной ячейке в растворе Хэнка с pH 7.4, содержащем следующие компоненты в г/дм³: NaCl – 8; KCl – 0.2; CaCl_2 – 0.14; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.1; $\text{MgCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.1; $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0.06; KH_2PO_4 – 0.06; NaHCO_3 – 0.35. Рабочий электрод с габаритной площадью 1 см² был закреплен снизу ячейки. В качестве электрода сравнения использовали насыщенный хлоридсеребряный электрод, а в качестве противоиэлектрода – платиновую проволоку. Поляризационные кривые были получены в диапазоне потенциалов от –200 мВ до +500 мВ относительно стационарного потенциала при скорости развертки потенциала 0.001 В/с. Установление стационарного потенциала занимало 30 минут. Температуру коррозионной среды во всех экспериментах поддерживали на уровне $37 \pm 0.5^\circ\text{C}$.

В таблице представлены электрохимические параметры коррозии исследуемых образцов в растворе Хэнка.

Плотность тока коррозии исходного образца сплава WE43 составляет $1.66 \cdot 10^{-5}$ А/см². Нанесение конверсионного фосфатного покрытия позволяет снизить плотность тока коррозии в 5,25 раза.

Таблица – Электрохимические параметры коррозии исследуемых образцов в растворе Хэнка (pH 7.4)

Образец	a_a, V	b_a, V	a_c	b_c	E_{corr}	i_{corr}
WE43	–1,310	0,041	–2,740	–0,258	–1,5	$1,66 \cdot 10^{-5}$
CaP	0,151	0,300	–2,530	–0,187	–1,5	$3,16 \cdot 10^{-6}$
PLA	1,060	0,436	–4,042	–0,422	–1,5	$1,13 \cdot 10^{-6}$
CaP/PLA/ GNT	0,342	0,282	–3,410	–0,315	–1,4	$5,19 \cdot 10^{-7}$
CaP/PLA/ GNT/MET	1,372	0,437	–3,728	–0,341	–1,49	$2,77 \cdot 10^{-7}$

Последующее нанесение полилакида на поверхность фосфатированного магниевого сплава WE43 позволяет увеличить защитный эффект на $\approx 12\%$. Модификация полимерной матрицы галлуазитовыми нанотрубками позволяет увеличить защитный эффект на $\approx 4\%$. Наполнение полимерной матрицы загруженными метионином галлуазитовыми нанотрубками приводит к снижению токов коррозии в ≈ 2 раза по сравнению с исходным сплавом WE43, что обусловлено высвобождением в процессе влагонаполнения и деградации полимерной матрицы метионина, обладающего ингибирующими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. Kasach, A. Preparation of Chitosan–Graphite-Like Carbon-Nitride Biocoatings on AZ91 Magnesium Alloy / A. Kasach [et al.] // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. – 2023. – Vol. 59. – P. 32–41.

3. Поспелов А.В. Получение комбинированных полимерных и фосфатсодержащих защитных покрытий на легированных редкоземельными элементами сплавах магния / А. В. Поспелов [и др.] // Беларусь-Узбекистан: формирование рынка инновационной продукции : сб. материалов науч.-практ. конф. – 2023. – С. 165–168.

4. Поспелов А.В. Получение и свойства композиционных покрытий полилактид-галлуазитовые нанотрубки на сплавах магния / А.В. Поспелов [и др.] // Химическая технология и техника : материалы 87-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов. – 2023. – С. 151–154.

УДК 621.798.264

**Панфилова О.А., Мухаметханов И.И.,
Назипов И.И., Рудницкий И.В., Вольфсон С.И.**
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

Касперович А.В.

(Белорусский государственный технологический университет)

МАСЛОБЕНЗОСТОЙКАЯ ЭЛАСТОМЕРНАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Известно, что к эластомерным комплектующим оборудования, применяемого в системах нефтедобычи (уплотнительные кольца, диафрагмы, манжеты и т.д.), предъявляются очень противоречивые требования.

Наибольшее затруднение вызывает одновременное сочетание высокой устойчивости к воздействию углеводородных сред, морозостойкости и низкой остаточной деформации после сжатия. С одной стороны, маслобензостойкость способны обеспечивать бутадиеннитрильные каучуки с высоким содержанием звеньев нитрила акриловой кислоты. С другой стороны, такие каучуки сильно сужают температурный интервал эксплуатации изделий в области низких температур. Пластификаторы, вводимые в состав композиций, способны влиять на морозостойкость резин, однако они значительно снижают вязкость резиновых смесей, что при изготовлении ряда изделий отрицательно сказывается на процессе сборки заготовок из сырых резиновых смесей, когда требуется высокая вязкость. В связи с этим, целью настоящей работы явилась разработка высоковязких резиновых смесей уплотнительных элементов нефтедобывающего оборудования. Основные требования, предъявляемые к разрабатываемой резиновой смеси, представлены в табл. 1.

Для обеспечения баланса между этими свойствами в качестве полимерной основы были выбраны каучуки БНКС-28 АН и БНКС-28 АМН в различных соотношениях. Низкую ОДС при этом обеспечивала пероксидно-серная вулканизирующая система, а морозостойкие свойства – пластификатор дибутилсебацинат.

Согласно результатам испытаний (табл. 2), при соотношении каучуков БНКС-28 АН: БНКС28 АМН = 70:30 (вар. 1) наблюдалось высокое значение коэффициента морозостойкости, однако недостаточная устойчивость к воздействию топлива, низкая твердость резины и вязкость резиновой смеси.

Таблица 1 – Требования, предъявляемые к резиновой смеси

Наименование показателя	Норма
Условная прочность при растяжении, МПа	12,0
Относительное удлинение при разрыве, %	150
Твердость, ед. по Шор А	73-83
Относительная остаточная деформация при постоянной величине сжатия на 20 %, % при температуре 150 °Сх24 ч в ТС-1	35
Изменение объема после воздействия топлива ТС-1 при температуре 150 °С х 24 ч, %	до +10
Коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия при температуре -40 °С	н/м 0,15
Плотность, кг/м ³	1270±50
Вязкость по Муни, усл. ед МБ 1+4 (121 °С)	75-100
Температура хрупкости, °С	н/м – 50

Таблица 2 – Свойства резиновых смесей и вулканизатов

Смеси	Показатели							
	σ_p , МПа	$\epsilon_{отн}$, %	H, ед. Шор А	$\eta_{Муни}$, усл. ед	ОДС _{20%} , %	ΔV , %	$\Delta \epsilon$, %	K_b
<i>Норма</i>	12,0	150	73-83	75-100	35	0-10	-60-0	$\geq 0,15$
Вар. 1	17,0	310	71	60	12,1	12,5	-9,7	0,27
Вар. 2	20,0	250	77	82	36,0	8,1	-4,0	0,11
Вар. 3	18,9	280	74	71	32,0	8,3	14,3	0,13
Вар. 4	19,6	270	73	75	24,4	-10,6	-8,0	0,08
Вар. 5	16,0	200	75	83	16,0	10,9	-10	0,15

σ_p – условная прочность при растяжении; $\epsilon_{отн}$ – относительное удлинение при разрыве; H – твердость; ОДС_{20%} и ΔV – относительная остаточная деформация при постоянной величине сжатия на 20 % и изменение объема при 150°Сх24 ч в топливе ТС-1*; $\Delta \epsilon$ – изменение относительного удлинения при старении в воздухе при 100 °Сх72ч; K_b – коэффициент морозостойкости по эластич. вост. после сжатия при температуре -40 °С; $\eta_{Муни}$ – вязкость по Муни, МБ 1+4(121°С) *ТС-1 - авиационное топливо (керосин)

При замене каучука БНКС-28 АМН на каучук БНКС-40 АМН с большей вязкостью по Муни (вар. 2) удалось добиться повышения устойчивости к воздействию топлива, высокой вязкости и твердости, однако коэффициент морозостойкости резко снизился. Далее были изготовлены резиновые смеси на основе тройной комбинации каучуков БНКС-28АН: БНКС-28АМН: БНКС-40 АМН = 70:15:15 (вар. 3) и 50:30:20 (вар. 4).

Из данных табл. видно, что при использовании комбинации бутадиен-нитрильных каучуков трех марок по-прежнему не удастся обеспечить выполнение всех требований.

Поскольку на вязкость резиновых смесей большое влияние оказывает не только вязкость исходных каучуков, но и тип используемого наполнителя, в составе разрабатываемых резиновых смесей были исследованы несколько марок технического углерода различной активности.

После проведения серии испытаний была выбрана комбинация трех марок технического углерода – П803, П514 и П324, обеспечивающих получение композиции с требуемым уровнем свойств (вар. 5).

Таким образом, при использовании комбинации бутадиен-нитрильных каучуков с разными пластоэластическими свойствами и марок технического углерода разной активности можно получить высоковязкие резиновые смеси для изготовления уплотнительных элементов нефтегазодобывающего оборудования с высоким уровнем эксплуатационных свойств.

**Мирончик Я.Ч., Щербина Л.А.,
Будкуте И.А., Руденок Я.Ю.**
Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПРЯДИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ

С целью получения научно-технических данных, необходимых для разработки технологического процесса производства полиакрилонитрильного (ПАН) волокна, обладающего новыми свойствами, рассмотрено влияние введения различных наноразмерных частиц в прядильный раствор на основе диметилформаида (ДМФ) и промышленного волоконобразующего терсополимера (ВТП) поли[акрилонитрил (АН)–со–метилакрилат (МА)–со–2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС)] на особенности формирования ПАН волокнистых материалов.

В качестве модификаторов были апробированы: наноразмерные частицы технического углерода (ТУ) марок PowCarbon 5317F и PowCarbon 2419G, оксида титана (IV) (ОТ), оксида железа (III) (ОЖ), графенового порошка (ГП), а также оксида кремния (IV) (ОК) марок Aerosil R972 и Aerosil A200.

Так как информация по модифицированию ПАН волокон указанными наноразмерными частицами достаточно ограничена, то данная работа может представлять определенный научно-технический интерес.

Прядильные растворы, модифицированные наноразмерными частицами, использовались для исследования процесса формирования на их основе ПАН волокон. Процесс получения волокон осуществляли на лабораторной прядильной установке по диметилформаидному способу. Условия формования модельных образцов ПАН волокон приведены в таблице 1.

В целом, исследование процесса формирования ПАН волокон показало зависимость максимальных кратностей фильерного и пластификационного вытягивания, усадки волокон и их равновесного влагосодержания от присутствия в них наноразмерных частиц ТУ, ОТ (IV), ОЖ (III), ОК (IV).

На рисунке 1 представлены данные, иллюстрирующие влияние содержания в прядильном растворе наноразмерных частиц ТУ марок PowCarbon 5317F и PowCarbon 2419G на максимальную кратность фильерной вытяжки, характеризующую прядомость.

Таблица 1 – Условия формования модельных образцов

Показатель	Значение
Способ формования	мокрый
Растворитель	ДМФ
Концентрация прядильного раствора, %	21,0
Концентрация растворителя в осадительной ванне, %	55
Температура осадительной ванны, °С	10
Фильтрная вытяжка, %	-50
Температура пластификационной ванны, °С	95,5
Количество отверстий в фильтре, шт.	120
Пластификационная ванна	вода
Кратность пластификационного вытягивания	5

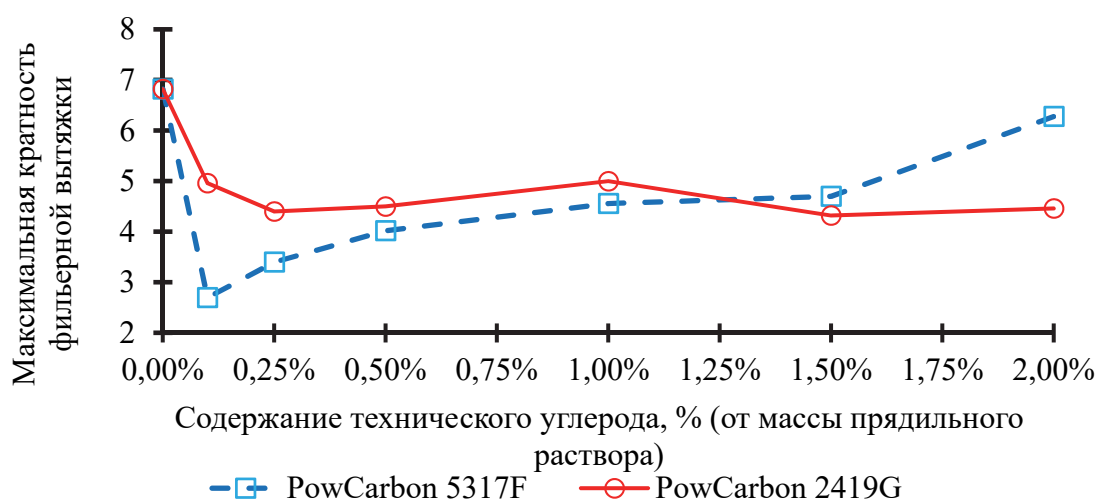


Рисунок 1 – Влияние содержания наноразмерных частиц ТУ на максимальное значение кратности фильтрной вытяжки

Можно отметить, что максимальное значение фильтрной вытяжки соответствует образцу, не содержащему модификаторов. Наличие в прядильном растворе частиц ТУ в количестве 0,1 % (от массы прядильного раствора) снижает максимальную кратность фильтрной вытяжки с 6,82 до 2,7 для ТУ марки PowCarbon 5317F и до 4,96 для ТУ марки PowCarbon 2419G.

Введение наноразмерных частиц ТУ марки PowCarbon 5317F в гелеволокно на стадии приготовления прядильного раствора приводит к увеличению фильтрной вытяжки по мере роста содержания ТУ в прядильном растворе с 0,1 до 2,0 % (масс). При этом присутствие в прядильном растворе наноразмерных частиц ТУ марки PowCarbon 2419G в количестве от 0,1 до 2 % (масс.) практически не оказывает достоверного влияния на значение максимальной кратности фильтрной вытяжки.

Можно отметить (рисунок 2), что максимальная кратность фильерной вытяжки наблюдалась в отсутствие модификаторов в прядильном растворе. Образец прядильного раствора, модифицированный графеновым порошком в количестве 0,5 % (от массы прядильного раствора), не поддался процессу формования волокна из-за отсутствия у струи прядильной жидкости достаточной деформируемости в осадительной ванне.

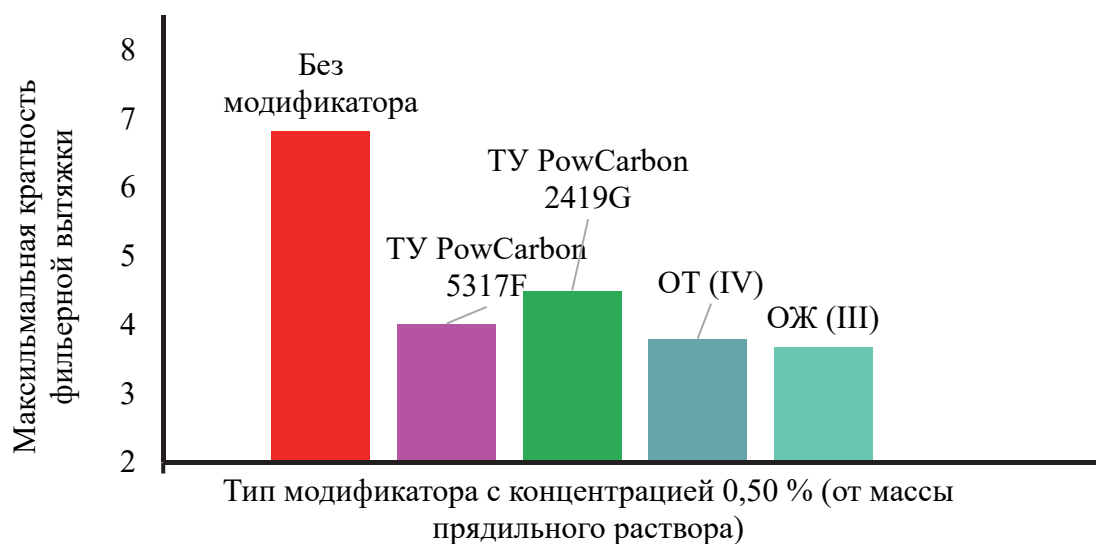


Рисунок 2 – Влияние природы наноразмерных частиц, при их содержании 0,5 % (от массы прядильного раствора), на максимальное значение кратности фильерной вытяжки волокна

Вместе с тем, наличие в прядильных растворах наноразмерных частиц ТУ марки PowCarbon 5317F не приводит к принципиальному влиянию на кратность пластификационной вытяжки формуемых гель-волокон, по сравнению с образцами, не содержащими модификаторов. Введение в прядильные растворы наноразмерных частиц ТУ марки PowCarbon 2419G сперва ведет к постепенному увеличению максимальной кратности пластификационной вытяжки по мере увеличения содержания ТУ до значения 0,50 % (масс.), а далее, к постепенному уменьшению максимальной кратности пластификационной вытяжки, что может быть связано с затруднениями в перестройке структуры формуемых гель-волокон, вызываемыми присутствием в них дисперсного материала. Введение 0,5 % (масс.) ОТ (IV) и ОЖ (III) существенно не влияет на значения максимальной кратности пластификационной вытяжки.

Наибольшее влияние на процесс формирования ПАН волокон и их свойства оказывает ОК (IV). Например, увеличение содержания ОК (IV) марки Aerosil R972 приводит к постепенному увеличению максимальной кратности пластификационной вытяжки, а марки Aerosil A200 – наоборот, приводит к снижению данного показателя (рисунок 3).

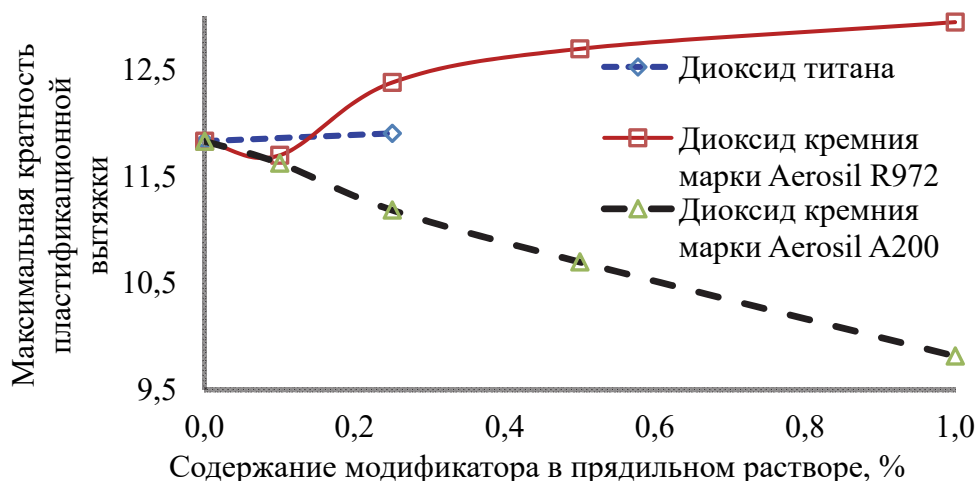


Рисунок 3 – Зависимость максимальной кратности пластификационного вытягивания от содержания модификаторов в прядильных растворах

Микроскопирование структуры и поперечных срезов ПАН волокон выявило влияние количества и природы наноразмерных частиц в прядильные растворы на морфологию получаемых волокон. С увеличением содержания наноразмерных частиц в структуре волокон в большей степени проявляется тенденция к увеличению количества пор в периферийных областях волокон.

На основании результатов работы можно полагать, что путем введения наноразмерных частиц можно осуществлять изменение деформационных и усадочных свойств ПАН волокон, их равновесное влагосодержание и другие потребительские показатели.

УДК 541.64

**Мирончик Я.Ч., Щербина Л.А.,
Будкуте И.А., Руденок Я.Ю.**

Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ПРЯДИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ СОПОЛИМЕРОВ
АКРИЛОНИТРИЛА, СОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦЫ**

Все чаще в различных областях науки и промышленности апробируют и используют наноразмерные модификаторы, что позволяет получать усовершенствованные материалы с уникальными характеристиками. Определенный интерес представляет изучение влияния введения

различных наноразмерных модификаторов на свойства полиакрилонитрильных (ПАН) волокон. С целью получения научно-технических данных, необходимых для разработки технологического процесса производства ПАН волокна, обладающего новыми свойствами, в данной работе было рассмотрено влияние введения различных наноразмерных частиц в прядильный раствор на основе диметилформамида и промышленного волокнообразующего терсополимера (ВТП) – поли[акрилонитрил (АН)–со–метилакрилат (МА)–со–2-акриламид-2-метилпропансульфоокислоты (АМПС)].

В качестве модификаторов были выбраны наноразмерные частицы технического углерода (ТУ) марок PowCarbon 5317F и PowCarbon 2419G, оксида титана (IV) (ОТ), оксида железа (III) (ОЖ), графенового порошка (ГП), а также оксида кремния (IV) (ОК) марок Aerosil R972 и Aerosil A200. Так как информация по модифицированию ПАН волокон такими наноразмерными материалами достаточно ограничена, то данная работа может представлять определенный научно-технический интерес.

В ходе работы рассмотрены реологические свойства прядильных растворов на основе ВТП и диметилформамида (ДМФ) с введением в них наноразмерных частиц:

– технического углерода марок PowCarbon 5317F и PowCarbon 2419G в количестве 0,1, 0,25, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 % (от массы прядильного раствора);

– оксида титана (IV), оксида железа (III), графенового порошка в количестве 0,5 % (от массы прядильного раствора).

Прядильные растворы, содержащие ТУ, готовили двумя методами:

I) В круглодонную колбу помещали расчетное количество предварительно подготовленного 25 % (масс.) раствора ВТП/ДМФ и суспензию, состоящую из модификатора и ДМФ в соотношении 4,5:95,5. Далее добавляли расчетное количество 21 % (масс.) раствора ВТП/ДМФ и необходимое количество ДМФ.

II) В круглодонную колбу помещали ТУ в виде порошка и половину расчетного количества ДМФ. Далее суспензию диспергировали ультразвуком (УЗ), после чего к ней приливали расчетное количество 25 % (масс.) раствора ВТП/ДМФ. Далее в раствор вводили остальное количество ДМФ.

Затем содержимое колбы нагревали и гомогенизировали путем перемешивания при 60 °С. Пробу готового прядильного раствора отбирали для измерения динамической вязкости. Оставшийся в колбе раствор подвергали перемешиванию с обработкой УЗ в течение 30 минут и снова определяли его вязкость.

Результаты изучения влияния содержания наноразмерных частиц ТУ на динамическую вязкость прядильных растворов ВТП представлены на рисунке 1. Можно отметить, что введение до 2 % (от массы прядильного раствора) наноразмерных частиц ТУ марки PowCarbon 5317F (без УЗ) не

оказывает достоверного влияния на эффективную вязкость прядильных растворов. Проведение дополнительного ультразвукового воздействия на прядильные растворы в целом незначительно снижает их динамическую вязкость. Более высокие значения эффективной вязкости прядильных растворов, приготовленных по методу I, можно объяснить более высоким содержанием в них ВТП.

Исходя из данных на рисунке 2, наибольшее влияние на динамическую вязкость прядильных растворов, модифицированных разными по природе наноразмерными частицами, оказывают частицы оксида железа (III) и оксида титана (IV), по сравнению с образцами без модификаторов. Ультразвуковая обработка прядильных растворов, как правило, приводит к снижению их вязкости.

Далее были изучены реологические свойства прядильных растворов ВТП с введенными в них наноразмерных частиц оксида кремния (IV) марок Aerosil R972 и Aerosil A200 со средним размером первичных частиц 16 и 12 нм, соответственно, в количестве 0,1, 0,25, 0,5, 1,0 % (от массы прядильного раствора).

Установлено влияние на вязкостные свойства прядильных растворов количества и марки вводимых в них наноразмерных частиц ОК (IV). Также показано, что в результате УЗ обработки динамическая вязкость модифицированных наноразмерными частицами ОК (IV) прядильных растворов снижается (рисунок 3).

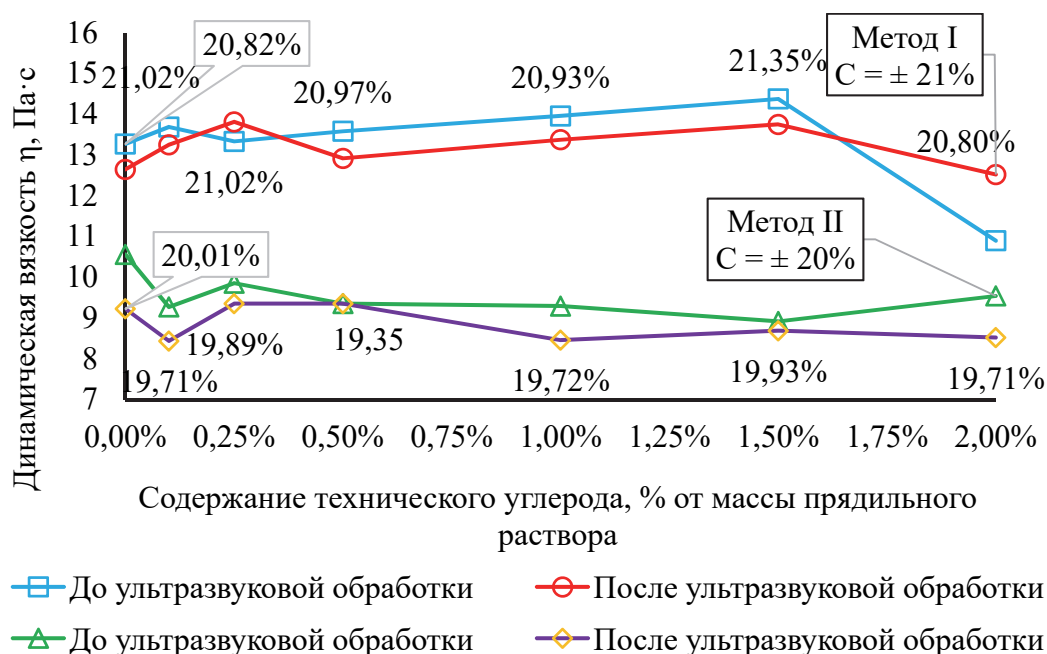


Рисунок 1 – Зависимость динамической вязкости прядильных растворах от содержания наноразмерных частиц технического углерода марки PowCarbon 5317F при скорости сдвига 4 c^{-1} и температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$

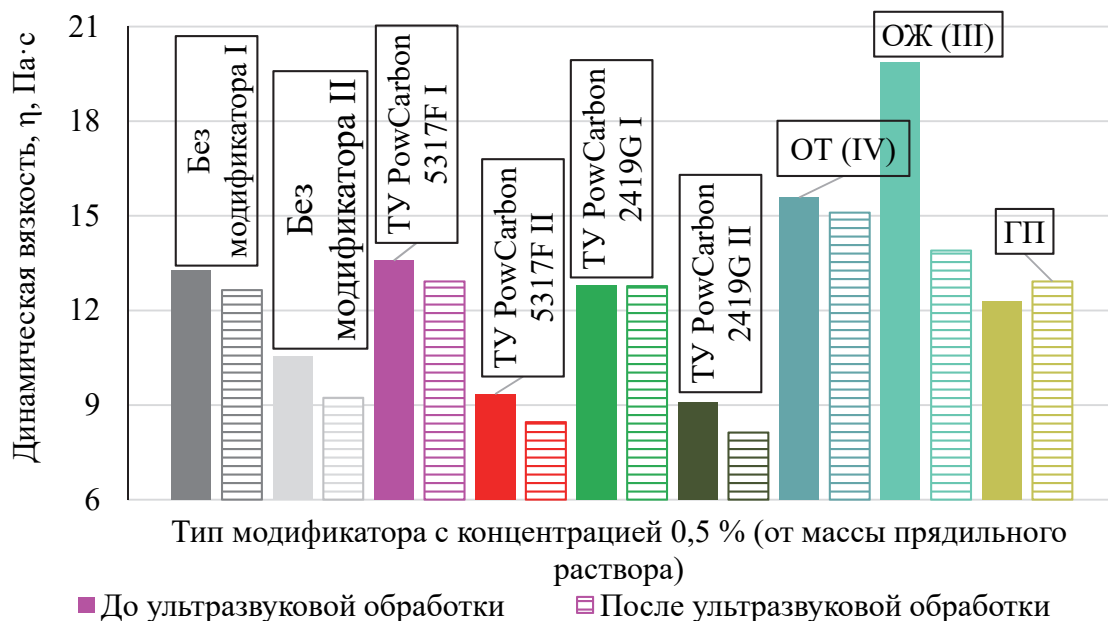


Рисунок 2 – Динамическая вязкость прядильных растворов, модифицированных наноразмерными частицами в количестве 0,5 % (масс.), при температуре 20 °С

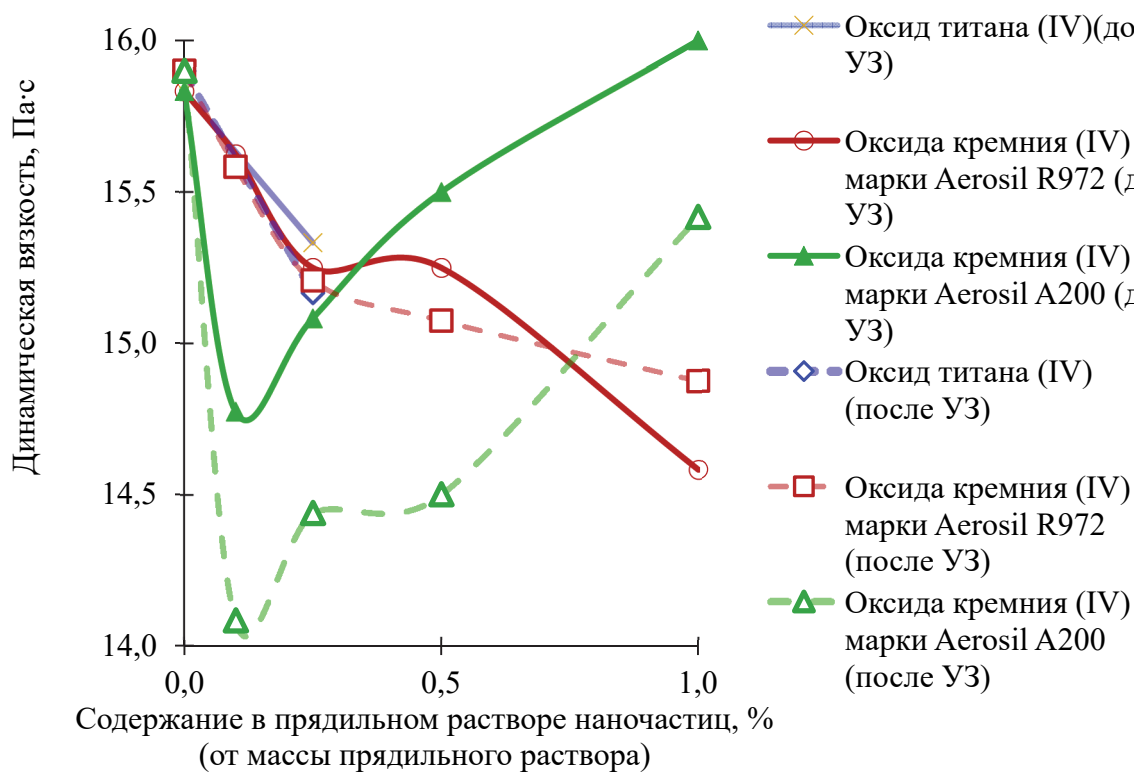


Рисунок 3 – Зависимость эффективной вязкости прядильных растворов от количества и природы вводимых в них наноразмерных частиц

Таким образом, в результате изучения реологических свойств прядильных растворов на основе поли[АН–со–МА–со–АМПС], ДМФ и наноразмерных частиц оксида кремния (IV), технического углерода, оксида титана (IV), оксида железа (III), графенового порошка, получены данные, необходимые для разработки процесса формирования полиакрилонитрильных волокнистых материалов с модифицированными свойствами.

УДК 678

**Любимов А.Г., Полховский А.В.,
Наркевич А.Л., Прохорчик С.А.**

(Белорусский государственный технологический университет)

Шетько С.В.

(ООО «ПОРТМАН» ТМ UNIDOORS)

МАТРИЧНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕПРЕГОВ

Препреги на основе термореактивных матричных связующих (далее – связующих) широко используются в качестве конструкционных и адгезионных материалов при производстве изделий в авиастроении, для спортивного инвентаря, изделий электротехнического назначения и в других областях техники.

Изделия (составные части изделия) могут быть сформированы только из препрегов, а также представлять собой конструкции, в состав которых, кроме препрегов, входят слои, вкладыши, покрытия и т.п. из иных материалов. Тогда при осуществлении процесса совместного формообразования препрегов с заготовками из иных материалов необходимо учитывать технологические характеристики, особенности формообразования и совместимость для взаимодействующих пар материалов.

Например, для спортивного инвентаря для снижения массы и (или) обеспечения требуемых характеристик жесткости и прочности используют композиты на основе стеклянных, углеродных и (или) органических волокон в комплексе с закладными элементами из древесины лиственных пород, а также с функциональными слоями и декоративными покрытиями из термопластичных материалов (полиэтилены, акрилонитрилбутадиенстирольный пластик и другие, а также композиции на их основе) [1].

В частности, если для формирования изделия с применением препрега на основе термореактивного связующего требуется перевести

функциональный слой на основе полиэтилена в состоянии вязкотекучего расплава, а пленочный материал декоративного слоя на основе акрилонитрилбутадиенстирольного пластика перевести в состояние размягчения, то технически и экономически обоснованным является следующий режим нагрева при формообразовании: $120 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 8 ± 1 мин.

Для обеспечения адгезионной связи между отдельными слоями в конструкции изделия, а также для соблюдения гигиенических требований в качестве связующего компонента в композиционных материалах используются составы на основе эпоксидной смолы.

Для бесперебойного производства изделий с применением препрегов на основе термореактивного связующего существует потребность в длительном периоде его хранения, в том числе при отрицательных температурах, – не менее 6 месяцев.

Известны составы эпоксидных связующих для препрегов [2–4]. Недостатком указанных связующих являются относительно продолжительный период отверждения – от 20 мин. до 5 ч.

В таблице 1 приведены составы предлагаемого связующего и наиболее близкого аналога [4, пример 8].

Таблица 1 – Состав связующего

Наименование компонента	Состав, мас.ч / наименование или марка компонента	
	Предлагаемый состав	Аналог [4, пример 8]
Эпоксидно-диановая смола	38,50 / ЭД-20	10,00
Тетраглицидиловое производное 3,3-ди-хлор-4,4-диамино-дифенилметана	–	28,50
Фенолформальдегидная смола новолачного типа	15,00	15,00
Органический растворитель	50,00-60,00 / ацетон	64,75
Триоксипропилендиметакрилат	–	10,00
2,4,6-трис-(диметиламинометил)фенол-тридианат	–	1,25
2,4,6- трис-(диметиламинометил)фенол	1,25	–

Смешивание смол с растворителем (ацетоном) и их растворение (гомогенизация) проводится при нормальных условиях. Ускоритель 2,4,6-трис-(диметиламинометил)фенол вводят после растворения (гомогенизации) смол связующего в органическом растворителе (ацетоне).

Из предлагаемого связующего препреги получают по растворной технологии. В качестве наполнителя в препрегах на основе предлагаемого связующего может быть применен стеклянный, углеродный или органический наполнитель в виде нитей, жгутов, лент, тканей, холстов и их сочетания. Органический растворитель после пропитки наполнителя предлагаемым связующим удаляется из препрегов путем сушки. Содержание предлагаемого связующего в препрегах после удаления органического растворителя может составлять от 35 до 85 мас.% в зависимости от вида наполнителя, его природы и исходной пористости. Жизнеспособность препрегов на основе предлагаемого связующего при температуре не выше минус 20°C – в течение не менее 10 мес.; при температуре не выше 25°C – не менее 3 сут.

Формообразование из препрегов на основе предлагаемого связующего осуществляется путем раскроя и укладки или сборки пакета в формообразующей оснастке с последующим уплотнением под давлением (прессованием) при температуре отверждения связующего.

Получали изделия с применением препрегов на основе предлагаемого связующего. Препреги контактировали со следующими материалами: древесина осины, акрилонитрилбутадиенстирольный пластик и полиэтилен.

По результатам изготовления связующего, препрегов на его основе, изделия с использованием препрегов и испытания изделия установлено, что предлагаемый состав связующего также обеспечивает следующий комплекс свойств связующего, препрегов на его основе и изделий, полученных с применением таких препрегов:

- динамическая вязкость связующего в исходной композиции 20°C – не более 0,5 Па·с;

- эластичность препрегов на основе предлагаемого связующего достаточна для формирования минимального радиуса изгиба 3 мм без проявлений хрупких повреждений;

- при температуре 20±5°C обеспечивается достаточная липкость связующего на поверхности препрегов (после удаления органического растворителя) для объединения слоев препрегов между собой, с поверхностью из древесины лиственных пород и термопластичных материалов (на основе полиэтиленов, акрилонитрилбутадиенстирольного пластика) при сборке пакета для формования изделия, а проникновение связующего в пористые материалы отсутствует;

- достаточная текучесть связующего (после удаления органического растворителя) препрегов при температуре отверждения проявилась при заполнении пустот между слоями препрегов, прилегающими слоями из иных материалов и формообразующей поверхностью оснастки;

– обеспечивается адгезия связующего (после удаления органического растворителя и после отверждения связующего) в составе препрегов к наполнителю, древесине лиственных пород, к композициям на основе полиэтиленов, акрилонитрилбутадиенстирольного пластик, в том числе после циклического механического воздействия на готовое изделие на основе препрегов с применением предлагаемого связующего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полховский, А.В. Современные конструкции и материалы для лыж / А.В. Полховский, С. А. Прохорчик, С. В. Шетько // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов – 2019, № 1 (216). – С. 163-168
2. Патент RU 2307136 C1, МПК C08L 63/00 (2006.01); C09J 163/00 (2006.01); C08J 5/24 (2006.01); B32B 27/38 (2006.01); C08G 59/14 (2006.01).
3. Патент RU 2420547 C2, МПК C08L 63/02 (2006.01); B32B 27/38 (2006.01); C08J 5/24 (2006.01).
4. Авторское свидетельство SU 1815974 A1, МПК C08L 63/00 // (61:10, 67:07).

УДК 667.621.264

Глоба А.И.

(Белорусский государственный технологический университет)

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО СТИРОЛ-АКРИЛОВОГО СОПОЛИМЕРА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЛАКОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ

В последнее время широкое распространение в различных отраслях промышленности получили акриловые и стирол-акриловые пленкообразующие вещества на водной основе. С момента их появления на рынке состав и технологии их синтеза постоянно совершенствуются с целью управления технологическими и эксплуатационными свойствами этих материалов. В работе представлены результаты исследования влияния состава сополимера (количества и природы биненасыщенных сомономеров в составе стирол-акрилового сополимера), условий их синтеза в виде водных полимерных дисперсий, а также условий отверждения покрытий на твердость функционализированных стирол-акриловых лаковых покрытий и скорость их отверждения.

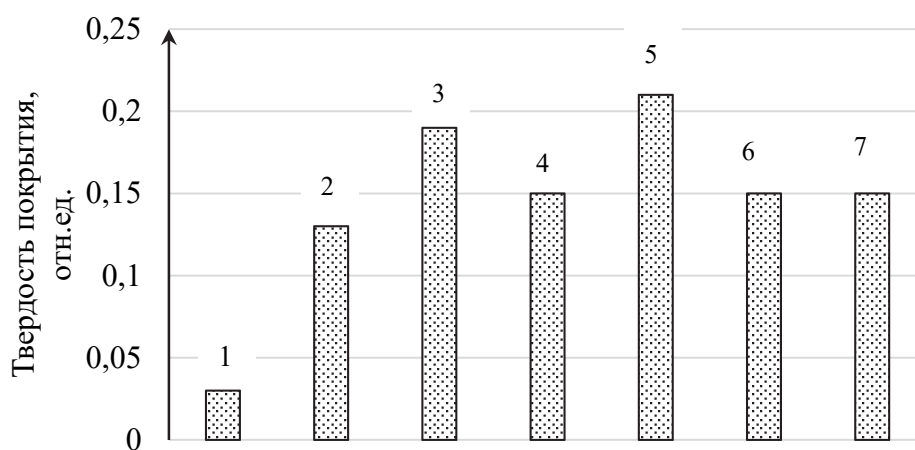
В лабораторных условиях экспериментально подобраны технологические режимы для осуществления синтеза функционализированных

стирол-акриловых сополимеров с использованием мономеров, содержащих несколько кратных связей, методом радикальной эмульсионной полимеризации. В качестве основных мономеров для разработки базовых рецептур были выбраны бутилакрилат (БА) и стирол (Ст), которые в определенном соотношении позволяют получать твердую и одновременно эластичную пленку, необходимую для формирования покрытий. В качестве функционализированных сомономеров использованы диметилакрилат этиленгликоля (ДЭГДМА) трипропиленгликоль диакрилат (ТПГДА), содержащие две кратные связи, способные к полимеризации. Концентрацию функционализированных сомономеров в составе сополимера варьировали от 1 до 10 мас. %.

Подбор технологических режимов синтеза функционализированных стирол-акриловых сополимеров осуществляли путем экспериментального варьирования режимов загрузки мономеров, продолжительности их подачи в реактор, а также скорости перемешивания. Синтез сополимеров осуществляли постепенным введением смеси сомономеров в реакционную систему.

Для выявления оптимального количественного содержания функционализированных сомономеров в составе сополимера было определено время высыхания покрытий из синтезированных дисперсий в различных условиях и их твердость. Установлено, что введение 5 мас. % ДЭГДМА в состав сополимера позволяет сократить время формирования покрытия при 50°C практически в два раза – с 40 до 23 мин. При этом введение инициатора пероксидного типа еще в большей степени ускоряет процесс высыхания (до 4–5 мин).

Введение 5 мас. % функционализированных сомономеров позволяет увеличить относительную твердость покрытий в 4,5–5 раз (рис.)



1 – БА-Ст; 2 – БА-Ст-ДЭГДМА5%; 3 – БА-Ст-ДЭГДМА10%;
 4 – БА-Ст-ТПГДА5%; 5 – БА-Ст-ТПГДА 10%;
 6 – БА-Ст-ТПГДА5%+ДБП 0,05%; 7 – БА-Ст-ТПГДА5%+ДТБП 0,05%;

Рисунок – Зависимость относительной твердости покрытий от состава сополимеров

Однако несмотря на увеличение твердости покрытий, увеличение концентрации как ДЭГДМА, так и ТПГДА в составе сополимера до 10 мас.% приводит к ухудшению их качества, поскольку данные сомономеров существенно увеличивают температуру стеклования сополимеров и не позволяют получать бездефектные покрытия из дисперсий вследствие не полной коалесценции частиц дисперсной фазы.

Введение в дисперсию дополнительно пероксидных инициаторов (ДБП или ДТБП) не оказывает существенного влияния на твердость покрытий, поскольку определяющим фактором, вероятно, является увеличение температуры стеклования сополимеров, содержащих ДЭГДМА и ТПГДА, а не степень их сшивки.

Таким образом выполненные исследования позволили разработать и описать методики синтеза новых воднодисперсионных стирол-акриловых сополимеров, функционализированных биненасыщенными мономерами, установить оптимальный концентрационный диапазон изученных сомономеров для достижения максимальной твердости покрытий.

Синтезированные дисперсии могут найти применение как пленкообразующие вещества для лакокрасочных материалов или как компоненты адгезивов.

Секция III
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ
ПРОИЗВОДСТВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

УДК 628.544:665.644.097.3(043.3)

Козловская И.Ю.

(Белорусский государственный технологический университет)

Павлова А.А.

(УО «Национальный детский технопарк»)

ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
ОТРАБОТАННОГО КАТАЛИЗАТОРА КРЕКИНГА

В настоящее время все больше внимания уделяется поиску путей и способов использования отходов в качестве сырья для получения ценных продуктов. В условиях ограниченности ресурсов актуально пересмотреть подходы к использованию отработанных катализаторов и сорбентов, которые преимущественно применяются в качестве инертных наполнителей при производстве асфальтобетонных смесей, резинотехнических изделий, пластмасс.

Перспективным вторичным сырьем является отработанный катализатор крекинга (ОКК). Он представляет собой композиционный материал, состоящий из алюмосиликатной основы и цеолита. Широкое применение в синтезе катализаторов находят также синтетические сверхвысококремнеземные (СВК или ZSM) цеолиты, цеолиты типа Y. Для улучшения эксплуатационных свойств катализатора проводят промотирование цеолитного компонента ионами РЗЭ [1], содержание которых в катализаторе может достигать до 4,0 % (преимущественно 1,7–2,5 %) [2]. Преобладающей формой катализатора крекинга являются микросфероиды со средним диаметром частиц 60 мкм и шарики диаметром 3–4 мм [3].

Мировыми лидерами по производству катализаторов крекинга являются фирмы «Grace Davidson» (США), «Akzo Nobel» (Голландия), «Engelhard Corp.» (США). В России производятся каталитические системы КМЦР, Микроцеокар-8, КМЦ-96 и КМЦ-99. Были разработаны, внедрены или находятся на стадии внедрения российские катализаторы крекинга на основе цеолитов FAU. Основными производителями этих

катализаторов в России являются «Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов» (10 тыс. т в год при мощности 20 тыс. т в год) и «Газпромнефть – Каталитические системы» (проектная мощность производства 15 тыс. т в год) [4]. Полученные катализаторы крекинга являются современными и технологичными материалами, которые после использования переходят в отходы. По данным [5], количество ОКК достигает 170–200 тыс. тонн в год.

В Республике Беларусь ОКК образуется на ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод» (отход четвертого класса опасности, код отхода 5959900 «Прочие катализаторы испорченные загрязненные и их остатки, не вошедшие в группу 5»). ОКК представляет собой мелкодисперсную фракцию, которая образуется в результате механического истирания катализатора крекинга и улавливается из отходящих газов в аппаратах газоочистки, также ОКК образуется при периодической замене катализатора. В настоящее время в Республике Беларусь зарегистрирован только один объект по использованию ОКК – технологическая линия по производству цемента сухим способом ОАО «Кричевцементношифер» [6]. Данное направление не позволяет в полной мере использовать ресурсный потенциал отхода, приводят к безвозвратной потере ценных компонентов, какими являются редкоземельные элементы и цеолит.

Преимуществами ОКК как сырья для получения РЗЭ являются:

- не многокомпонентный состав (в отличие от других отходов, используемых для получения РЗЭ, – фосфогипс, золошлаковые отходы, шламы глиноземных производств и др.);
- относительно высокое содержание РЗЭ;
- сорбционные свойства, обусловленные присутствием цеолита;
- повышение сорбционной емкости цеолита и алюмосиликатной матрицы после кислотной обработки;
- отсутствие необходимости в измельчении.

Указанные особенности ОКК свидетельствуют о возможности его комплексной переработки с получением ценных продуктов – соединений РЗЭ и сорбционного материала.

Цель работы – установить закономерности выделения, состав и свойства лантансодержащих продуктов и сорбционного материала из отработанного катализатора крекинга для разработки технологии его комплексной переработки.

Для достижения цели решались следующие задачи: установить химический и фазовый состав, физико-химические свойства ОКК, определяющие возможность и направления его использования в качестве вторичного сырья; определить влияние природы и концентрации

выщелачивающего агента, температуры и продолжительности процесса на степень выщелачивания лантана из ОКК; обосновать и экспериментально апробировать способы выделения лантансодержащих продуктов из растворов выщелачивания ОКК; обосновать технологические параметры переработки ОКК с получением лантансодержащих продуктов и сорбционного материала.

Предложенная технология переработки ОКК с получением лантансодержащих продуктов и сорбционного материала включает: кислотное выщелачивание раствором азотной кислоты (7 моль/дм³) при соотношении ОКК : раствор кислоты 1 : 2, температуре 60 °С и продолжительности 2 ч; отделение раствора выщелачивания; промывку и сушку остатка после выщелачивания; выделение соединений лантана выпариванием не менее 80,0 % азотнокислого раствора выщелачивания с последующим охлаждением остатка до 30–35 °С; термическую обработку остатка после выпаривания при температуре 500–550 °С.

Остаток после выпаривания представляет собой смесь гидратированных нитратов алюминия и лантана и их сложных соединений. Содержание лантана в нем после термической обработки достигает 20,2 %. Обработка ОКК азотной кислотой приводит к повышению удельной поверхности на 20,5–25,0 %, удельного объема пор на 21,0–27,0 %, сорбционная емкость полученного материала по ионам железа достигает 1,7 ммоль-экв/г.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о перспективах комплексной переработки ОКК с получением ценных продуктов, что позволяет снизить воздействие на окружающую среду и способствует импортозамещению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пигузова, Л. И. Высококремнеземные цеолиты и их применение в нефтепереработке и нефтехимии / Л. И. Пигузова. – М.: Химия, 1974. – 176 с.
2. Мановян, А. К. Технология переработки природных энергоносителей / А. К. Мановян. – М.: Химия, КолосС, 2004. – 456 с.
3. Каминский, Э. Ф. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты / Э.Ф. Каминский, В.А. Хавкин. – М.: Техника ТУМА ГРУПП, 2001. – 384 с.
4. Инновации в области цеолитного катализа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energypolicy.ru/innovaczii-v-oblasti-czeolitnogo-kataliza/neft/2021/14/18/>. – Дата доступа: 03.10.2023.
5. A “Wastes-Treat-Wastes” Technology: Role and Potential of Spent Fluid Catalytic Cracking Catalysts Assisted Pyrolysis of Discarded Car Tires

Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/16/2732> . – Дата доступа: 03.10.2023.

б. Реестры объектов по использованию, хранению, захоронению и обезвреживанию отходов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ecoinfo.by/content/90.html>. – Дата доступа: 03.10.2023.

УДК 622.693.2.004.4

Кологривко А.А., Кузьмич В.А.

(Белорусский национальный технический университет)

ОТХОДЫ КАЛИЙНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ ШЛАМОХРАНИЛИЩ

Активизация развития калийного производства ОАО «Беларуськалий» продолжает требовать особого внимания в части использования отработанных шламохранилищ в качестве слабых оснований при расширении солеотвалов способом гидронамыва, сокращению изъятия дополнительных земельных ресурсов под солеотвалы, что способствует снижению техногенеза в районах работ сильвинитовых обогатительных фабрик.

Значимым объектом реализации производства работ по складированию гидронамывом отходов обогащения калийных руд следует считать производство работ на отработанном шламохранилище ЗРУ. Так, проведенные многолетние исследования позволили установить пространственно-временные закономерности изменения водно-физических и физико-механических свойств, инженерно-геологических процессов с момента складирования галитовых отходов до их консолидации. Также установлены особенности получения галитовыми отходами новых физико-механических свойств при высотном складировании, а также представлены рекомендации в части развития солеотвала за счет увеличения объема складирования галитовых отходов в пределах шламохранилища ЗРУ с отметки +240,00 м. Результаты обоснованных решений позволили рекомендовать продолжить производственные и проектные работы по формированию солеотвала способом гидронамыва на слабом шламовом основании до отметки не ниже +207,5 м, а также внести изменения в нормативные документы [1].

Важным выводом в исследованиях является подтверждение о минимизации локального выпора шламов, прослеживаемого в обводненных

зонах с небольшим покрытием их солеотходами. Так, рекомендовано обеспечивать их опережающую пригрузку намываемыми галитовыми отходами в местах контакта с откосами дамб. Намыв галитовых отходов рекомендуется производить вдоль дамб. Постепенный намыв внутренней части пласт-плиты рекомендуется производить после создания на контакте пласт-плиты с дамбой пригрузки из галитовых отходов.

Исследования по использованию отработанного шламохранилища ЗРУ для складирования галитовых отходов обогащения способом гидронамыва способствовали началу производства рассматриваемой технологии в условиях 2РУ. Так, рекомендации в части развития солеотвала за счет увеличения площади складирования галитовых отходов на отработанное шламохранилище 2РУ рекомендованы для проектирования солеотвала, формируемого способом гидронамыва на слабом шламовом основании.

Следует отметить, что некоторые решения с части технологий производства намывных работ (скорость и времена намыва, периодичность и пр.) подтверждены практикой ее применения в условиях гидронамыва на Втором и Третьем Соликамских рудоуправлениях (СКРУ-2, СКРУ-3), Третьем Березниковском калийном производственном рудоуправлении (БКПРУ-3) [2].

Системным развитием технологии использования гидронамыва на отработанные шламохранилища следует считать уже начатую их организацию в условиях 1РУ на шламохранилище №3. Здесь шламохранилище также представлено шламовым основанием для производства складирования отходов обогащения. Однако, в отличие от отработанных шламохранилищ ЗРУ и 2РУ, шламохранилище 1РУ будет использоваться не только в качестве дополнительной площади под складирование, но и в качестве основания для устройства сухой отсыпкой конвейерного уклона для технологической поддержки условий складирования на эксплуатируемом солеотвале 1РУ.

Посредством горно-геологической информационной системы Micromine выполнены исследования по определению физико-механических и водно-физических свойств шламовых грунтов, учет влияния параметров которых позволил создать модель геологического строения отработанного шламохранилища №3, что явилось важным элементом в прогнозной оценке эффективности складирования галитовых отходов на слабое шламовое основание [3-5].

Так, созданная блочная геомеханическая модель в горно-геологической информационной системе Micromine дает возможность повысить безопасность и эффективность исследовательских работ за счет снижения геомеханических и геотехнических рисков в части прогнозирования

событий по складированию галитовых отходов на слабые основания, представленные шламовыми грунтами. Модель дает возможность определять опасные участки шламовых грунтов и прогнозировать их потенциальные нарушения в трехмерном и двухмерном пространстве [4].

Исследования по реализации новых решений в части использования отработанного шламохранилища №3 позволили установить обязательное условие для обеспечения надежности строительства объекта на слабом основании. Таким условием является оставление целика под шламохранилищем или отказ от ведения горных работ длинными очистными забоями под шламохранилищем для обеспечения устойчивости формируемых сооружений.

Обязательным условием для обеспечения несущей способности формируемых сооружений является соблюдение временных интервалов между периодами гидронамыва в целях обеспечения их полной консолидации и набора прочности. Не соблюдение режима формирования гидронамывом сооружений, приведет к возникновению слабых зон в галитовых отходах, лежащих в основании конвейерного уклона.

Перед началом строительства конвейерного уклона обязательным является проведение инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, исследование физико-механических и водно-физических свойств сооруженной гидронамывом конструкции с целью определения ее фактического технического состояния.

На основании проведенного анализа развития хвостового хозяйства 1РУ, основанного в том числе и на экспертных мнениях специалистов ОАО «Белгорхимпром» и ОАО «Беларуськалий» установлено, что в соответствии с проектными решениями ОАО «Белгорхимпром» объемы складирования на солеотвале составят около 200 млн т при сроках складирования около 18 лет.

Многолетние исследования технологий гидронамыва и сухой отсыпкой на шламовые основания позволяют считать их в качестве перспективных. Вместе с тем, применение технологий для складирования галитовых отходов одновременно гидронамывом и сухой отсыпкой, как в случае со шламохранилищем №3 1РУ, новые решения требуют производство дальнейших исследований. Считаем, что в рассматриваемом случае следует акцентировать внимание на изучении поведения шлама как двухфазной среды, поведению жидкой фракции при увеличении нагрузки и консолидации с течением времени, в том числе в условиях прогнозируемого воздействия нагрузки от складированных галитовых отходов и одновременной подработки шламохранилища горными работами, а также фрикционного контакта между дамбой и упругим основанием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологическая инструкция на складирование галитовых отходов способом гидронамыва на акваторию шламохранилища ЗРУ с отметки солеотвала +240,00 м. Договор №70-12. Минск: ОАО «Белгорхимпром». – 2017. – 41 с.

2. Борзаковский, Б.А. Технология гидронамыва солеотвала на калийных предприятиях Верхнекамья / Б.А. Борзаковский // Сб. статей Горного информационно-аналитического бюллетеня. М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. – №1. – С. 191–195.

3. Федотов Г.С., Курцев Б.В., Янбеков А.М. и др. Создание блочной геомеханической модели района Северомуйского тоннеля в ГГИС Micromine Origin&Beyond // Горный журнал. – 2023. - №1. – С. 64-68.

4. Журавков, М.А. Создание блочной геомеханической модели отработанного шламохранилища в горно-геологической информационной системе Micromine Origin & Beyond / М.А. Журавков, А.А. Кологривко, В.А. Кузьмич, М.А. Николайчик // Горная механика и машиностроение. – 2023. – №1. – С. 13–22.

5. Кологривко, А.А. Исследование и учет физико-механических и водно-физических свойств шламовых грунтов отработанного шламохранилища / А.А. Кологривко, В.А. Кузьмич // Горная механика и машиностроение. – 2023. – №3. – С. 28-35.

УДК 637.1

Беспалова Е.В., Сороко О.Л., Бареко Э.А.

(Институт мясо-молочной промышленности, Минск, Республика Беларусь)

ПУТИ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СЫРОВ С КРАСИТЕЛЯМИ И ПИЩЕВКУСОВЫМИ ДОБАВКАМИ

Сегодня в Республике Беларусь перерабатывается порядка 98% сыворотки (подсырной, творожной, казеиновой). Однако согласно обращениям отечественных молокоперерабатывающих предприятий в настоящее время затруднена переработка сыворотки, полученной при изготовлении сыров с красителями и пищевкусовыми добавками. Такая сыворотка включает в себя яркоокрашенные и ароматические натуральные компоненты и красители, которые не позволяют получить из неё стандартных сывороточных продуктов по причине видоизменений

органолептических показателей. Сыворотка, полученная при изготовлении сыров с красителями и пищевкусовыми добавками, не соответствует ГОСТ 34352-2017 «Сыворотка молочная - сырье».

В этой связи актуальными являются исследования направлений и способов обработки молочной сыворотки, полученной при изготовлении сыров с красителями и пищевкусовыми добавками. Пути использования такой нестандартной сыворотки могут быть различными. Целесообразным является поиск комплекса технологических приемов, позволяющих максимально полно извлечь пищевкусовые добавки и обесцветить красящие компоненты, включить очищенную сыворотку в общий объем ее переработки. А при невозможности полной очистки перспективным является подбор способов переработки такого вида сыворотки на молочные продукты, в состав которых будут входить уже имеющиеся в ней компоненты.

В лаборатории оборудования и технологий молочно-консервного производства и аккредитованной производственно-испытательной лаборатории РУП «Институт мясо-молочной промышленности» определили основные характеристики объектов исследований. При этом использовались стандартные и специальные методы анализа. Анализ ассортиментного ряда сыров, а также компонентного состава показал, что при производстве сыров с окрашенным в розовый, красный цвет сырным зерном применяется натуральный краситель кармин (E 120), который изготавливается из тел самок кошенильной тли, содержание карминовой кислоты в которой порядка 20%.

Для придания продукту синего цвета в производстве сыров «Blumarín» используется индигокармин (E132) в водорастворимой форме. Краситель производится путем сульфирования индиго. Индигокармин способен окрашивать продукты от синего до желтого в зависимости от уровня pH. Смесь индигокармина и кармина позволяет обеспечить фиолетовый цвет при производстве сыра «Violet».


При производстве сыров с окрашенным в зеленый цвет сырным зерном применяется экстракт хлорофилла (E 140) или его формы (E 141).

Определены органолептические характеристики сыворотки, полученной при производстве сыров с использованием красителей и пищевкусовых добавок. Сыворотка, полученная при производстве сыров «Pesto green» и «Pesto red», имеет цвет, характерный применяемому красителю, зеленый и розовый соответственно. Сыворотка «Violet» - насыщенный сине-фиолетовый цвет, «Blumarín» – темно-голубой.

Сыворотка зеленого и темно-голубого цвета отличается от контрольного образца и имеет посторонний привкус, связанный с используемыми пищевкусовыми добавками. Это объясняется ароматическими свойствами базилика.

Таким образом, отделенная сыворотка, полученная в результате производства сыров с использованием красителей и пищевкусовых наполнителей, имеет характерный цвет, вкус и запах, вкрапления пищевкусовых добавок. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Органолептические характеристики сывороток

Наименование показателя	Сыворотки от производства сыров					ГОСТ 34352, ТР ТС 033/2013
	«Pesto green»	«Pesto red»	«Blumarin»	«Violet»	контроль	
Внешний вид и консистенция	Однородная непрозрачная жидкость с наличием белкового слоя				Однородная непрозрачная жидкость	Однородная непрозрачная или полупрозрачная жидкость.
Цвет	Зеленый с оливковым оттенком	Розовый оттенок	Темно-голубой	Насыщенный синевioletный	Желтовато-зеленоватого	От светло-желтого до бледно-зеленого
Фото						
Вкус и запах	Сладковато-солончатый с посторонним привкусом	Характерный для молочной сыворотки, сладковато-солончатый, без посторонних привкусов и запахов		Сладковато-солончатый с посторонним привкусом	Характерный для молочной сыворотки, сладковато-солончатый, без посторонних привкусов и запахов	Характерный для молочной сыворотки, сладковатый или солончатый, без посторонних привкусов и запахов

Поскольку сыворотка подсырная, полученная при производстве сыров с натуральными красителями, на предприятиях не проходила предварительную очистку (фильтрование и сепарирование от казеиновой пыли и подсырных сливок), данные процессы были осуществлены

в экспериментальных условиях, по результатам которых можно определить наличие связей молекул красителя с казеином.

Сыворотки подвергались механическим воздействиям, а именно фильтрованию через бумажный и угольный фильтры и центрифугированию.

Установлено, что при фильтровании через бумажный фильтр изменение цвета образцов незначительно, что связано с плотностью казеиновых сгустков, которые под действием силы тяжести оседают на дно емкости и не участвуют в цветообразовании исходных образцов сыворотки.

Такой же результат установлен при центрифугировании. Это доказывает наличие химической связи красителя с казеином. О переходе красителя в общий объем безказеиновой сыворотки свидетельствует о сохранение цвета сыворотки после фильтрации и центрифугирования.

Возможность красителей вступать в окислительно-восстановительные реакции (ОВР) создала предпосылки для проведения исследований в данном направлении. Молочная сыворотка подвергалась кратковременному ультрафиолетовому окислению. В процессе определялась способность изменения цвета через 4–5 часов после воздействия ультрафиолетового света и стабильность изменения через сутки после хранения при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$. Сыворотка «Violet» изменяет свой цвет от фиолетового до красного и далее зеленого в процессе протекания ОВР. Сыворотка «Blumarin» изменяет свой цвет до бледно-розового, как и сыворотка «Pesto red». В результате воздействия ультрафиолета на сыворотку «Pesto green» хлорофилл теряет свою активную окраску до желто-зеленого. Результаты исследований представлены на рисунке 1.

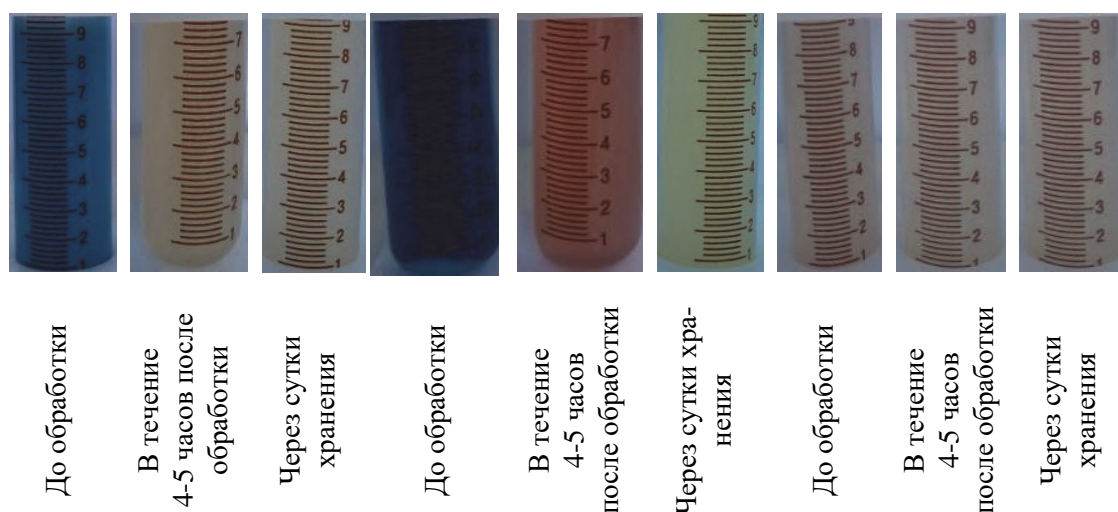


Рисунок 1 – Изменение цвета образцов сыворотки в результате воздействия ультрафиолетового света

Таким образом, данный способ обесцвечивания может быть использован в производстве с последующим вовлечением данной сыворотки в общий объем переработки.

Интенсивность окраски можно определить по изменению показателя оптической плотности. Однако на ее величину будут влиять и количественное содержание компонентных составляющих.

Установлено, что в процессе центрифугирования, при контроле оптической плотности в сыворотке «Blumarin» данный показатель уменьшается с большей интенсивностью, по сравнению с другими образцами. При фильтровании через бумажный и угольный фильтра отмечено, что оптическая плотность образцов сыворотки «Pesto green», «Pesto red», «Blumarin», «Violet», уменьшается по отношению к исходному показателю. Следовательно, краситель, используемый при производстве сыров с окрашенным сырным зерном, находится в связанном состоянии не только с казеином, но и переходит в безказеиновую сыворотку. Определено, что в процессе ультрафиолетового обесцвечивания максимальные изменения произошли в сыворотке «Pesto red», при незначительном изменении цвета.

Так же были исследованы способы химического воздействия на компонентный состав сывороток, которые строятся в основном на способности красителей участвовать в ОВР.

Для установления химических связей сывороточного белка с красителем было осуществлено его осаждение 10% раствором трихлоруксусной кислоты (ТХУ). Установлено, что молекулы красителя не только связываются с белками молока (казеином и сывороточными), но и переходят в сыворотку в свободной форме. Это связано с природой красителя, т.е. его водорастворимой формой.

В процессе анализа данных литературных источников было установлено, что пероксид бензоила (Е 928) обладает осветляющими способностями и его применение разрешено требованиями безопасности, установленными в ТР ТС 029/2012. Допускается использование ее при производстве молочной сыворотки (сухой и жидкой) и продуктов из нее, кроме сывороточных сыров, в количестве 100 мг/кг (л). По результатам исследования определено, что перекись бензоила оказывает осветляющее воздействие на краситель индигокармин, применяемый при производстве сыров «Blumarin» и «Violet». Цвет сыворотки «Pesto red» и «Pesto green» изменился с минимальной интенсивностью, что позволяет сделать вывод об отсутствии окисляющего воздействия перекиси на кармин и хлорофилл. Наиболее интенсивно цвет изменился через сутки после внесения реагента в сыворотку.

Известно, что при отклонении активной кислотности сыворотки изменяется интенсивность цвета некоторых красителей. Индигокармин,

хлорофилл и кармин чувствительны к щелочной среде. Индигокармин интенсивнее изменяет свою окраску при таких рН в присутствии редуцирующих сахаров. А в молочной промышленности окислительные гидроокиси используются с целью регулирования кислотности сливок. Проведено отклонение среды в щелочную сторону до уровня активной кислотности 7,0–7,2 ед рН. в присутствии 3% раствора фруктозы. В результате наблюдается более интенсивное изменение цветности индигокармина до голубого, а далее желтого. Однако такое изменение не стабильно и нарушается при повторном отклонении кислотно-щелочной среды и воздействии воздуха. Следовательно, в процессе хранения обесцвеченной сыворотки возможно отклонение органолептических характеристик от стандартов. Кармин и хлорофилл незначительно меняют оттенок сырья.

Установлено, что в результате воздействия ультрафиолетового света и пероксида бензоила на сыворотки с натуральными красителями, можно изменить цвет до близкого к классической сыворотке. Однако потребуются нормативные документы для данного вида сыворотки, поскольку она по цвету не будет соответствовать ГОСТ 34352-2017 «Сыворотка молочная - сырье», либо направлять ее на пищевые продукты. Для расширения путей переработки молочной сыворотки, полученной при изготовлении сыров с натуральными красителями и пищевкусовыми добавками сотрудниками лаборатории подобраны оптимальные рецептурные составы твороженных паст, десертных продуктов и плавленых сыров с использованием данных сывороток.

ЛИТЕРАТУРА

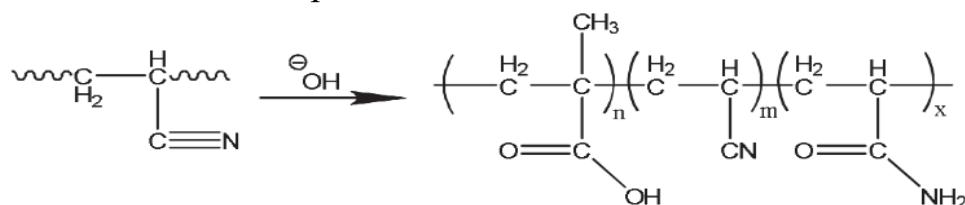
1. Шергина, И. А. Сыры с окрашенным сырным тестом / И. А. Шергина // Сыроделие и маслоделие. – 2008. – № 4. – С. 16.
2. Гаврилов, К. С. Использование красителей в молочных продуктах / К. С. Гаврилов, А. Д. Кузнецова, Г. К. Альхамова // Молодежь и наука. – 2019. – № 3. – С. 57-60.
3. E 140 – Хлорофилл [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dobavkam.net/additives/e140>. – Дата доступа: 03.06.2021.
4. Красители, отбеливатели и стабилизаторы окраски [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://produkt.by/story/krasiteli> .– Дата доступа : 18.08.2021.
5. Опыт научно-технологического сопровождения переработки молока и сыворотки в Республике Беларусь / О. В. Дымар, И. В. Миклух, Л.Н. Соколовская, Е. В. Ефимова, Е. В. Беспалова ; под общ. ред. О. В. Дымара. – Минск : Колорград, 2021. – 352 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДОБАВКИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Рациональное использование отходов производства является ключевой экологической проблемой в современном мире. Особенно остра проблема поиска эффективных методов утилизации отходов на предприятиях нефтехимической отрасли, в том числе, при производстве синтетических волокон. В частности, вторичным сырьём для получения модифицирующих добавок для строительных смесей могут служить различные полимерные отходы, такие как обрезки синтетического волокна из полиакрилонитрила (ПАН) при его производстве, что и определило цель настоящего исследования. Использование отходов производства для синтеза модифицирующих добавок в бетонные смеси позволит не только снизить себестоимость продукта, но и уменьшить негативную нагрузку на окружающую среду [1].

Объектом исследования являются отходы технические при производстве синтетического волокна Нитрон-Д на заводе «Полимир» ОАО «Нафтан», состоящие из кусочков разной длины, которые отбираются на стадии промывки после прядения, до операции сушки, и имеют регламентируемую влажность до 60% масс., выпускаются по ТУ ВУ тип М) в объеме около 70 тонн в год.

Синтез добавки для строительных смесей осуществляли в две стадии: на первой стадии проводили гидролиз отходов технических ПАН-волокон толщиной около 30 мкм в растворе 8 % гидроксида натрия при температуре, близкой к температуре кипения реакционной смеси (100–110°C) в течение 4 ч при постоянном перемешивании и отводе выделяющегося аммиака. Основная реакция, протекающая при гидролизе отходов технических ПАН-волокна, – омыление нитрильных групп ($-C \equiv N$) сополимера до карбоксилатных ($-COONa$) через образование промежуточных соединений: полиенов, полиимидов, полиамидов. Продукт гидролиза – гидролизованый полиакрилонитрил, представляет собой сополимер, содержащий фрагменты акрилонитрила, акриловой кислоты и акриламида вида:



На второй стадии получения добавки для строительных смесей выполнили синтез гидролизованного полиакрилонитрила с сульфитом натрия и формалином (в котором концентрация формальдегида 37% масс.), в массовом соотношении 2:1:2 при температуре 90°C в течении 40 минут при постоянном перемешивании. Полученная модифицирующая добавка для строительных смесей содержит ряд функциональных группы - SO₃H, -NH₂, -COOH и других. Молекулярное строение образцов изучали при помощи ИК-спектрометра Фурье Кауспан.

Выполнили анализ основных показателей качества смесей строительных на цементном вяжущем (использовали портландцемент типа ЦЕМ I с классом прочности 42,5Н) по ГОСТ Р 58227-2018 и ГОСТ 5802-86 определены: подвижность по расплыву конуса и подвижность по расплыву кольца, капиллярное водопоглощение и предел прочности на сжатие кубиков цементного камня размером 20x20x20 мм из цементного теста с В/Ц равным 0,5 через 7 и 28 суток испытаний.

На рисунке 1 *а,б* приведены ИК – спектры исходного полиакрилонитрила и гидролизованного полиакрилонитрила соответственно.

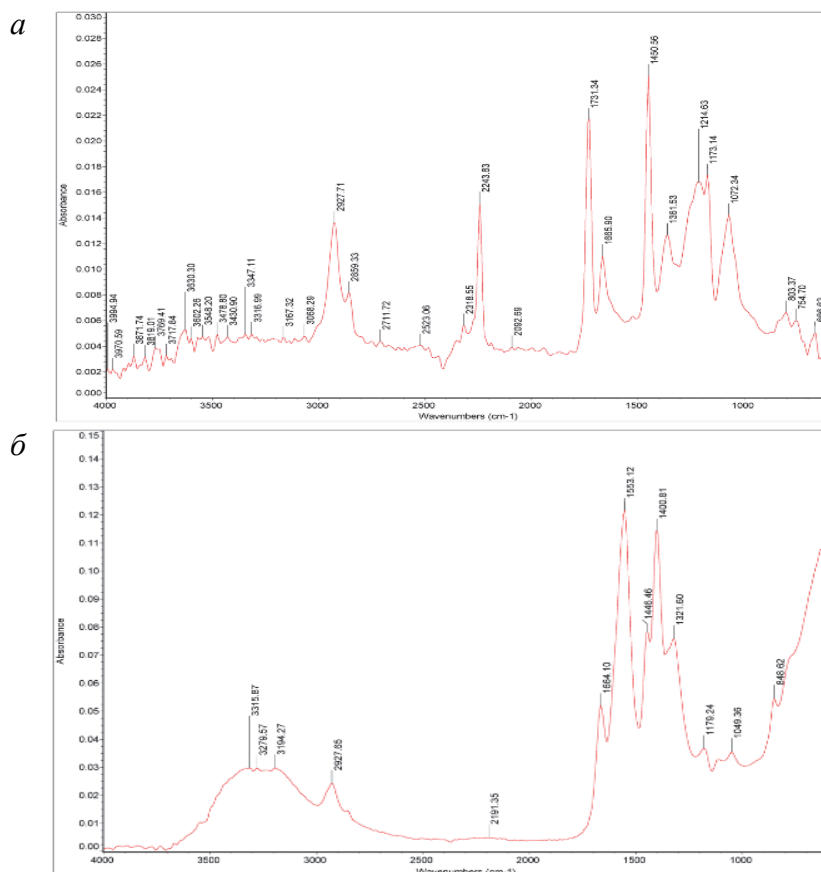


Рисунок 1 – ИК-спектр исходного полиакрилонитрила (*а*) и гидролизованного полиакрилонитрила (*б*)

Анализ ИК-спектров показал, что в ходе гидролиза происходит химическое превращение нитрильных групп ($-\text{C}\equiv\text{N}$) исходного акрилонитрильного сополимера, на что указывает постепенное вырождение дублетной полосы при 2243 см^{-1} , отвечающей валентным колебаниям этой группы. С другой стороны, появляются полосы поглощения при частотах 1664 и 1553 см^{-1} , относящиеся к валентным колебаниям связи $\text{C}=\text{O}$ соответственно в амидной ($-\text{CONH}_2$) (полоса амид I) и карбоксилатной ($-\text{COONa}$) группах. При этом, с увеличением продолжительности гидролиза наблюдается возрастание интенсивности этих полос относительно интенсивности полосы при 2927 см^{-1} , обусловленной валентными колебаниями групп $-\text{CH}_2-$ макромолекулярной цепи.

На рисунке 2 представлен ИК – спектр добавки для строительных смесей на основе гидролизованного полиакрилонитрила, сульфата натрия и формалина. На ИК – спектре четко прослеживается появление полосы поглощения при частоте 1180 см^{-1} , очевидно, относящиеся к новой функциональной группе $-\text{O}-\text{CH}_2\text{SO}_3\text{H}$.

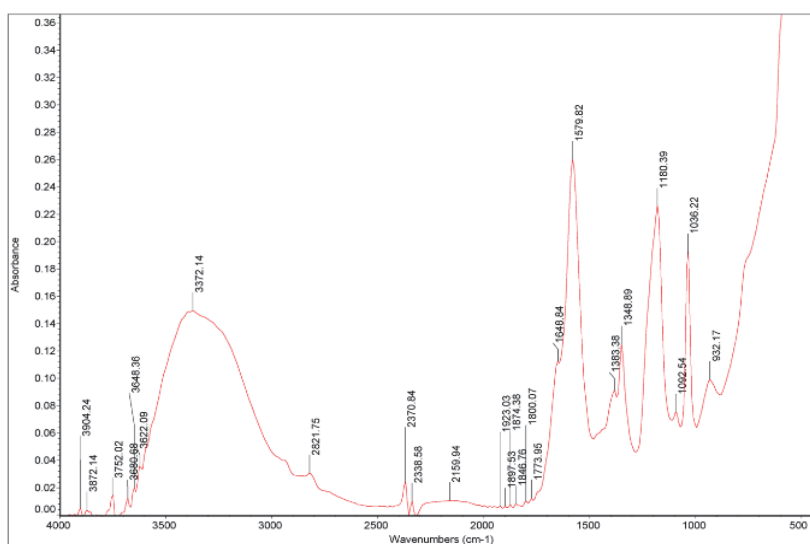


Рисунок 2 – ИК-спектр добавки для строительных смесей

Результаты анализа подвижности цементного теста по распылу конуса и по распылу кольца по ГОСТ Р 58227-2018 приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Подвижность цементного теста по распылу кольца

Расход добавки, % масс.	Диаметр распыла, мм		
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
0	116x122	118x120	117x120
0,5	151x148	151x148	150x146
1,0	200x205	201x205	199x203

Таблица 2 – Подвижность цементного теста по расплыву конуса

Расход добавки, % масс.	Диаметр расплыва, мм		
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
0	79x80	78x81	80x80
0,5	106x106	106x100	104x102
0,7	120x125	120x122	120x125
0,9	150x160	155x161	153x164
1,0	155x166	157x167	156x166

По увеличению подвижности цементного теста по расплыву конуса и кольца установлено пластифицирующее действие синтезированной добавки, которая повышает текучесть строительных растворов без дополнительного добавления воды. Механизм пластифицирующего действия предлагаемой добавки заключается в изменении свойств поверхности частиц твердой фазы (цемента) за счет изменения соотношения между пленочной и свободной водой, насыщенный функциональными группами пластификатор в результате пептизирующего действия увеличивает количества пленочной воды, стабилизируя систему в целом. Рекомендуемая дозировка добавки - 0,5% масс. Увеличение концентрации свыше 0,9% масс. нецелесообразно. Анализ водоотделения цементного теста капиллярным водопоглощением показал высокую водоудерживающую способность. Добавка не содержит хлоридов и других веществ, вызывающих коррозию арматуры, что допускает ее применение при изготовлении стальных и предварительно напряженных железобетонных конструкций.

Результаты анализа предела прочности на сжатие образцов кубиков размером 20 x 20 x 20 мм цементного камня с В/Ц равным 0,5 через 7 и 28 суток по ГОСТ Р 58227-2018 приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Предел прочности на сжатие образцов кубиков цементного камня

Расход добавки, % масс	Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте	
	7 сут.	28 сут.
0	60,575	71,702
0,5	64,545	67,319
1,0	58,615	59,794

Результаты испытаний образцов цементного камня на прочность, изготовленных из цементного теста нормальной густоты показали, что вовлечение предлагаемой добавки существенно не изменяет данный показатель, что подтверждает его эффективность в цементном камне и, следует ожидать, аналогичного эффекта в бетоне.

Таким образом, выполненный комплексный анализ эффективности добавки для строительных смесей на основе гидролизованного полиакрилонитрила, сульфата натрия и формалина позволяет прогнозировать повышение пластичности смеси и его коррозионной стойкости, снижение В/Ц, повышение удобоукладываемости строительных смесей и упрощение обрабатываемости их поверхности; повышение связности и нерасслаиваемости строительных смеси при малых расходах цемента, а также их высокую перекачиваемость бетононасосом. Переработка отходов производства синтетического волокна позволит расширить ассортимент выпускаемой продукции и снизить количество отходов, подлежащих утилизации и рециклингу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якубовский С. Ф., Булавка Ю. А., Бакатович А. А., Ермак А. А., Азаренко Д. Н. Получение на основе отходов производства синтетических волокон модифицирующей добавки для строительных смесей // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки, 2023 (2), С. 80–85. doi.org/10.52928/2070-1616-2023-48-2-80-85.

УДК 658.567.1

Мытько Д.В., Шибека Л.А.

(Белорусский государственный технологический университет)

ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ежегодно в Республике Беларусь образуется свыше 4,5 млрд. т отходов растительного происхождения. Основное количество отходов (около 95%) подлежит использованию [1].

Предприятия Республики Беларусь характеризуются образованием значительных объемов целлюлозосодержащих отходов растительного происхождения. Данные отходы образуются на всех этапах заготовки, обработки и переработки сырья. В классификаторе отходов Республики Беларусь [2] рассматриваемые отходы относятся к блоку 1 «Отходы растительного и животного происхождения», который включает в себя:

1) Раздел 1 «Отходы пищевых и вкусовых продуктов» (126 наименований);

2) Раздел 2 «Отходы производства и потребления растительных и животных жиров, масел, смазок» (29 наименований);

3) Раздел 6 «Отходы растительных волокон» включает в себя группу 1 «Отходы переработки растительных волокон» (5 наименований).

4) Раздел 7 «Древесные отходы» (81 наименование);

5) Раздел 8 «Отходы целлюлозы, бумаги и картона» (65 наименований).

Значительная доля отходов растительного происхождения приходится на древесные отходы.

Целлюлозосодержащие отходы находят применение в качестве компонентов сырья при производстве древесных плит, картонно-бумажной продукции, топлива, продукции лесохимических производств и др. Несмотря на высокую степень вовлечения данных отходов в хозяйственный оборот, поиск направлений их использования является актуальной задачей.

Одним из перспективных направлений применения рассматриваемой группы отходов является получение из них сорбентов для обезвреживания загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах и сточных водах. Для этой цели используют отходы древесины, сельскохозяйственных культур и другие отходы, которые обладают высокими сорбционными свойствами [3].

На эффективность сорбционного процесса извлечения загрязняющих веществ из воды оказывают влияние следующие факторы: способ обработки сточных вод; рН и температура среды; продолжительность процесса очистки; пористость, химический и дисперсный состав сорбционного материала.

Цель работы – определение оптимальных условий проведения процесса очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов с применением древесных отходов.

Исследования проводили в отношении ионов меди или цинка, присутствующих в модельных сточных водах. Условия проведения исследований: рН сточных вод варьировалось в диапазоне 3-4; температура – 18–22°С. В качестве основных параметров, влияющих на эффективность процесса очистки сточных вод, рассматривали продолжительность взаимодействия сорбента с раствором и дозу сорбента в воде.

Исследование сорбционных свойств проводили на древесных опилках хвойных пород древесины с размером частиц не превышающим 10 мм. На рисунке 1 представлена сравнительная характеристика сорбционных свойств рассматриваемых отходов в зависимости от продолжительности взаимодействия сорбента с раствором по ионам меди и цинка.

Из рисунка 1 видно, что в диапазоне продолжительности взаимодействия сорбента с раствором от 30 мин до 60 мин сорбционные свойства

древесных опилок незначительно увеличиваются по ионам цинка и резко возрастают по ионам меди. В диапазоне от 60 мин до 180 мин наблюдается снижение сорбционной емкости по ионам меди. В то время как, в диапазоне от 60 мин до 120 мин происходит незначительное колебание сорбционных свойств исследуемого материала в отношении ионов цинка. Дальнейшее увеличение времени взаимодействия сорбента с раствором цинка также приводит к снижению сорбционной емкости древесных опилок.

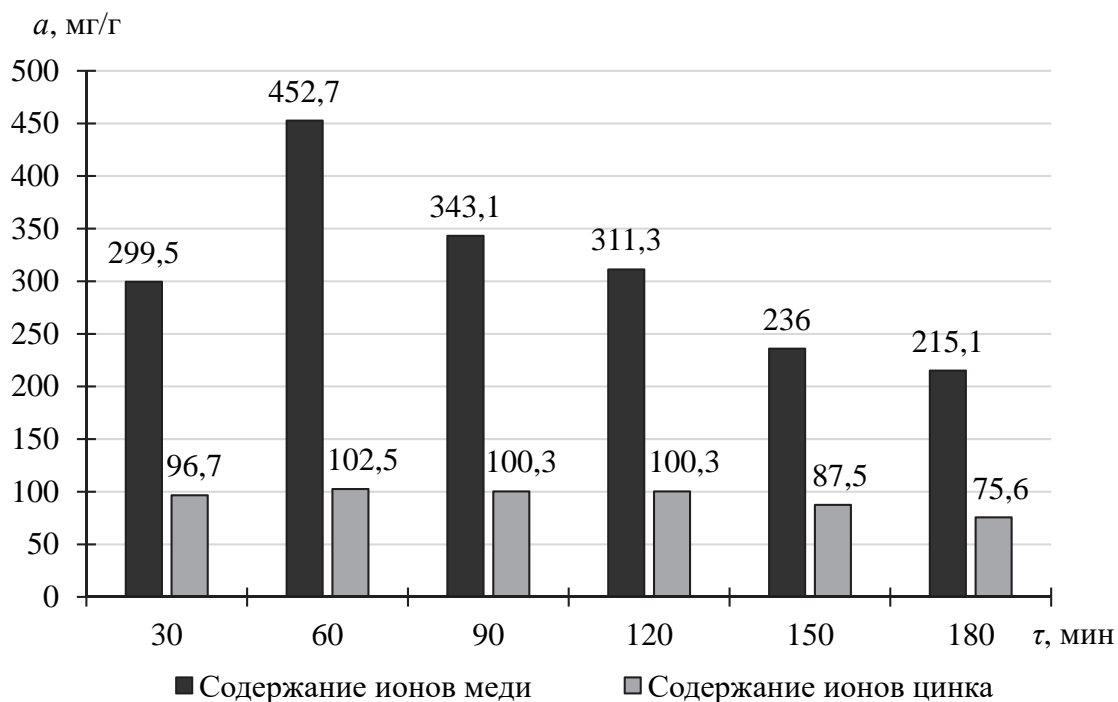


Рисунок 1 – Сорбционная емкость древесных опилок (а) в зависимости от продолжительности взаимодействия сорбента (τ) с раствором металла

Таким образом, оптимальной продолжительностью взаимодействия целлюлозосодержащего сорбента со сточными водами, содержащими ионы тяжелых металлов, является 60 мин.

На рисунке 2 представлена сравнительная характеристика сорбционных свойств рассматриваемых отходов в зависимости от дозы сорбента в пробе.

Установлено, что при уменьшении дозы сорбента от 4 до 10 г/дм³ сорбционная емкость резко уменьшается по ионам меди, в то время как сорбционная емкость по ионам цинка остается неизменной. В диапазоне концентраций навески сорбента от 10 до 50 г/дм³ наблюдается снижение сорбционной емкости по ионам цинка и меди.

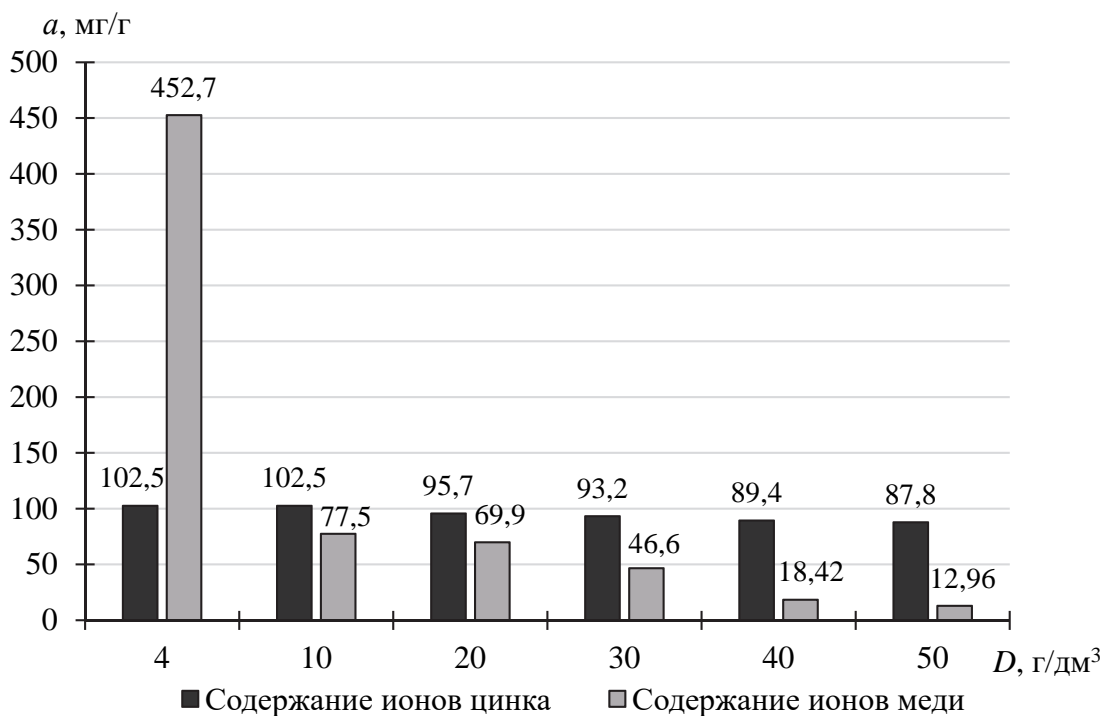


Рисунок 2 – Сорбционная емкость древесных опилок (а) в зависимости от дозы сорбента (D) в пробе

Таким образом, оптимальным условием проведения процесса очистки сточных вод от ионов цинка и меди является доза целлюлозо-содержащего сорбента – 4 г/дм³.

Полученные результаты могут найти применение при проектировании систем очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации. Многоотраслевая статистика [Электронный ресурс] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2022. Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Search?code=1063064>. – Дата доступа: 03.10.2022.

2. Об утверждении, введении в действие общегосударственного классификатора Республики Беларусь: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 09.09.2019 № 3-Т // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – 27.09.2019. – 8/34631.

3. Сангалов, Ю.А. Дисперсная древесина как перспективное химическое сырье / Ю.А. Сангалов, С.Г. Карчевский, В.И. Ионов // Вестник Академии Наук Республики Беларусь. – 2014. – Том 19. – №4. – С. 5-15.

Дернович А.В. Вишнеvский К.В., Войтов И.В.
(Белорусский государственный технологический университет)

ПРОДУКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ СЫРЬЕ ХИМИЧЕСКИХ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

В результате санкционного давления возникла проблемы с использованием щепы и появился избыток спелых мягко лиственных лесов подлежащей заготовке, так как в противном случае древесина потеряет свои потребительские качества. Годовой объем заготовки древесины такого типа оценивается в 3–5 млн. м. куб.

Поэтому необходимо сделать ревизию научно-технических наработок организаций Республики и найти, или определить объекты для их применения и внедрения. Необходимо также выполнить анализ потенциала работающих предприятия химического и микробиологического профиля для внедрение научно-технических наработок, посмотреть на возможность восстановления ранее остановленных производств с использованием современных достижений науки и технологии.

Ограниченность ископаемых углеводородных ресурсов вынуждает вернуться к возобновляемым традиционным источникам сырья, присматриваться и находить новые, которые могут обеспечить устойчивое и рациональное удовлетворения потребностей в энергии и материалах. Для этого, доступность, цены и свойства продуктов из возобновляемых источников должны быть конкурентоспособными по сравнению с продуктами, которые вырабатывают сегодня из ископаемого углеводородного сырья. В этом аспекте потенциал растительного мира практически не исчерпаем, а с учетом имеющихся достижений биотехнологии и углубленного развития технологий химической переработки и биологии открывает свои возможности как потенциальное сырье химического синтеза. В стране существует большой потенциал вовлечение в производственную сферу отходов лесопиления и деревопереработки и сельхозпредприятий, т.н. целлюлозосодержащего сырья.

Огромным и существенным преимуществом целлюлозосодержащего растительного сырья является его возобновляемость. Лесные массивы и кустарниковые насаждения участвуют в естественном круговороте углерода. Деревья, кустарники и растения поглощают углекислый газа, превращают его в органические вещества, что препятствует накоплению его в атмосфере. Продукты из растительного сырья и их отходы прекрасно ассимилируются природными экосистемами.

Процесс изъятия целлюлозосодержащего сырья и воспроизводства растительной биомассы создает постоянную сырьевую массу, которая вовлекается в производственную сферу и способствует устойчивому развитию.

Несомненно, дальнейший рост цен на нефть и газ является дополнительным стимулом для возобновления производства из этилового спирта (биоэтанола), полученного из растительного сырья, производства бутадиена и синтетических каучуков на его основе, которые использовали в прошлые годы, рисунок 1.



Рисунок 1 – Схема получения бутадиена

Технологические процессы химической переработки целлюлозосодержащего сырья позволяют получать из целлюлозы и гемицеллюлозы востребованные конечные продукты и продукты, идущие в дальнейшие переделы. Ряд таких процессов давно используется в промышленных масштабах, и сфера их применения постоянно расширяется. Современные химические технологии и биотехнологии переработки целлюлозосодержащего сырья позволяют заменить до 50 % углеводородного сырья для устойчивого развития химической промышленности.

Один из вариантов решения проблемы, мы видим, в создание производственного кластера для переработки древесных отходов и щепы, малоценных мягколиственных пород, тонкомера с рубок ухода и отходов сельхозпредприятий методом гидролиза.

Прекращение деятельности гидролизных заводов привело к резкому падению производства не только технических спиртов и растворителей, кормового белка (гидролизных кормовых дрожжей). Сократилось и производство глюкозных сахаров – сырья для производства антибиотиков. И это лишь неполный перечень причин, по которым возрождение гидролизных заводов Беларуси является проблемой, требующей решения, нам нужны биотехнологии потому, что у нас мало нефти и достаточно современное и развитое сельское хозяйство.

Переработка целлюлозосодержащего сырья методом гидролиза позволяет получать массу ценных и востребованных на рынке продуктов, а также продукты, которые используются в других отраслях промышленности в качестве исходного сырья. К этим продуктам необходимо отнести: этиловый спирт технический (биоэтанол), фурфурол, угольная кислота, кормовые дрожжи и на их основе белковые витаминные добавки с различными функциональными свойствами за счет обогащения витаминами различных групп, белок пищевой, микробный жир и другие.

Гидролизные кормовые дрожжи вследствие высокого содержания в них полноценных, хорошо усвояемых белков, биологически активных веществ, витаминов, ферментов, гормонов и микроэлементов применяются в качестве корма для животных и птиц и входят в состав кормов для рыб. Добавка кормовых дрожжей к растительным кормам, богатым углеводами, значительно улучшает их качество и повышает биологическую ценность.

Гидролизные кормовые дрожжи по питательности и усвояемости не уступают кормам животного происхождения. В дрожжах содержится 46-54% белка, который в свою очередь содержит жизненно необходимые незаменимые аминокислоты. В кормовых дрожжах содержатся также ценные для животных и птиц макро- и микроэлементы. Гидролизное производство в промышленных масштабах позволяет производить дрожжи обогащенные витаминами Д и А. Содержащиеся в дрожжах ферменты, гормоны и другие продукты микробиологического синтеза играют важную роль в улучшении обмена веществ в организме животных и птиц.

Одним из наиболее ценных и высоколиквидных продуктов переработки целлюлозосодержащего сырья является фурфурол - органическое соединение гетероциклического ряда, который получается по схеме, рисунок 2. Фурфурол в настоящее время получают только методом гидролиза из растительного сырья, другого метода получения фурфуrolа в промышленных масштабах не существует.

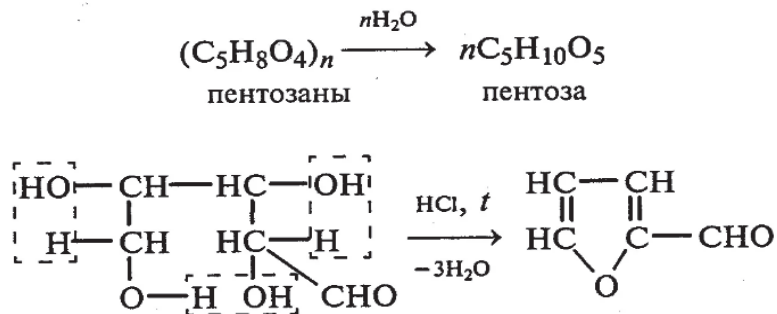


Рисунок 2 – Схема получения фурфуrolа из целлюлозосодержащего сырья

Большое количество фурфуrolа применяется при синтезе многочисленных его производных, применяемых в медицине, сельском хозяйстве и прочих областях. Фурфуrolа используются для синтеза фурфурилового спирта, на основе которого получают смолы для литейного производства

Наиболее важные в практическом отношении производные получают (рисунок 3) путем гидрирования и декарбонилирования фурфуrolа (77). К продуктам, производимым в промышленном масштабе, относятся: силван (80), фуран (81), тетрагидрофуран (ТГФ, 82), фурфуриловый (ФС, 83) и тетрагидрофурфуриловый (ТГФС, 84) спирты.

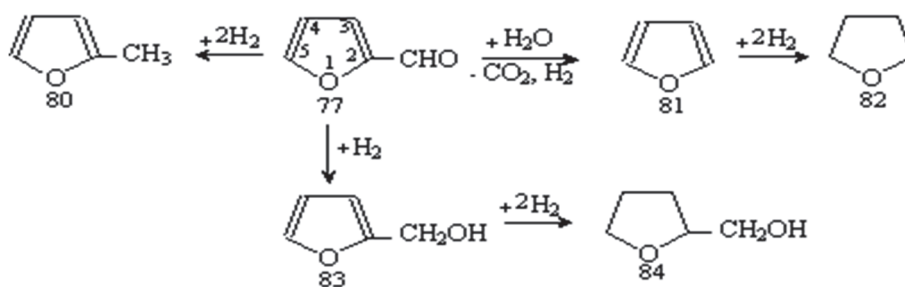


Рисунок 3 – Схема получения производных фуранового ряда

Биоэтанол (этанол) и фурфурол могут быть использованы в химической промышленности для получения широкого спектра ценных продуктов, в самых различных синтезах.

Отхода гидролизного производства – лигнин, нашел широкое применение для получения большого ассортимента продукции: активированные угли, сорбенты для очистки промышленных стоков и розлива нефтепродуктов, медицинские и ветеринарные сорбенты, лигнин является сырьем для производства нитролигнина, который снижает вязкость глинистых растворов, используемых в процессе бурения скважин а также лигнин используется в органо-минеральных удобрениях, структурообразователях для естественных и искусственных почв, в качестве добавки в асфальтобетоны (изготовление лигнино-битумных растворов, топливные брикеты и pellets, преобразователь ржавчины.

Перечень продуктов получаемых методом гидролиза из древесного (целлюлозосодержащего) сырья представлен на схеме рисунок 4.

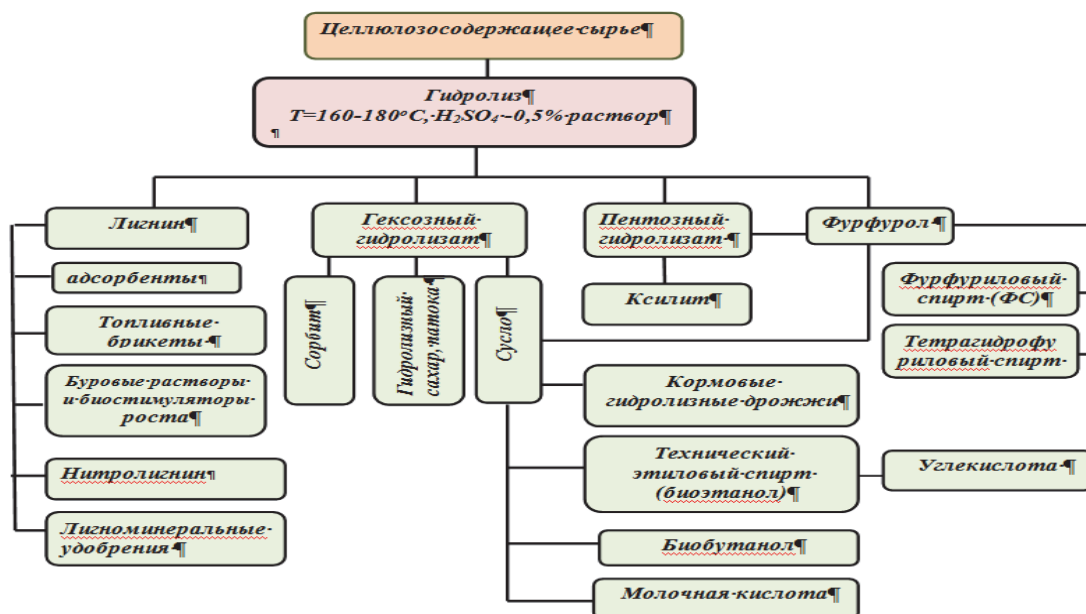


Рисунок 4 – Схема получения продукции при переработки древесного (целлюлозосодержащего) сырья методом гидролиза

На наш взгляд решение проблемы состоит в создании производственного кластера для переработки древесных отходов и щепы, малоценных лиственных пород и отходов сельскохозяйственных предприятий методом гидролиза. Это позволит значительно укрепить продовольственную безопасность страны и увеличить экспортный потенциал перерабатывающей и химической промышленности.

УДК 502.3

Лихачева А.В., Шпиталева Х.И.

(Белорусский государственный технологический университет)

ПОЛУЧЕНИЕ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ИЗ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА

В Республике Беларусь на Речицком и Бобруйском гидролизных заводах ежедневно образуется около 800 тонн лигнина, а за год образуется и вывозится на полигон захоронения более 280 тыс. тонн. Количество образования гидролизного лигнина в республике требует кардинальных решений по способам его переработки.

Гидролизный лигнин представляет собой сложную смесь веществ гидролитического распада древесных остатков, содержащую лигнин, часть трудногидролизуемых полисахаридов, редуцирующих веществ, смолы, зольные элементы, остатки серной и органических кислот, влагу.

Данный отход является побочным продуктом производства, образуется после завершения процесса гидролитического разложения (варки) в основном хвойного древесного сырья в гидролизаторах в присутствии слабого раствора серной кислоты (0,5–0,6 % в дрожжевом производстве и 0,7–0,85 % в спиртовом производстве). Выход его составляет 38% от массы исходного сырья.

Проблема переработки гидролизного лигнина существует с момента создания гидролизного производства. За время функционирования данного производства на объектах хранения гидролизного лигнина, несмотря на усилия предприятий по его переработке, в Республике Беларусь, по различным данным, накопилось от 4 до 7 млн. тонн.

Существующие способы обращения с гидролизным лигнином не позволяют на данный момент перерабатывать все количество образующихся отходов. Поэтому целью выполненных исследований являлось получение сорбента для очистки сточных вод из гидролизного лигнина.

В качестве объекта исследования использовали гидролизный лигнин, который образовался на ОАО «Бобруйский завод биотехнологий»

во время обработки древесины концентрированной серной кислотой, при производстве этилового спирта.

В соответствии с классификатором отходов [1], образующихся в Республике Беларусь, гидролизный лигнин относится:

- а) Блок 1. Отходы растительного и животного происхождения.
- б) Раздел 1. Отходы пищевых и вкусовых продуктов.
- в) Группа 4. Отходы производства вкусовых продуктов.
- г) Код отхода 1141401.
- д) Степень опасности и класс опасности – 3.

Гидролизный лигнин представлял собой опилкоподобную массу темно-коричневого цвета со специфическим запахом, с влажностью 12%. По своему составу это комплекс веществ, в который входят собственно лигнин растительной клетки, часть полисахаридов, группа веществ лигногуминового комплекса, не отмытые после гидролиза моносахариды, минеральные и органические кислоты, зольные и другие вещества. Размеры частиц лигнина составляли от нескольких миллиметров до микронов (и меньше).

Для получения сорбционного материала из гидролизного лигнина, его обрабатывали модифицирующим составом в определенном соотношении компонентов: мочевины и фосфорная кислота. Затем материал подвергали термообработке при 160°C в течении 1 часа, отмывали до значения рН промывных вод 6,0-6,5 и сушили до абсолютно сухой массы.

При обработке гидролизного лигнина, в качестве азотсодержащего соединения применяли карбамид (мочевину). Его роль сводилась к уменьшению деструктурирующего действия компонентов модифицирующего раствора. Если лигнин обрабатывать только фосфорной кислотой без мочевины, то лигнин окрашивается в черный цвет и становится очень хрупким, что свидетельствует об его деструкции, обусловленной дегидратацией и разрушением пиранового кольца. Поэтому для фосфорилирования гидролизного лигнина использовали раствор мочевины и фосфорной кислоты.

Обменно-сорбционную емкость полученных сорбентов по катионам металлов (на примере железа и хрома) исследовали в статических условиях из растворов солей различных концентраций. Содержание металлов в растворе определяли с помощью фотометрических методов анализа. Определение содержания железа основано на образовании окрашенных комплексов железа с сульфосалициловой кислотой, а хрома – на реакции дифенилкарбазида в кислой среде с бихромат-ионами.

Для сравнения определяли сорбционные свойства необработанного гидролизного лигнина, однако, в ходе исследований было установлено, что имеет место экстракция органических веществ из отхода.

При этом наблюдается вторичное загрязнение очищаемой воды растворимыми компонентами лигнина, это же делало невозможным определение остаточного содержания железа в очищенной воде фотоколориметрическим методом. Это подтверждает то, что необработанный лигнин не может использоваться в качестве сорбционного материала.

По изотерме сорбции железа полученным сорбентом установлено, что статическая обменная емкость составляет 0,91 мг/г и при этом эффективность очистки – 91%.

Результаты проведенных исследований по сорбции в статических условиях позволяют сделать вывод от том, что данный сорбент обладает хорошими сорбционными свойствами по отношению к железу.

Продолжительность контакта сорбента с раствором, обеспечивающая наибольшую степень очистки составляет 60 минут с эффективностью очистки 90 %.

Сравнительная характеристика очистки сточных вод от железа различными сорбентами представлена на рисунке.

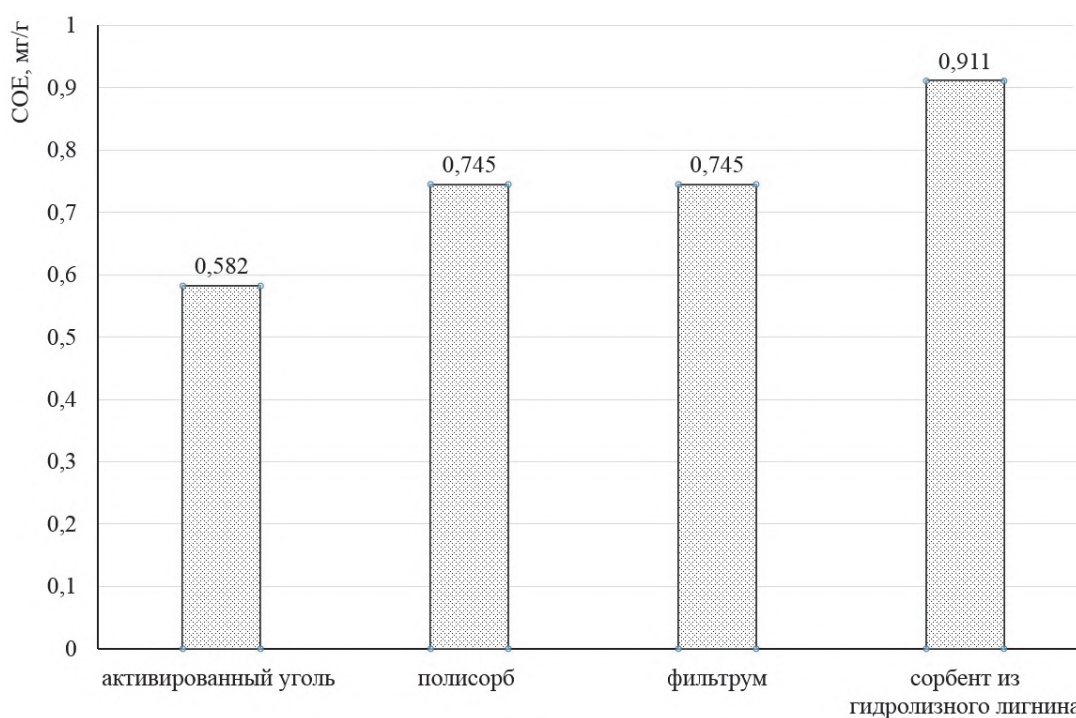


Рисунок – Сравнительная характеристика SOE сорбентов по железу

Исследования по определению сорбционных свойств полученного материала по отношению к ионам хрома показали, что статическая обменная емкость составляет 0,012 мг/г. Небольшое значение SOE объясняется присутствием хрома в исследуемых растворах в виде комплексного аниона.

ЛИТЕРАТУРА

1 Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный фонд технических нормативных правовых актов – Минск, 2023. – Режим доступа: <https://tnpa.by>. – Дата доступа: 01.05.2023.

УДК 683.531.19

Возняковский А.А.
(ФТИ им. А.Ф. Иоффе)

СИНТЕЗ МАЛОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ НЕФТЕГАЗОВОГО СЕКТОРА

Малослойный графен (МГ) относится к классу графеновых наноструктур, количество слоев графена в котором не превышает 5. Было экспериментально показано, что за счет своих рекордных характеристик МГ может применяться во множестве отраслей от создания высокоэффективных смазок до полимерных композитов. Однако, из-за несовершенства методик синтеза МГ, его применение на данный момент является нерентабельным.

Нами была разработана методика синтеза МГ из биополимеров циклического строения (лигнин, кора деревьев, борщевик, а также нефтяной кокс) в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Было экспериментально показано, что синтезированный МГ может применяться в качестве матрицы для создания многоразовых каталитических систем (на примере реакции гидросилилирования, катализатор платиновой группы (Спайера)). Было установлено, что при использовании МГ в качестве матрицы, катализатор сохраняет свою эффективность не менее 10 циклов, а также сохраняет свою эффективность не менее 2 лет.

Полученный МГ также может использоваться для ликвидации экологического вреда, связанного с добычей и переработкой полезных ископаемых. Так, МГ может выступать в качестве матрицы для создания высокоэффективных биопрепаратов предназначенных для ликвидации загрязнений окружающей среды нефтепродуктами, а также использоваться в качестве высокоэффективного сорбента для очистки воды от радионуклидов.

Разработанная методика синтеза МГ из нефтяного кокса в условиях СВС процесса позволяет получать большие объемы материала (уже развернуто производство до 10 кг/мес.), высокого качества (не более 5 слоев, без дефектов Стоуна-Уэльса), который может использоваться для решения экологических проблем, возникающих при добыче полезных ископаемых.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №23-79-10254.

УДК 669

Карпинчик Е.В., Южик Л.И., Агабеков В.Е.

(Институт химии новых материалов НАН Беларуси)

Марукович Е.И., Груша В.П., Бевза В.Ф.

(Институт технологии металлов НАН Беларуси)

ОТХОДЫ КАРБИДА КРЕМНИЯ В КАЧЕСТВЕ РАСКИСЛЯЮЩЕЙ И ЛЕГИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛЕЙ

Действующая технология производства стали предусматривает при выпуске металла из сталеплавильного агрегата в ковш предварительное его раскисление. Для этой цели используют ферросилиций, чушковый алюминий, силикокальций.

В качестве альтернативы ферросилицию (FeSi) прогрессивная технология выплавки чугуна и стали предлагает карбид кремния (SiC, карборунд) [1]. SiC используют в виде гранул диаметром не менее 10 мм. Для их изготовления подбирают такое связующее, которое при попадании в расплав металла или шлак, гранулы или брикеты карбида кремния разрушались под воздействием термоудара, что определяет технологически оптимальную скорость растворения добавки. Преимущество карбида кремния по сравнению с ферросилицием состоит в том, что он не содержит газовых включений, неметаллических компонентов и примесей цветных металлов, обеспечивает эффективное выделение элементного углерода в расплаве, образуя в нём центры графитизации, снижающие отбел.

В известных технологиях реализуется свойство SiC растворяться при взаимодействии с жидким металлом с ассимиляцией Si и C в расплав при температурах плавления металла. Процесс растворения зерен SiC при температуре 1250 °С происходит в течение 1-2 минут. Кремний образует с железом раствор, углерод выделяется в виде вторичного графита. В результате увеличивается количество зародышей графита, что

способствует его диспергированию и более равномерному распределению в матрице. Выделение большого количества тепла при растворении SiC способствует максимальному усвоению свободного углерода, находящегося в смеси, и компенсирует тепловые потери расплава на его усвоение. Для выплавки железоуглеродистых сплавов в индукционных печах можно использовать карбид кремния металлургический и/или его шламы совместно с термообработанным углеродсодержащим материалом электродного производства и/или графитом [2].

Скорость и полнота усвоения углерода жидким металлом зависит от дисперсного состояния легирующей добавки. В способе [3] предложено раскисление производить карбидом кремния с фракцией 0,1–10 мм, содержащего 80–90 мас.% SiC, внепечной обработкой стали при выпуске расплава из сталеплавильного агрегата в ковш. Диапазон используемых фракций раскислителя в указанных размерах гранул объясняется закономерностями его взаимодействия с расплавом: при меньших значениях происходит его вынос из зоны реакции, при больших – ухудшаются условия взаимодействия с расплавом. Вследствие выделения тепла от взаимодействия карбида кремния и высокой свободной поверхностной энергии гранулированного науглероживателя достигается высокая и стабильная скорость усвоения углерода жидким металлом.

В настоящее время брикетированный карбид кремния успешно используется в литейном производстве взамен дорогостоящих ферросплавов. Он эффективно снижает отбел в отливках, улучшает их структуру, повышает жидкотекучесть расплава. Масштабы его применения постоянно расширяются. При этом как брикеты, так и смесевые составы изготавливаются из SiC с размером зерен не менее десятых долей миллиметра. В то же время, в электронной промышленности имеется значительное количество отходов, содержащих карбид кремния в ультрадисперсном состоянии (УДП КК) с размером частиц в пределах 8–10 микрометров в виде осадка, выделенного по разработанному способу [4] из отработанной его суспензии в полиэтиленгликоле. Его состав следующий, мас. %: элементный кремний 15,0–35,0; железо – 5–2,0; органические примеси 2,0–3,2; SiC – остальное. В нем нет компонентов, препятствующих использованию этого материала в металлургии, однако, сведения о такой практике отсутствуют. Главным препятствием в этом направлении является его высокая дисперсность чем объясняется трудность введения такого порошка в расплав.

В настоящей работе для обеспечения возможности использования в литейном производстве этой высокодисперсной добавки, исключаяющей её потери при введении в расплав из-за пылеуноса, была применена методика подачи модификатора на струю металла непосредственно при выдаче стали из печи с использованием агрегатов печь-ковш.

Несомненными преимуществами SiC, регенерированного в виде ультрадисперсного порошка, для легирования стали является отсутствие в нем вредных примесей, присутствующих в других его формах (цветные металлы, неметаллические включения, растворенные газы, сера, фосфор и др), а также открывающаяся возможность использования в технологии внепечной обработки стали. Связано это с тем, что прекурсорами в его получении являются материалы высокой степени чистоты, предназначенные для электронной промышленности, а технологический процесс не сопровождается внесением вредных для металлургии компонентов. Таким образом, от применения в металлургическом процессе предложенной модифицирующей добавки следует ожидать улучшения качественных показателей выплавляемого металла. Кроме того, УДП КК обладает свойством оказывать на расплав комплексное воздействие: при его введении одновременно решаются задачи как раскисления металла, так и его высокоэффективного легирования кремнием. В отличие от известных решений аналогичной задачи с использованием для этой цели материалов, содержащих только карбид кремния, применение УДП КК в металлургии позволяет за счёт содержания в нём элементного кремния достичь существенно более значительного легирующего эффекта, поскольку в известных этот компонент в такой химической форме отсутствует. Наконец, ультрадисперсное состояние обеспечивает практически мгновенное его усвоение расплавом.

Эффективность предложенной комплексной добавки в металлургическом процессе проверялась путём приготовления расплава железа с использованием установки индукционного нагрева. Малогабаритный плавильный узел включал индуктор и шамотный тигель емкостью 1кг по металлу. В качестве шихтовых материалов для приготовления расплава чугуна использовали обрезки конструкционной среднеуглеродистой стали (сталь 40), отходы ультрадисперсного порошка карбида кремния, выделенного из отработанной его суспензии, бой электродного графита, ферромарганец (ФМн72). Для приготовления расплава чугуна использовали стальной лом.

Подготовка шихтовых материалов для проведения предварительных экспериментов заключалась в следующем. Из обрезков стального прутка Ø35мм была изготовлена партия глуходонных контейнеров высотой 150мм. Масса одного контейнера составляла 720 г.

В контейнер в виде цилиндра Ø22мм глубиной 120мм закладывалась навеска УДП КК в количестве 25, 30, 35 и 40г. Для предотвращения его высыпания при закладке контейнера в тигель шихта уплотнялась при помощи ручного винтового пресса.

Кроме того, в каждый состав шихты для науглероживания добавляли 15г электродного графита и по 5г ферромарганца, что соответствовало

содержанию его в расплаве 0,7–0,9 %. Бой электродного графита и ферромарганец укладывался на дно тигля, после чего дном кверху устанавливался контейнер с УДП КК.

Разливку металла осуществляли в графитовую форму. Для оценки макроструктуры использовали клиновидные пробы, отлитые в разовых песчано-смоляных формах из холодно твердеющих смесей. Анализ химического состава проводили с использованием оптико-эмиссионного спектрометра «GNR» с программным обеспечением «Metallab 32». Для получения шлифов применялась однодисковая шлифовально-полировальная машина «Mecattech 234» с варьируемой скоростью вращения и автоматическим держателем образцов.

Твердость по методу Роквелла определяли на твердоме TP 5014-01, микротвердость – на микротвердоме ZwickRoell Indentel ZHV-1M при нагрузке 10 г и продолжительности нагружения 5 сек.

Для оценки зернистости порошка, анализа микроструктуры и распределения элементов использовали сканирующий электронный микроскоп, оснащенный системой микроанализа от Oxford Instruments «INCAx-act». Исследования микроструктуры проводились на увеличениях от 100 до 1000 при помощи оптических микроскопов MicroSkrin и Leica.

В таблице 1 приведено содержание углерода, кремния и марганца в шихтах для получения образцов сравнения и экспериментальных.

Таблица 1 – Химический состав шихт

Образец	Содержание, %		
	C	Si	Mn
О Образец сравнения	0,42	0,24	0,62
Эк Экспериментальный образец	1,33	2,95	0,57

Анализ химического состава образцов, полученных в результате экспериментальной плавки, показал увеличение углерода в 3, кремния – 12 раз. Твёрдость возросла в 1,5 раза по сравнению с аналогичными показателями в образцах сравнения и составила 346-363 НВ.

Для выявления причины повышения твердости экспериментальных образцов проведен сравнительный их анализ по показателю микротвёрдости.

Установлено, что структура стали перлитоферритная. Перлит имеет твердость по Виккерсу 230-250 НВ, феррит – 160-185 НВ. Структура образца, полученного в ходе экспериментальной плавки с добавлением УДП КК, представляет собой перлитную матрицу металла с включениями цементита, имеющего значения твердости 650-750 НВ. Твердость перлита в пределах 280-380 НВ. Твердость полученных экспериментальных

образцов синтетического чугуна составила 269-285 HV. Микроструктура представляет собой мелкодисперсный перлит с колониями междендритного графита.

Таким образом, предложенный модификатор [5] способствует увеличению доли цементита в металле, следовательно, увеличивает его твёрдость. Использование его при выплавке черных металлов вносит в их состав как углерод, так и кремний, т.е. является комплексным модификатором, что позволяет получать чугуны и стали с заранее заданными физико-механическими свойствам прямым путем из стального лома.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев В.Ф., Мишкевич М.Г. Прогрессивная технология выплавки чугуна с заменой ферросилиция карбидом кремния // Сталь. – 2015. – №2. – С. 67–68.

2. Гасик М.И., Подольчук А.Д., Дервянко И.В., Овчарук А.Н., Гацуро В.М. Выплавка синтетических чугунов на шихте, содержащей углерод-карбидкремниевые материалы УККС // Металлургия машиностроения. 2013. – №4. С. 02-04.

3. Балдаев Б.Я, Горшков С.П., Жиленко С.Д. и др. Способ внепечной обработки стали в ковше. Пат. RU №2395589.

4. Карпинчик Е.В., Агабеков В.Е., Южик Л.И. Способ получения карбида кремния. Пат. РБ №24020 С01.

5. Карпинчик Е.В., Агабеков В.Е., Южик Л.И., Груша В.П., Марукович Е.И., Бевза В.Ф. Способ внепечной обработки железоуглеродистого сплава Пат РБ №24086 С01.

УДК 666.616; 552.11

Баранцева С.Е., Климош Ю.А.

(Белорусский государственный технологический университет)

Качанко Г.Б.

(ГП «НПЦ по геологии»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВ НОВОДВОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН И СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В результате проведенных геологоразведочных работ в 2023 г. выполнена детальная разведка Новодворского месторождения базальтов и туфов – первого и единственного месторождения данного сырья

в Республике Беларусь, выявленного в 2016–2017 гг. в Пинском районе Брестской области. При ее проведении использованы материалы предыдущих стадий изучения месторождения, в частности, поисково-оценочных работ 2016–2018 гг., предварительной разведки 2018–2020 гг., а также результаты НИР, проведенных Институтом природопользования НАН РБ и кафедрой технологии стекла и керамики Белорусского государственного технологического университета.

Основным объектом исследования являлись базальтовые породы и вулканические туфы вендской трапповой формации, представляющие промышленный интерес по своим качественным показателям и технологическим свойствам. Попутно изучались вскрышные пески четвертичного возраста для оценки их пригодности в строительных работах, дорожном строительстве и глауконитсодержащие породы палеогена – в качестве компонента сырьевых композиций силикатных материалов различного назначения.

Следует отметить, что симбиоз масштабных геологических изысканий, проведенных ГП «НПЦ по геологии» на месторождении при поисково-разведывательных работах и предварительной разведке; значительный объем теоретических, технологических и экспериментальных исследований, проведенных в течение ряда лет Белорусским государственным технологическим университетом; Пермским государственным национальным исследовательским университетом и компанией «Базальтовые волокна и композиционные материалы» (г. Буча, Украина), позволил подтвердить промышленное значение Новодворского месторождения.

Комплексное проведение экспериментально-технологических исследований вышеприведенными компетентными организациями позволило оценить месторождение Новодворское как рациональное и получить разнообразную независимую информацию о перспективности применения базальтовых пород для изготовления материалов широкого диапазона. Это минеральные волокна различных типов, стекла, стеклокристаллические материалы и каменное литье, керамические материалы строительного назначения, теплоизоляционные пористые материалы, сварочные флюсы и ряд других нетрадиционных изделий из базальтов и сырьевых композиций с их использованием.

По результатам детальной разведки установлено, что полезная толща базальтов в пределах месторождения залегает на глубинах от 46,0 в западной части месторождения до 59,7 м в крайней северо-восточной его части. Общая мощность полезного ископаемого (базальтов и туфов) изменяется от 34,3 до 55,6 м, в том числе базальтов (без промежуточного слоя туфов) от 7,6 до 30,8 м, промежуточного слоя туфов

от 1,5 до 8,9 м. Нижний слой туфов и туффитов установленной мощностью 8,4-37,4 м залегает на глубинах 61,5-91,8 м.

На ранее проведенных стадиях геологоразведочных работ выделено шесть геологических типов полезного ископаемого, которые по своим качественным характеристикам были объединены в три технологических типа сырья.

По результатам исследований трех технологических проб базальтов и туфов на стадии предварительной разведки Новодворского месторождения, была установлена их пригодность для:

- производства базальтовых штапельных волокон – базальтов технологической пробы ЛТ-1, представленной всеми разновидностями вскрытых базальтов (технологические типы сырья Т1+Т2), в пропорции их распространения в пределах месторождения 1:4;

- получения литых стеклокристаллических материалов при условии введения модифицированной добавки в количестве 5-20% для базальтов технологической пробы ЛТ-2, представленной всеми разновидностями вскрытых базальтов (технологические типы сырья Т1+Т2), в пропорции их распространения в пределах месторождения 1:4;

- для получения литых стеклокристаллических материалов при условии введения модифицированной добавки в количестве 20–30% для технологической пробы ЛТ-3, представленной всеми разновидностями вскрытых базальтовых пород и туфов (технологические типы сырья Т1+Т2+Т3), в пропорции их распространения в пределах месторождения 1:4:5.

На ЗАО «Жлобинский комбинат строительных материалов» проведено испытание валовой пробы базальта 1Б и получено супертонкое базальтовое волокно, что свидетельствует об аналогии критериальных технологических характеристик базальтового сырья Украины и пробы базальтов Новодворского месторождения.

Подтверждена перспективность использования белорусских базальтов в виде валовой составляющей для получения различных видов стеклокристаллических материалов, в том числе петроситаллов и каменного литья при их содержании в шихте до 75–80 мас.%; керамогранита (до 6 мас.% базальта взамен полевых шпатов); плиток для внутренней облицовки стен (до 15 мас.% базальта взамен гранитоидных отсеков), что обеспечивает их упрочнение после прессования и обжига, а также позволяет снизить толщину плитки и обеспечить значительный экономический эффект за счет экономии сырья при выполнении годовой производственной программы ее выпуска.

Пористый теплоизоляционный материал, полученный на основе базальтовой породы (до 80 мас.% в составе сырьевой композиции),

может использоваться многофункционально: в качестве заполнителя легких бетонов, для изготовления блоков «Термокомфорт» и как засыпочный материал для теплоизоляции стен, потолков и тепловых агрегатов.

На стадии детальной разведки в течение 2023 г. были продолжены технологические исследования базальтовых пород с целью определения пригодности базальтов двух технологических типов (Т1 и Т2) для производства базальтового волокна, как наиболее востребованной продукции для изготовления различных композитных материалов. Технологические испытания двух проб весом по 300 кг (ЛТ-1 и ЛТ-2) выполнены на заводе ООО «БелМинералГрупп» (г. Высокое, Брестская область). Впервые были расплавлены белорусские базальты и пропущены через фильеры для получения волокна. В процессе плавления было отмечено, что белорусский базальт подвержен более быстрой плавке относительно российского; получаемая непрерывная нить более качественная, чем нить из импортируемого базальта.

По полученным результатам детальных геологоразведочных работ на площади Новодворского месторождения базальтов и туфов подсчитаны по состоянию на 29 апреля 2023 г. и утверждены Комиссией Минприроды РБ запасы основных и попутных полезных ископаемых (таблица), пригодных для получения минеральных волокон и широкой линейки силикатных материалов различного назначения.

Таблица – Запасы основных и попутных полезных ископаемых Новодворского месторождения

Основные полезные ископаемые, тыс.т						Попутные полезные ископаемые (вскрышные породы)	
Всего запасов базальтов и туфов по блокам подсчета запасов	в том числе:					Пески	Глауконит-содержащие породы
	общие запасы базальтов технологических типов сырья Т1+Т2		запасы промежуточного слоя туфов Т3	запасы пласта туфов и туффитов Т3	Общие запасы тыс. м ³		
	общие запасы базальтов Т1+Т2	из них Т1					
В	16 613,64	10 403,19	4074,38	1 310,41	4 900,04	1 979	–
С ₁	75 331,18	44 093,07	15 761,56	6 742,14	24 495,97	15 137	22 605
В+С ₁	91 944,82	54 496,26	19 835,94	8 052,55	29 396,01	17 116	–
С ₂	68 425,14	31 590,67	1927,60	5 630,24	31 204,23	–	–
В+С ₁ +С ₂	160 369,96	86 086,93	21 763,54	13 682,79	60 600,24	–	–
Р ₁						13 285	20 001

Нижние туфы и туффиты сапонитсодержащие технологического типа ТЗ рекомендуется отнести к забалансовым – 29 396,01 тыс. тонн по категории В+С₁ и 31 204,23 тыс. т. по категории С₂, так как Министерство сельского хозяйства и продовольствия РБ не выразило заинтересованности в использовании туфов и туффитов в качестве удобрения и агроулучшителя. Поэтому в будущем необходимо проведение экспериментально-технологических исследований возможности применения туфов и туффитов для получения различных силикатных материалов, так как по химическому и минеральному составу они являются ценным кремнийсодержащим сырьевым компонентом.

По содержанию естественных радионуклидов как основные полезные ископаемые Новодворского месторождения (базальты и сапонитсодержащие туфы), так и попутные полезные ископаемые (вскрышные глауконитсодержащие алевролиты, пески и алевролиты) относятся к строительным материалам I класса и могут использоваться без ограничений.

Таким образом, выполненные работы по детальной разведке и практическому использованию отечественных полезных ископаемых Новодворского месторождения подтвердили его промышленную значимость, возможность и целесообразность промышленной отработки, так как вышеприведенные виды сырья имеют значительные перспективы использования во многих отраслях промышленности Республики Беларусь.

УДК 332.142.6

Неверов А. В., Геврасёва А. П.

(Белорусский государственный технологический университет)

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

При формировании будущего сценария человеческого развития является очевидным необходимость изменения мирового порядка на основе многополярного мира с общей ценностью согласованного развития стран и выработки соответствующей политической платформы. Экологическая глобализация составляет основу трансформации современного мира в направлении созидания, а не разрушения, определяя качественно новые магистральные пути человеческого развития на основе институциональных превосходств природного (экологического) фактора и его реального отражения в мировом и региональном развитии. Экологическая глобализация направлена на обеспечение постоянного сокращения деструктивной деятельности человека и реализацию интересов и целей устойчивого развития (ЦУР).

Борьба за жизненное пространство и владение природными ресурсами осуществляется на протяжении всей человеческой истории, «начиная от Великих географических открытий и кончая новыми формами неокOLONиализма» [1, с. 293]. В современных условиях ситуация усугубляется признаками глобального экологического кризиса, обусловленного потеплением климата и использованием углеродного топлива. И проблема здесь состоит в гигантских масштабах производства развитых стран, в экологическом перепроизводстве материальных благ.

Экологическое перепроизводство ведет к ущербу, который наносится не только окружающей среде, но и всему мировому сообществу в виде климатических изменений, подрыва ресурсной базы развития и, в конечном итоге, нарушению экологического равновесия на Земле.

Экологическое перепроизводство – это такой уровень производства валового внутреннего продукта (ВВП) на душу населения, превышение которого создает предпосылки нарушения глобального экологического равновесия. Этот уровень мирового ВВП на душу населения определился в начале 90–ых гг. XX в. и составлял 4333 долл. США [2]. Значение показателя выше данного уровня относится к экологическому перепроизводству, на величину которого уменьшается размер ВВП как экологически недопустимый.

Разумные экономические потребности имеют свои ограничения. Именно масштабы производства мирового продукта, в котором явно доминируют развитые страны, определяют границы экологического перепроизводства. В этих условиях мировое производство должно подчиняться норме, обеспечивающей глобальное экологическое равновесие. Выделение в проблеме устойчивого развития проблемы экономического роста может коренным образом (при наличии адекватного международного механизма и политической воли стран мирового сообщества) изменить вектор мирового развития в пользу ценностей справедливого мира.

Учитывая определяющую роль нормативного фактора в системе устойчивого развития, экологическую оценку экономического роста можно формализовать следующим образом:

$$K_{ур} = \frac{ВВП \times K_1 + (ВВП - ВВП \times K_1) \times K_2 \times K_3}{ВВП}$$

где $K_{ур}$ – экологический коэффициент экономического роста; ВВП – валовой внутренний продукт, ден. ед.; K_1 – доля зеленой (циркулярной) экономики в создании ВВП, в долях единицы; K_2 – коэффициент соотношения нормативного и фактического уровня ВВП на душу населения;

K_3 – коэффициент природоемкости экономического роста (рассчитывается как сумма материалоемкости и отходоемкости ВВП по формуле 1 – П, где П – природоемкость в долях единицы).

Приведенная формула имеет, прежде всего, методологическое значение. Ее идеология реализует интересы зеленой экономики и положение о том, что зеленый рост состоится в том случае, если природоемкость экономического роста будет снижаться темпами более высокими, чем темпы роста самой экономики.

Основное балансовое правило определяет ключевой принцип природопользования – нормативный [3, с. 50]. Нарушение данного принципа приводит к подрыву функционирования природного капитала, его экономических и экологических активов, обеспечивающих устойчивое развитие общества.

Соблюдение балансового правила требует не только сокращения производства (при нарушении нормативного принципа это делать необходимо), но и снижение материалоемкости и отходоемкости экономического роста.

Стратегическим направлением решения данной проблемы является циркулярная экономика, которая позволяет наращивать экономику, но в рамках замкнутого цикла, не влияя негативно на качество окружающей среды. Расширение же производства вне рамок циркулярной экономики приводит к дальнейшему усугублению климатической и в целом экологической проблемы. Экономический рост на основе производственного замкнутого цикла для развитых стран должен стать законом развития.

Циркулярная экономика действует на принципах ресурсоэффективности и экологической мотивации своего развития. Основой мотивации является инновационная продукция, на базе которой формируется своеобразная система рентных отношений, обуславливающая инновационную и экологическую ренты.

Развитие циркулярной экономики является тем идеалом, к которому должны стремиться страны. Понимание того, что экологическое перепроизводство для развитых стран представляет более актуальную задачу, чем для развивающихся, приводит к выводу, что и инструменты устойчивого развития следует дифференцировать.

Экологическая оценка устойчивого развития позволяет определить состояние экологической глобализации, ее временные характеристики. Она является тем инструментом, с помощью которого можно определить движение экономики в направлении устойчивого экономического роста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водопьянов, П. А. Стратегия бытия человечества: от апокалиптики к ноосферному веку / П. А. Водопьянов, В. С. Крисаченко. – Минск: Белорусская наука, 2018. – 306 с.
2. Валовой внутренний продукт СССР, 1970–1990 / Институт экономики и права Ивана Кушнера. – Режим доступа: <https://be5.biz/makroekonomika/gdp/su.html>. – Дата доступа: 01.08.2023.
3. Экономика природопользования: учебно-методическое пособие / А. В. Неверов [и др.]; под общ. ред. А. В. Неверова. – Минск: Колорград, 2016. – 400 с.

УДК 628.3:621.3

Войтов И.В., Смелов В.В., Дернович А.В.

(Белорусский государственный технологический университет)

Штепа В.Н.

(Полесский государственный университет)

О ЗАДАЧАХ ЦИФРОВИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ КОММУНАЛЬНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Существующие системы водоотведения (очистные сооружения являются их составной частью) в городах, районных центрах и больших промышленных предприятиях страны построены преимущественно по подходам к проектированию 70-х годов прошлого века. Соответственно, в настоящее время необходимо проведение их комплексной реконструкции и модернизации при ограниченных финансовых ресурсах, что требует максимальной детализации и адекватности технических заданий.

Систематизируя общегосударственную проблематику [1] в разрезе коммунально-промышленного водоотведения можно сказать, что значительное потребление ресурсов, стареющая инфраструктура, наличие биогенных элементов (часто новой природы происхождения), изменение климата, разветвлённые системы канализования сточной воды (СВ) приводят к необходимости внедрения более современных и комбинированных подходов к эффективному управлению системами водоотведения.

Одним из них является комплексное внедрение в отечественные водопроводно-канализационные хозяйства (ВКХ) технологий IoT (интернета вещей), виртуального представления реальных объектов, аппаратно-программных моделирующих решений на основе использования

искусственного интеллекта, распределённой и удалённой передачи информации – фактически, создания систем цифровых двойников (цифровых теней) технологических узлов водоотведения коммунальных и промышленных объектов.

Для проектирования концептуальной схемы соответствующей информационной системы контроля экологической безопасности целесообразно использовать методология IDEF0 – приёмы функционального моделирования и графической нотаций. Стандарт представляет организацию как набор модулей; описание выглядит как «чёрный ящик» с входами, выходами, управлением и механизмом, который постепенно детализируется до необходимого уровня. Описание методологии IDEF0 содержится в рекомендациях Р 50.1.028-2001 «Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования».

На основе технологического анализа [2, 3] выбраны следующие категории параметров (согласно терминологии IDEF0) (рис. 1):

- *входящие факторы* (данные поступают от измерительных средств и лабораторного анализа): качество сточных вод отдельных абонентов, качество сточных вод на входе в очистные сооружения, расход СВ, состояние оборудования;

- *управляющие факторы*: нормативные требования к абонентам и сбросу в природные водоёмы, стоимость ресурсов, паспортные характеристики оборудования;

- *механизмы*: технологическое оборудование водоотведения;

- *результаты*: экологическая безопасность и ресурсозатратность системы.

Оценка контекстной диаграммы (см. рис. 1) позволяет сформулировать, что целью внедрения технологий цифрового моделирования является повышение экономической эффективности и экологической безопасности функционирования систем водоотведения на различных жизненных циклах путём использования современных информационно-коммуникационных технологий на основе IoT (интернета вещей), аппаратно-программных моделирующих решений с внедрением искусственного интеллекта, распределённой и удалённой передачи информации, виртуального представления реальных объектов.

При этом для достижения такой цели необходимо решить следующие задачи (этапы выполнения реального проекта):

1. Провести системный анализ технологических узлов объектов систем водоотведения.

2. Разработать техническое задание на аппаратную и программную части создания цифровых двойников (цифровых теней) объектов водоотведения.

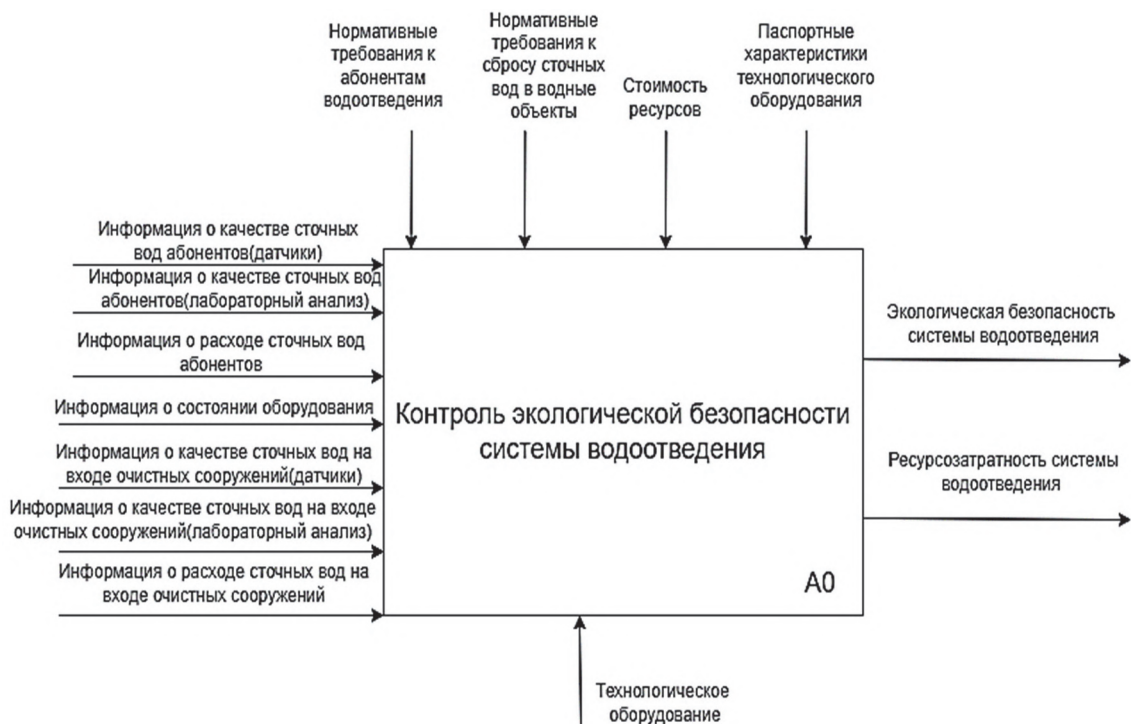


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма контроля экологической безопасности водоотведения

3. Построить объектно-ориентированные виртуальные и математические модели выбранных базовых технологических узлов систем водоотведения объектов.

4. Провести монтаж и пусконаладку автоматизированных аппаратно-программных комплексов сбора и анализа технологической информации для обеспечения связи физических объектов с виртуальными моделями на объектах.

5. Создать специализированное программное обеспечение для функционирования цифровых двойников (цифровых теней) выбранных базовых технологических узлов водоотведения с интеграцией математических решений в виртуальные модели.

6. Реализовать качественное коммуникационное взаимодействие и сервис между физическими объектами и виртуальными моделями.

7. Выполнить расширенную аналитическую обработку для получения информации из набора данных о параметрах процессов технологических узлов систем водоотведения, включая с использованием математического аппарата искусственного интеллекта.

8. Параметризовать математические и компьютерные модели; обеспечить их адаптацию в режиме реального времени практическим задачам на основе информации из созданных специализированных баз данных водоотведения объектов водоотведения.

9. Реализовать комплексное внедрение цифровых моделей на объектах водоотведения с построением цифровых экосистем и баз знаний.

При этом внедрение цифровых моделей водоотведения позволит коммунально-промышленным предприятиям:

- улучшить эффективность управление системой водоотведения, включая повышение ресурсо- и энергоэффективности технологических процессов;

- улучшить экологическую безопасность, включая оптимизацию функционирования очистных сооружений;

- качественно планировать операции по техническому обслуживанию и ремонту агрегатов, оборудования и других составляющих элементов систем водоотведения;

- обеспечить раннее реагирование на потенциальные чрезвычайные ситуации техногенного характера, например, в случаи попадания залповых концентраций загрязнителей на очистные сооружения;

- системно практико-ориентированно обучать персонал современным цифровым решениям;

- существенно адекватней формировать технические задания на строительство новых и/или реконструкцию (модернизация) существующих элементов систем водоотведения.

Отдельно необходимо отметить, что полученные программно-аппаратные результаты масштабного внедрения цифровых моделей (базы знаний и данных, программное обеспечение, аппаратные комплексы) станут крайне востребованными импортозамещающими информационными продуктами для объектов критической инфраструктуры ВКХ Республики Беларусь. Также они являются экспортно-ориентированной продукцией в связи с тем, что решения-аналоги, представленные на мировом рынке, имеют или более низкий функционал или очень значительную стоимость. При этом согласно прогнозов «Navigant Research», мировой рынок «умных» сетей водоотведения ждет рост годового оборота с 1,1 млрд. долларов США в 2013 году до более, чем 4 млрд. долларов США в 2024 году, что свидетельствует о его ненасыщенности прежде всего аналитическими продуктовыми решениями.

Заключение. Ключевой задачей внедрения цифрового моделирования водоотведения коммунально-промышленных объектов выступает построение единого информационного пространства транспортировки (трансформации) водных ресурсов от точки локального отведения до сброса в геоэкосистемы. Перспективным направлением дальнейших исследований является синтез методологии преодоления проблемы формирования репрезентативных и адекватных наборов данных для создания соответствующих математических и компьютерных моделей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войтов, И. В. Совершенствование очистных сооружений канализации в контексте экономики замкнутого цикла / И. В. Войтов, В. Н. Марцунь // Природопользование и экологические риски : материалы науч.-практ. конф., Минск, 5 июня 2019 г. – Минск: БГТУ, 2019. – С. 304-310.
2. Штепа, В.Н. Структура и функционал интеллектуальной системы поддержки принятий решений в водоотведении / В.Н. Штепа // Информатика и кибернетика: научный журнал. – 2022. – №3 (29). – С. 51–57.
3. Штепа, В.Н. Обоснование и схемы использования ранжирующих измерительных систем экологического мониторинга и интеллектуального анализа режимов водоотведения / В.Н. Штепа, Н.Ю. Золотых, С.Ю. Киреев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки: научный журнал. – 2023. – № 1. – С. 94–103.

УДК 628.258

Морозов Н.А.
(РТУ МИРЭА)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ В ВОДООЧИСТКЕ

Большинство российских станций водоочистки, использующие «традиционные» технологии обработки воды и построенные в прошлом столетии, не могут обеспечивать качественную очистку, т.к. не рассчитаны на сегодняшние объёмы потребления воды и на повышенные требования к её качеству, которые к ней предъявляются в настоящее время. Для решения данной проблемы необходимо применять современные и эффективные методы обработки воды, одним из которых является метод озонирования [1].

Метод озонирования – это технология обработки воды озоном, которая позволяет достигать санитарно-эпидемиологических требований, предъявляемых к сточным водам, прошедших очистку. Дозой озона является весовое количество озона в одном м³ воды.

Необходимая для качественного обеззараживания воды доза озона является нормативным и одним из основных параметров процесса озонирования, именно поэтому его регулирование мы считаем основной задачей системы управления.

Большинство европейских станций водоочистки работают на озоне, который синтезируют из кислорода, в России же синтез осуществляется из кислорода воздуха. Расход воздуха – это тот параметр, который существенно влияет на количество получаемого озона, которое на следующем этапе необходимо подавать в контактный бассейн для снижения ХПК до требований, определяемыми САНПином. Поэтому, при построении алгоритма управления, объём контактного бассейна считаем величиной переменной.

Озонаторный комплекс состоит из блока подготовки сухого воздуха, который подаётся в генератор озона в промежутки между электродами, находящиеся под высоким напряжением. Важно при этом грамотно подобрать диэлектрическую проницаемость разрядного промежутка и напряжение. Эту задачу успешно решили ООО «Московские озонаторы» [2].

При описанных условиях в генераторе озона под действием электрического разряда происходит расщепление молекулы кислорода, с образованием радикала O^{\cdot} , который атакует молекулу кислорода с образованием озона.

К основным недостаткам относятся: низкое содержание озона в смеси и большая стоимость оборудования с большей производительностью. Что бы оптимизировать эти показатели было решено применить нечёткое управление блоком подачи воздуха.

Вследствие того, что расход обрабатываемой воды непрерывно меняется в течение всего дня, производительность оборудования по производству озона также будет изменяться, в зависимости от расхода, для поддержания именно того количества озона, которое необходимо в данный момент времени для обработки воды. Из выше сказанного можно сделать вывод о том, что алгоритм управления расходом воздуха должен учитывать все величины, которые непрерывно меняются при обработке воды озоном [3].

Цель работы: модифицировать алгоритм для поддержания заданной дозы озона в контактных бассейнах, построенный на нечёткой логике, а следовательно, более приспособленный к колебаниям расхода и учитывающий накопленные знания экспертов, проработавших на данном модуле не один десяток лет.

Для получения математической модели алгоритма нечёткого управления вводились базовые терм-множества входных и выходных лингвистических переменных.

Всё пространство переменных, необходимых для функционирования нечёткого алгоритма управления для каждого бассейна, было разбито на несколько векторов [3]:

Вектор параметров состояний, $x (P_{j1}, F_j, W_j, T_{j1}, C_j)$, компонентами которого являлись следующие параметры:

- P_{j1} – давление воздуха на входе в j -ый модуль;
- F_j – расход воздуха на входе в j -ый модуль;
- W_j – влажность воздуха на входе в j -ый модуль;
- T_{j1} – температура воздуха на входе в j -ый модуль;
- C_j – концентрация озона на выходе из j -ого модуля [3].

Вектор управляющих воздействий, $u(t_j^i)$, компонентами которого являлись следующие параметры:

- t_j^i – электрическая мощность источника питания: « i -ой» сборки электродов в j -ом модуле озонирования [3].

Вектор выходных (наблюдаемых) переменных, $y(P_{j2}, T_{j2}, T_{j3}, T_{j4})$, компонентами которого являлись следующие параметры:

- P_{j2} – давление воды в контуре охлаждения на входе в j -ый модуль;
- T_{j2} – температура озono-воздушной смеси на выходе из j -ого модуля;
- T_{j3} – температура воды на входе в j -ый модуль;
- T_{j4} – температура воды на выходе из j -ого модуля [3].

Причём вышеуказанные векторы управляющих воздействий и состояний можно сгруппировать следующим образом в систему уравнений [4]:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax(t) + Bu(t) + Gr(t) \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) \end{cases}$$

Где матрицы $A [5 \times 5]$, $B [5 \times 4]$, $G [5, 4]$, $C [4 \times 5]$, $D [4 \times 4]$, которые определяются на основе параметров математической модели процесса поддержания номинальной концентрации озона в потоке озono-воздушной смеси для каждого модуля [4].

Для синтеза алгоритма нечёткого управления процессом поддержания концентрации озона в тракте озono-воздушной смеси вводились входные лингвистические переменные β_{Xi}^j , характеризующие состояние процесса, и выходные β_{Ui}^j , являющиеся управляющими воздействиями [4].

Входные и выходные лингвистические переменные [4]:

$$\beta_{Xi}^j = \{P_{j1}, F_j, c, T_{j1}, C_j\}$$

$$\beta_{Ui}^j = \{t_j^i\}$$

На рис. 1 представлена созданная для станции водоподготовки АО «Мосводоканал» г. Москвы (проектировщик ООО «Московские озонаторы») мнемосхема управления участком синтеза озона [3].

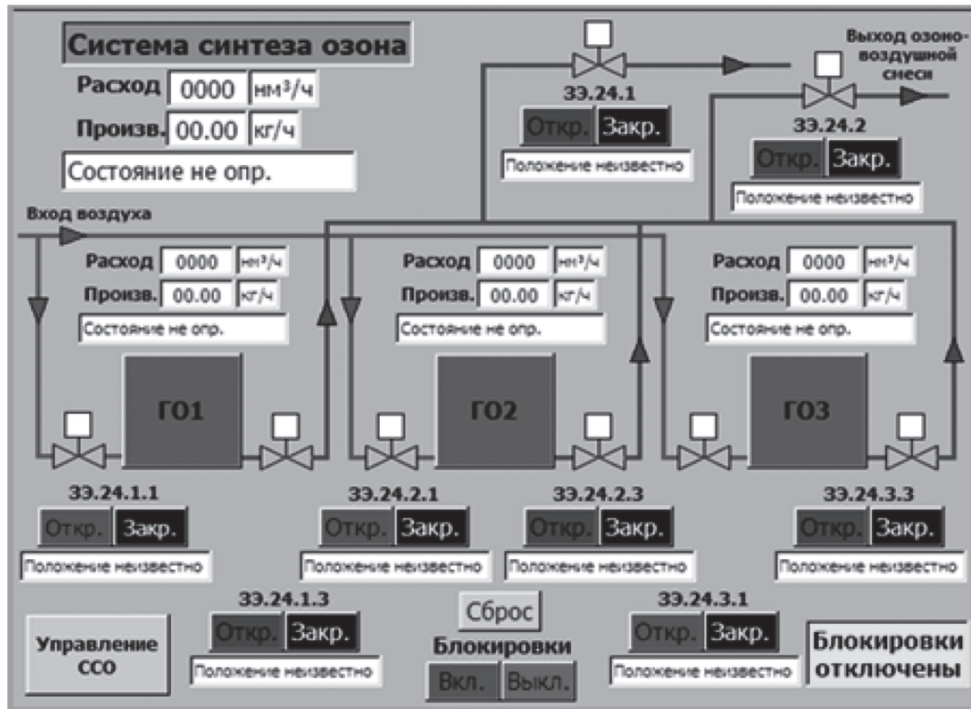


Рисунок 1 – Мнемосхема системы управления МГО [3]

Информация, представленная на мнемосхеме, архивируется в журнал событий.

На рис. 2 представлена выборка из журнала параметрической информации следующих параметров: расхода озono-воздушной смеси через генератор озона и общая электрическая мощность, потребляемая одним озонатором [3].

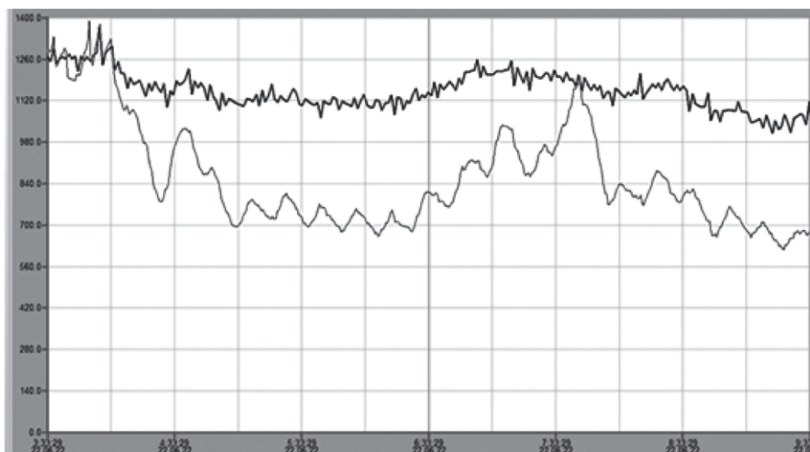


Рисунок 2 – Временные диаграммы параметров модуля генерации озона: расход озono-воздушной смеси через генератор озона, м³/час – полужирная линия; мощность отдельной сборки электродов, проценты – тонкая линия (вся шкала – 100 %) [3]

Для поддержания концентрации озона на заданном уровне, применялась АСУ системы синтеза озона, работающая на алгоритме нечёткой логики, которая меняла мощность, подаваемую на генератор озона [3].

При этом на рис. 3 можно видеть то, что концентрация озона поддерживалась на заданном уровне с весьма небольшими отклонениями и высокой точностью [3].

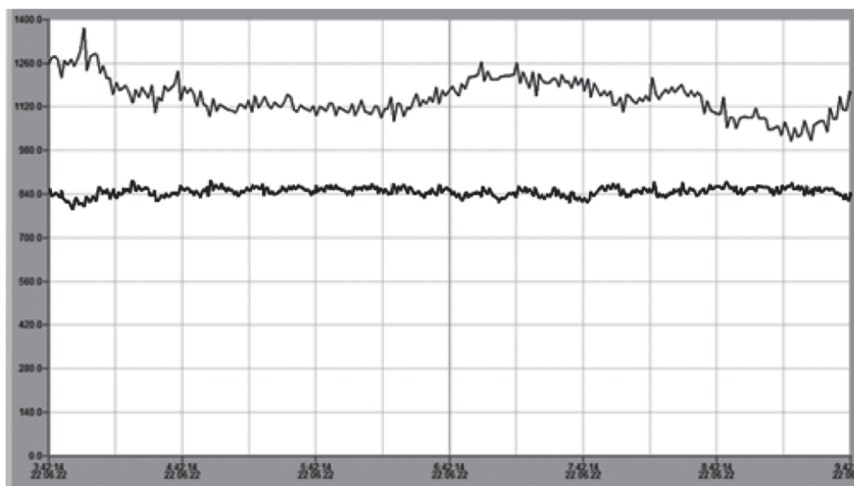


Рисунок 3 – Диаграммы параметров модуля генерации озона: расход озono-воздушной смеси через генератор озона, м³/час – полужирная линия; концентрация озона на выходе из модуля генератора озона – тонкая линия (вся шкала – 20 г/м³) [3]

ЛИТЕРАТУРА

1. Корса-Вавилова Е.В., Науменко Э.В., Шмелев А.Я., Макеев А.Е. Экспериментальные исследования влияния озонирования на процесс водоподготовки, *Chemical Bulletin*, том 6 №1, 2023, с.30-40
2. Патент № 2446093 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. устройство для генерирования озона: № 2010136167/05: заявл. 01.09.2010: опубл. 27.03.2012 / Е. В. Корса-Вавилова, Н. И. Пуресев, Е. А. Гордеева [и др.]; заявитель Закрытое акционерное общество "Московские озонаторы".
3. Корса-Вавилова Е.В., Науменко Э.В., Гибалов В.И., Божко В.И. Шмелёв А.Я. Управление дозой озона и его концентрацией в процессе водоподготовки, *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики, серия «Технические науки»*, №7, 2023, с.84-91
4. Корса-Вавилова Е.В., Науменко Э.В., Шмелёв А.Я., Гибалов В.И., Божко В.И., Алгоритм нечёткой логики управления дозой озонирования воды на водопроводных станциях, *Вестник Санкт-Петербургского университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки*, 2022, №1, с. 130–134.

ПРИМЕНЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ АРТЕЗИАНСКИХ ВОД ДЛЯ НУЖД ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Нефтегазохимическая отрасль является одним из наиболее развитых направлений тяжелой промышленности. Она охватывает изготовление синтетических материалов и изделий, которые основаны на переработке нефти и природных горючих газов. Продукция, выпускаемая в данной индустрии востребован практически во всех сферах жизни любого государства. Благодаря ей обеспечивается полноценная работа сельского хозяйства, строительства, фармацевтики, электроники, отраслях пищевой, легкой и тяжелой промышленности.

Источником водоснабжения предприятий нефтехимического комплекса могут быть как поверхностные, так и подземные воды. Каждый из источников требует свой подход к подготовке воды. Не редко в качестве источника водоснабжения применяются артезианские воды. Подземные воды хорошо защищены от загрязнений в том числе и антропогенных. В сравнении с поверхностными, и они мало подвержены сезонным колебаниям.

Наиболее распространенными показателями, требующими снижения, являются повышенное содержание растворенных железа и марганца. В зависимости от назначения может потребоваться вода с низким содержанием солей жесткости или и вовсе деионизированная. Для сокращения эксплуатационных затрат и повышения надежности и эффективности оборудования ионообменных или мембранных технологий для глубокой обработки воды рекомендуется предварительное удаление из воды железа и марганца.

В последнее время все чаще встречаются подземные воды, где помимо высоких концентраций железа и марганца могут быть высокие концентрации аммиака и перманганатной окисляемости. Не редко такие воды характеризуются и повышенной цветностью. При высоких показателях концентраций аммиака, цветности и перманганатной окисляемости в значительной степени усложняется технологическая схема и состав оборудования, которые необходимы для обеспечения предприятий водой требуемого качества. Это в свою очередь повышает капитальные и эксплуатационные затраты.

На сегодняшний день разработано и внедрено в эксплуатацию широкий спектр технологий очистки подземных вод [1, 2] от соединений железа и марганца. Далеко не все могут обеспечивать требуемую степень очистки в условиях попутного наличия высоких концентраций аммиака и перманганатной окисляемости, обеспечить низкие эксплуатационные затраты, высокую эффективность и надежность.

Одним из перспективных направлений по очистке сложных по составу вод являются биохимические технологии удаления железа и марганца [3]. Как показывает многолетний опыт разработки и запуска объектов водоподготовки с применением технологий биохимической очистки подземных вод от железа и марганца обеспечивается минимальные эксплуатационные затраты в сравнении с альтернативными методами. Обеспечивается это за счет низкого удельного энергопотребления и малой потребности в воде на собственные нужды, отсутствия необходимости в химических реагентах.

Учитывая состав исходной воды, все возможные факторы и риски при реализации станций водоподготовки для обработки сложных по составу подземных вод очень важно уделить должное внимание технологическим изысканиям непосредственно у источника водоснабжения. Важно опробовать несколько возможных вариантов технологических схем для возможного сравнительного анализа эксплуатационных затрат.

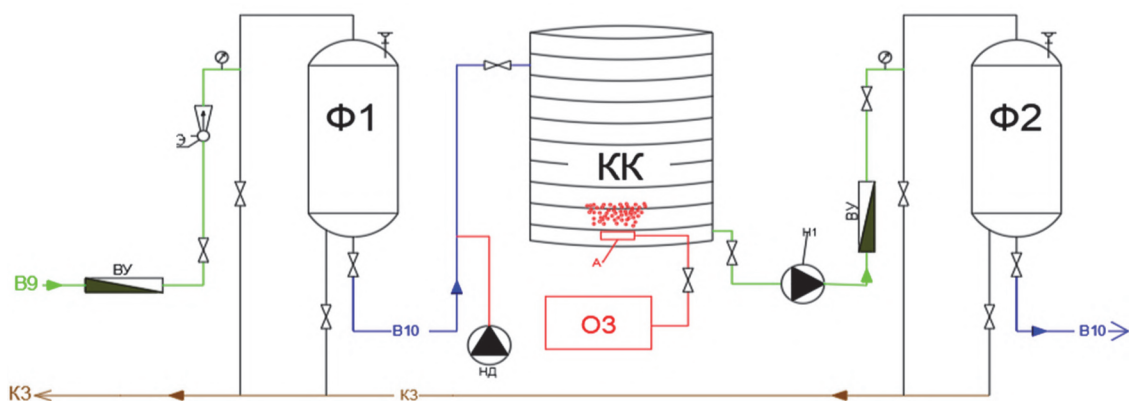
Авторами проведены технологические изыскания на источнике водоснабжения со значительными превышениями по железу, марганцу, аммиаку, перманганатной окисляемости и цветности (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Химический состав воды в источнике

Fe _{общ} , мг/л	Mn _{общ} , мг/л	pH	Цветность град	Окисл. перм. мг O ₂ /л	NH ₄ , мг/л
15–17	02–04	6,1–6,6	до 40	5,4–9,6	до 2,2

Для проведения технологических изысканий была изготовлена пилотная установка с 2-х ступенчатой схемой очистки с применением напорных фильтров (см. рисунок 1).

На первой ступени применялся биологический метод обезжелезивания и деманганации, вторая ступень рассчитывалась для доочистки от остаточных концентраций марганца, аммиака и окисляемости. В результате исследований биохимический метод показал высокую эффективность и стабильность очистки по показателям железо менее, аммиак, перманганатная окисляемость менее, эффективность снижения по марганцу составляла 20-40%.



- Н1 - повысительный насос для подачи воды на доочистку
 Э - эжектор
 Φ1 - фильтр напорный 1-й ступени
 Φ2 - фильтр напорный 2-й ступени
 КК - контактная камера
 ОЗ - озонатор
 А - аэратор
 НД - насос дозатор щелочи
- В9 - подача исходной воды
 В10 - отвод очищенной воды
 КЗ - сброс промывной воды
 ВУ - водомерный узел

Рисунок 1 – Технологическая схема технологической установки

Таблица 2 – Химический состав очищенной воды

	Fe _{общ} , мг/л	Mn _{общ} , мг/л	pH	Цветность град	Окисл. перм. мгО ₂ /л	NH ₄ , мг/л
после 1-й ст.	< 0,1	0,15–0,25	5,1	7–10	2,0–2,2	0,5
после 2-й ст.	< 0,1	< 0,1	6,5–7,0	5–6	1,6–2,0	–

Для доочистки от марганца применялась вторая ступень с угольной загрузкой. Первоначально применялся озон в качестве окислителя, который показал высокую эффективность доочистки от остаточных концентраций марганца до показателей менее 0,05 мг/дм³. Далее в качестве альтернативного варианта проводились испытания с подщелачиванием воды после первой ступени без озонирования для интенсификации процессов окисления марганца кислородом воздуха. Данный вариант так же показал высокую эффективность доочистки при достижении значений pH 7,3–7,6 ед концентрация марганца снижалась до значений менее 0,05 мг/дм³.

Несмотря на то, что оба варианта доочистки воды показали высокую эффективность все же наиболее низкие эксплуатационные затраты будут при применении щелочного реагента. Применение озона имеет ряд существенных недостатков такие как высокая стоимость генератора озона, высокие энергозатраты, необходимо применение материалов в оборудовании стойких к озону.

Технологическая схема с применением биохимического метода обезжелезивания и деманганации обеспечила фильтроцикл первой ступени до 5 суток, фильтроцикл второй ступени очистки составляет не менее

7 суток. Расход воды на собственные нужды составляет не более 1% от производительности установки.

Практически во всех химических производствах используется вода для различных технологических целей. Подача воды на отдельные химические предприятия может сравниться даже с водопотреблением крупного города. Вода применяется в качестве сырья для изготовления химической продукции, в системах охлаждения и конденсации, приготовления различных растворов и эмульсий, в теплосиловых установках для получения пара и т. д. Качество воды, поступающей на технологические нужды в нефтехимии, оказывает существенное влияние на надежность и срок службы технологического оборудования и качество получаемой продукции. По этой причине использование биохимических технологий подготовки артезианских вод могут значительно снизить себестоимость водоснабжения промышленного предприятия и положительно сказаться на конечной стоимости выпускаемой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: ДеЛи, 2004. 328 с.
2. Михневич Э. И. Пропольский Д. Э. Анализ методов обезжелезивания воды и условия их применения // Мелиорация. 2017. № 2. С. 59 – 65.
3. Седлухо Ю.П., Иванов С.А., Еловик В.Л. Биологическая очистка подземных вод от железа, марганца и сероводорода – опыт Беларуси // Вода Magazine – 2016, №7(107) – С. 10–15.

УДК 330.342.44

Войтов И.В., Марцуль В.Н., Яцук А.В.

(Белорусский государственный технологический университет)

Хатько А.Н.

(Белорусский государственный колледж промышленности строительных материалов)

Булак А.А.

(ГУО «Республиканский центр государственной экологической экспертизы, подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров»)

РЕЦИКЛИНГ ОТХОДОВ – ВАЖНЕЙШЕЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ (ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА)

В период промышленного и научно-технического развития потребность в материально-сырьевых ресурсах возросла на два порядка за

счёт увеличения потребления и быстрого прироста населения. В настоящее время на каждого человека добывают и выращивают около 20 тонн сырья, которое с помощью энергетической мощности $2,5 \times 10^6$ Вт и 800 тонн воды перерабатывается в продукцию массой около 2 тонн, идущую на прямое потребление. При этом полезный выход продукции составляет только 10%. Из 2-х тонн конечного продукта выбрасывается еще не менее 1 тонны в отходы.

Существующие опасные глобальные тенденции вызывающие прогрессирующее истощение мировых ресурсов и деградацию природной среды неоднократно обсуждались на различных всемирных форумах, где анализировались и вопросы необходимости ресурсосбережения и использования отходов.



Рисунок 1 – Принципы интегрированной системы управления отходами

Проблема отходов, в настоящее время, остро стоит во всех странах мира. Ежегодно количество отходов в расчете на одного человека увеличивается примерно на 1–4 %, а по массе – на 0,2–0,4 %. На международном экономическом форуме в Санкт Петербурге (июнь 2022 г.), в выступлениях руководителей стран, обозначен курс на развитие циркулярной экономики (экономики замкнутого цикла). Наш Президент неоднократно обращал внимание на активизацию работы по использованию отходов. Развитие циркулярной экономики предусматривает ПСМ РБ от 10.12. 2021 г. N 710 - Национальный План действий на 2021–2025 годы.

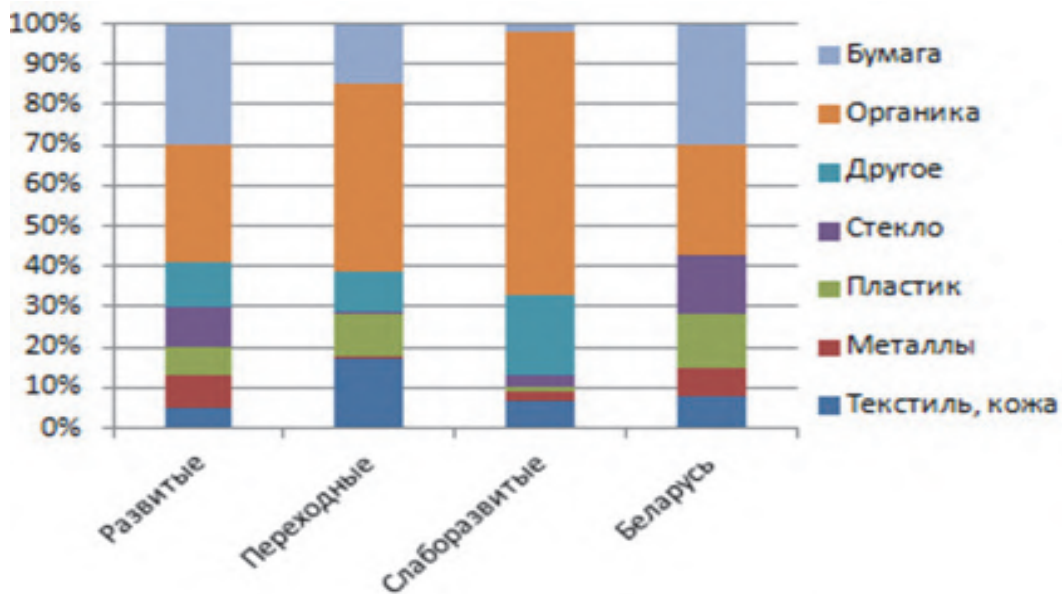


Рисунок 2 – Морфологический состав ТКО, образующихся в странах с различными экономическими условиями

В республике ежегодно образуется свыше 62,2 млн. тонн отходов. Из общего объема наиболее значительный объем образования крупнотоннажных отходов: галитовых отходов и шламов галитовых глинисто-солевых – около 42,28 млн. тонн; фосфогипса – 918,13 тыс. тонн. По сравнению с предыдущим годом увеличение объема образования отходов составило 1,7 %.



Полигоны - около 70 %

Переработка – около 30%



Рисунок 3 – Соотношение объемов захоронения и использования ТКО

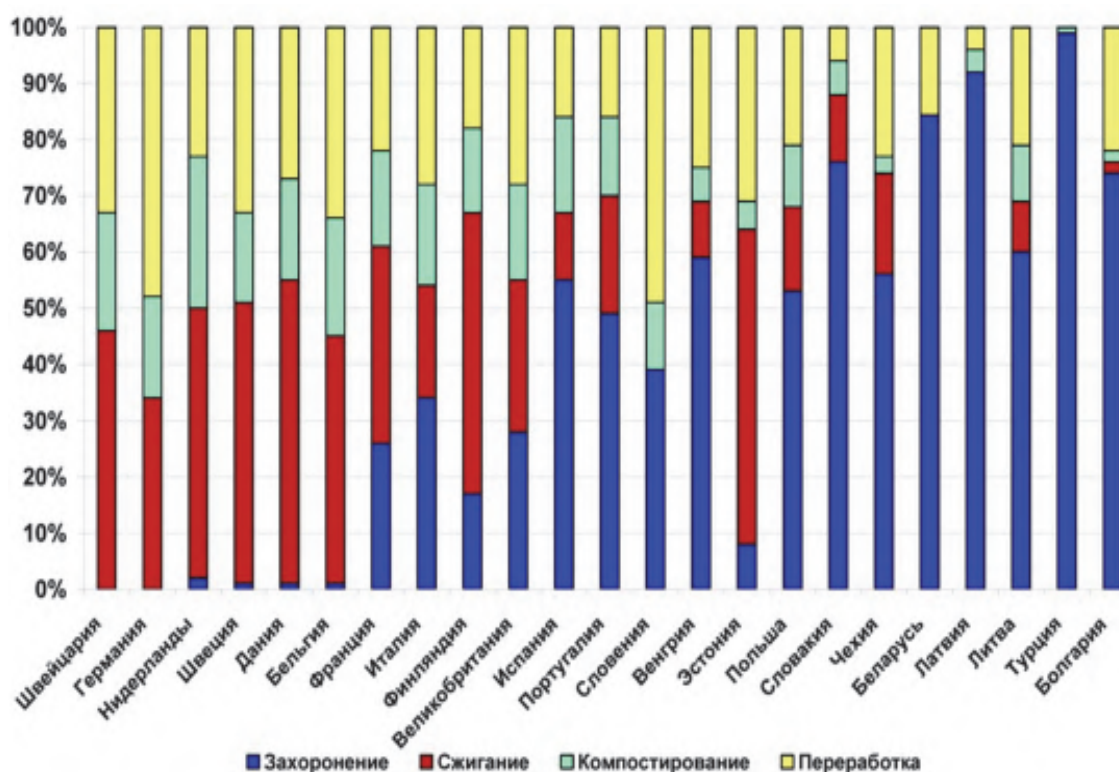


Рисунок 4 – Уровень использования и захоронения ТКО в других странах

Образование отходов производства на территории Беларуси неравномерно: без учета галитовых отходов, глинисто-солевых шламов и фосфогипса 24,4 % отходов образуется на предприятиях, расположенных в Минской области; 18,3 % – в Могилевской; 14,3 % – в г. Минске; 13,3 % – в Гомельской; 13,3 % – в Гродненской; 11,9 % – в Брестской; 4,6 % – в Витебской области. В 2021 году более 127 тыс. тонн отходов производства было обезврежено, порядка 750 тыс. тонн направлено на объекты захоронения отходов. Объем накопленных отходов на объектах хранения предприятий увеличился за 2021 год на 3,2 % и составил на конец года свыше 1327,7 млн. тонн, из них отходов 1 – 4 класса опасности – 1316,508 млн. тонн.

Циркулярная экономика предполагает, в первую очередь, использование всех видов отходов, совершенствование технологий и уменьшение образования отходов, рациональное использование природных и технических ресурсов, для получения товаров, сырья, энергии. Суть новой экономики в том, что все должно максимально эффективно использоваться, подвергаться переработке на основе научных разработок, иметь инновационную (экономическую, экологическую) направленность.



Рисунок 5 – Состояние рынка циркулярной экономики в Республике Беларусь

Циркулярная экономика способна положительно повлиять и на социальную сферу, обеспечивая новые рабочие места, снижение экологических угроз, обеспечивая устойчивое развитие и уверенность в будущем.

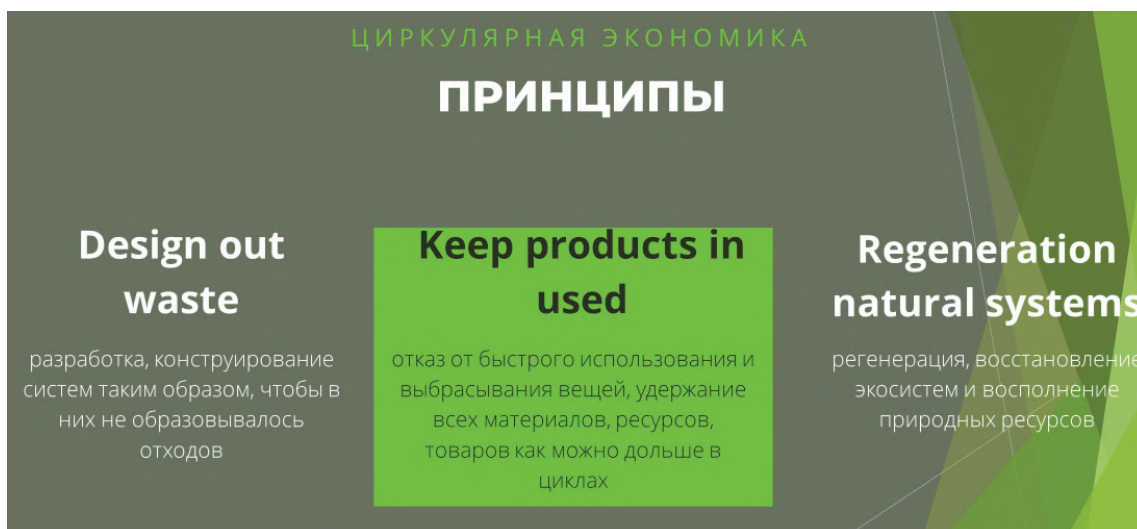


Рисунок 6 – Принципы циркулярной экономики

Наш опыт работы на межотраслевой хозрасчетной выставке новых технологий по использованию отходов («Биржи отходов») показал, что на многие виды отходов уже имеются технологические и технические решения по их полному рециклингу. Например: отошители из отходов могут сэкономить 150 долл./на тонне продукции совсем в другой

отрасли; отходы реактопластмасс – в качестве пластификаторов (экономия около 200 долл.); различные батарейки можно использовать в качестве обогащенной руды в металлургических процессах; отходы травления полимерных пластин можно использовать в качестве модификаторов (экономия около 300 долл. на тонне продукции; лузгу риса, как чистейшее кремнеземистое сырьё можно использовать в производстве высококачественного фарфора и т.д. При этом вторичное использование отходов может являться импортозамещением некоторых ресурсов.

В процессе работы с отходами необходимо учитывать и то, что структура материала в процессе рециклинга деградирует при многократном использовании вторичных ресурсов. Например, волокна макулатуры после 5 – 7 циклов рециклинга при дальнейшем использовании не могут обеспечить получение качественного картона в силу деградации и при их использовании попадут на очистные сооружения. Их дальнейшее применение возможно в изделиях на основе вяжущих материалов, получения РДФ топлива или газификации. Автоматическая сортировка стеклобоя на бесцветный, коричневый, зелёный, без учета температуры пластификации увеличивает брак при производстве стекла, снижается качество стеклотары, при этом уменьшаются добавки стеклобоя в шихту, увеличивая себестоимость продукции и т.д.

Дальнейшее развитие системы использования отходов на принципах циркулярной экономики проводятся в следующих направлениях:

- свойства отходов и идентификация отходов с аналогами и прототипами, международный опыт использования отходов;
- разработка бизнес – модели и программы по совершенствованию технологий образования и использованию отходов;
- создание межотраслевого хозрасчетного Центра циркулярной экономики и постоянно действующей выставки новых технологий по использованию отходов («Биржи отходов»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Яцук А.В. «Как из мусора добыть деньги». Финансы учет и аудит. Учредители Министерство Финансов РБ, БГЭУ, БГУ. №12 декабрь 2019 г.
2. Бородуля В.А. Яцук А.В. «Твердые коммунальные отходы как источник альтернативного сырья и топлива». НАН Беларуси. Сборник научных трудов. Выпуск 3. 2018 г.
3. Яцук А.В. «Сколько денег «зарываем» в землю». Финансы учет и аудит. Министерство Финансов РБ, БГЭУ, БГУ. №10 октябрь 2015 г.
4. Патент. Способ извлечения фосфора из осадков сооружений биологической очистки сточных вод: пат. 21502 Респ. Беларусь, МПК

С 02 F 1/28 (2006.01)/, С 02 F 1/58 (2006.01)/ В.Н. Марцуль, Е.Г. Сапон, А.И. Панковец; заявитель БГТУ. – № а 20140635; заявл. 25.11.2014; опубл. 30.12.2017.// Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 6 (119). – С. 67.

5. Войтов И.В., Марцуль В.Н. Совершенствование очистных сооружений канализации в контексте экономики замкнутого цикла. Материалы научно-практической конференции «Природопользование и экологические риски», 5 июня 2019 г. – Минск: БГТУ, 2019. С. 304–310.

6. Марцуль В.Н. Сравнение вариантов обращения с осадками очистных сооружений канализации на основе анализа жизненного цикла. – Современные тенденции в развитии водоснабжения и водоотведения: материалы Междунар. конф., посвященной 145-летию УП «Минскводоканал». Минск, 13–14 февраля 2019 г. – Минск: БГТУ, 2019. – Ч. 2, с. 201–204.

УДК 678

Войтов И.В.

(Белорусский государственный технологический университет)

Булак А.А.

(ГУО «Республиканский центр государственной экологической экспертизы, подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров»)

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ
НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ**

Для производств по переработке нефти, попутного нефтяного и природного газа (далее – объекты переработки нефти и газа) согласно пункту 62 Приложения 1 к специфическим санитарно-эпидемиологическим требованиям к установлению санитарно-защитных зон объектов, являющихся объектами воздействия на здоровье человека и окружающую среду, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 11.12.2019 № 847 (далее – санитарно-эпидемиологические требования № 847), базовый размер санитарно-защитной зоны (СЗЗ) установлен в размере 1000 метров.

Под базовым размером СЗЗ понимается размер санитарно-защитной зоны, обеспечивающий достаточный уровень безопасности для здоровья населения от вредного химического, биологического, физического воздействия объектов, эксплуатируемых,

проектируемых, вновь возводимых зданий, сооружений и иных объектов, являющихся объектами воздействия на здоровье человека и окружающую среду (пункт 6 санитарно-эпидемиологических требований № 847).

Подпунктом 1.1 пункта 1 статьи 7 Закона Республики Беларусь от 18 июля 2016 г. № 399-З «О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду» (далее – Закон о государственной экологической экспертизе) установлено, что объектами, для которых проводится оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС), являются объекты, у которых базовый размер санитарно-защитной зоны составляет 300 метров и более.

При проведении ОВОС по объектам переработки нефти и газа при разработке предпроектной (предынвестиционной), проектной документации необходимо определить возможное воздействие на окружающую среду при реализации проектных решений, предполагаемых изменениях окружающей среды, прогнозирование ее состояния в будущем в целях принятия решения о возможности или невозможности реализации проектных решений, а также определить необходимые мероприятия по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов.

Обязательные для соблюдения правила проведения ОВОС установлены экологическими нормами и правилами ЭкоНиП 17.02.06-001-2021 «Охрана окружающей среды и природопользование. Правила проведения оценки воздействия на окружающую среду», утвержденными постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 31 декабря 2021 г. № 19-Т (далее - ЭкоНиП 17.02.06-001-2021).

Проведение ОВОС осуществляется с учетом детальной оценки существующего состояния окружающей среды и прогноза возможного ее изменения при осуществлении строительной деятельности, эксплуатации, выводе из эксплуатации объекта, а также в результате вероятных чрезвычайных и запроектных аварийных ситуаций, в том числе на территории затрагиваемых сторон в случае возможного трансграничного воздействия.

При изучении существующего состояния окружающей среды, социально-экономических и иных условий (далее – существующее состояние окружающей среды и иных условий) при

проведении ОВОС по объектам переработки нефти и газа оценке подлежат:

атмосферный воздух, включая климат и метеорологические условия;

поверхностные водные объекты и подземные воды;

недра (в том числе геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические и иные условия);

земельные ресурсы;

растительный мир;

животный мир;

природные комплексы и природные объекты;

физическое воздействие, включая радиационное, тепловое, электромагнитное воздействие, уровни шума, вибрации;

обращение с отходами;

социально-экономические и иные условия.

ЭкоНиП 17.02.06-001-2021 содержит исчерпывающий перечень источников информации (сведений), на основании которых проводится оценка существующего состояния окружающей среды и иных условий, позволяющий всесторонне, полно и объективно изучить такое состояние.

Так, источниками сведений по существующему уровню загрязнения атмосферного воздуха при планировании деятельности по объектам переработки нефти и газа являются:

значения фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и метеорологических характеристиках и коэффициентах, определяющих условия рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе;

данные мониторинга атмосферного воздуха Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь;

данные локального мониторинга;

данные государственного кадастра атмосферного воздуха;

гидрометеорологическая информация, предоставляемая в соответствии с законодательством о гидрометеорологической деятельности.

По результатам проведенных оценок существующего состояния окружающей среды и иных условий при проведении ОВОС по объектам переработки нефти и газа осуществляется прогноз и оценка изменения состояния окружающей среды, в зависимости от

воздействия на компоненты окружающей среды планируемой деятельности. При этом, прогноз и оценка изменения состояния окружающей среды определяется при максимально возможной загрузке технологического оборудования в соответствии с проектной мощностью с учетом режима работы и протекания технологических процессов, в том числе связанных с производством переработки нефти и газа.

Например, прогноз и оценка изменения состояния окружающей среды по объектам переработки нефти и газа, которые связаны с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух, включая климат, определяются на основании:

планируемых (проектируемых и реконструируемых) технологических процессов, технологического и иного оборудования, являющихся источниками выделений и источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, в том числе стационарных организованных и неорганизованных, мобильных источников выбросов;

перечня загрязняющих веществ, которые могут выбрасываться в атмосферный воздух в ходе планируемых технологических процессов и эксплуатации планируемого технологического и иного оборудования;

данных по предельным массам выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в единицу времени (т/год, г/с) и данных по предельному значению концентрации выбросов загрязняющего вещества в атмосферный воздух (мг/куб. м).

Перечень загрязняющих веществ, которые могут выбрасываться в атмосферный воздух, и величины выбросов загрязняющих веществ указываются для каждого источника выбросов.

Воздействие на атмосферный воздух реконструируемых объектов определяется на основании актов инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, проектов нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и иной документации в области охраны атмосферного воздуха с указанием в отчете об ОВОС ссылки на них.

Прогноз и оценка изменения состояния атмосферного воздуха проводится на основании расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, в том числе групп суммации.

В расчете рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе учитываются:

проектируемые источники выбросов;

для реконструируемого объекта – существующие источники выбросов;

фоновые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

При реконструкции объекта переработки нефти и газа для оценки динамики загрязнения атмосферного воздуха определяются максимальные приземные концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе по состоянию до и после реконструкции объекта.

Сведения о проведении оценки воздействия на окружающую среду отражаются в отчете об оценке воздействия на окружающую среду, составленном в соответствии с требованиями, установленными Советом Министров Республики Беларусь (Положение о порядке проведения оценки воздействия на окружающую среду, требованиях к составу отчета об оценке воздействия на окружающую среду, требованиях к специалистам, осуществляющим проведение оценки воздействия на окружающую среду, утвержденное постановлением Совета Министров Республики Беларусь 19.01.2017 № 47).

Отчет об ОВОС по объектам переработки нефти и газа в обязательном порядке должен включать:

резюме нетехнического характера (в виде отдельного раздела), содержащее краткую информацию о планируемой деятельности и воздействии на окружающую среду, в том числе в трансграничном контексте, и предполагаемых мерах по его предотвращению, минимизации или компенсации, результатах и выводах ОВОС;

сведения о заказчике;

сведения о целях и необходимости реализации планируемой деятельности (указывается в том числе информация о соответствии планируемой деятельности принятой концепции, программе, схеме отраслевого развития (транспорта, тепло-, газо- и водоснабжения, водоотведения, мелиорации и других отраслей), утвержденной градостроительной документации);

описание альтернативных вариантов (территориальных и (или) технологических) размещения и (или) реализации планируемой деятельности, включая отказ от ее реализации (нулевая альтернатива);

результаты изучения существующего состояния окружающей среды, социально-экономических и иных условий на территории Республики Беларусь и затрагиваемых сторон в случае возможного значительного вредного трансграничного воздействия планируемой деятельности;

описание основных источников и возможных видов воздействия на окружающую среду каждого из альтернативных вариантов размещения и (или) реализации планируемой деятельности;

прогноз и оценку изменения состояния окружающей среды и социально-экономических и иных условий в результате реализации каждого из альтернативных вариантов размещения и (или) реализации планируемой деятельности. При этом учитываются существующие источники воздействия в зоне влияния планируемой деятельности и особенности состояния окружающей среды;

описание мер по улучшению социально-экономических условий и предотвращению, минимизации или компенсации значительного вредного воздействия на окружающую среду в результате реализации альтернативных вариантов размещения и (или) реализации планируемой деятельности;

прогноз возникновения вероятных чрезвычайных и запроектных аварийных ситуаций и оценку их последствий, описание мер по предупреждению таких ситуаций, реагированию на них, ликвидации их последствий;

обоснование выбора приоритетного варианта размещения и (или) реализации планируемой деятельности из всех рассмотренных альтернативных вариантов. В случае отсутствия альтернативных вариантов размещения объекта в качестве альтернативного варианта размещения объекта рассматривается отказ от реализации планируемых намерений;

информацию (в виде отдельных разделов) об оценке возможного значительного вредного трансграничного воздействия каждого из альтернативных вариантов размещения и (или) реализации планируемой деятельности на окружающую среду каждой из затрагиваемых сторон и о предполагаемых мерах по его предотвращению, минимизации или компенсации;

описание программ локального мониторинга окружающей среды и (при необходимости) послепроектного анализа деятельности объекта;

основные выводы по результатам проведения ОВОС;
оценку достоверности прогнозируемых последствий реализации планируемой деятельности с указанием выявленных при проведении ОВОС неопределенностей;

условия для проектирования объекта в целях обеспечения экологической безопасности планируемой деятельности с учетом возможных последствий в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов и связанных с ними социально-экономических последствий, иных последствий планируемой деятельности для окружающей среды, включая здоровье и безопасность людей, животный мир, растительный мир, земли (включая почвы), атмосферный воздух, водные ресурсы, климат, ландшафт, природные территории, подлежащие особой и (или) специальной охране, а также для объектов историко-культурных ценностей и (при наличии) взаимосвязей между этими последствиями.

К отчету об ОВОС по объектам переработки нефти и газа прилагаются результаты измерений в области охраны окружающей среды, результаты научно-исследовательских, опытно-конструкторских, опытно-технологических работ, документы об образовании, подтверждающие прохождение подготовки по проведению ОВОС по соответствующим компонентам природной среды, физических лиц, выполнявших ОВОС.

Отчет об ОВОС по объектам переработки нефти и газа представляется на общественные обсуждения в соответствии с законодательством об охране окружающей среды (Положение о порядке организации и проведения общественных обсуждений проектов экологически значимых решений, экологических докладов по стратегической экологической оценке, отчетов об оценке воздействия на окружающую среду, учета принятых экологически значимых решений, утвержденное постановлением Совета Министров Республики Беларусь 14.06.2016 № 458).

Следует отметить, что предпроектная (предынвестиционная), проектная документация на возведение, реконструкцию объектов переработки нефти и газа в обязательном порядке подлежит государственной экологической экспертизе (подпункты 1.2, 1.3 пункта 1 статьи 7 Закона).

Отчет об ОВОС по объектам переработки нефти и газа представляется на государственную экологическую экспертизу вместе

с предпроектной (предынвестиционной), проектной документацией.

Предметом государственной экологической экспертизы является установление соответствия планируемых проектных и иных решений, содержащихся в предпроектной (предынвестиционной), проектной документации по объектам переработки нефти и газа, требованиям законодательства об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов, а проектных решений, содержащихся в предпроектной (предынвестиционной) документации по таким объектам – также регламентам градостроительного развития и использования территорий.

По результатам проведенной государственной экологической экспертизы составляется заключение государственной экологической экспертизы.

Заключение государственной экологической экспертизы может быть положительным либо отрицательным. Положительное заключение государственной экологической экспертизы может содержать особые условия реализации проектных решений.

Реализация проектных решений без положительного заключения государственной экологической экспертизы запрещается.

Таким образом, для реализации проектных решений по объектам переработки нефти и газа необходимо в обязательном порядке наличие положительного заключения государственной экологической экспертизы.

Секция IV

**АППАРАТНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ.
СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ,
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХИМИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

УДК 621.926

Козловский В.И., Петров О.А., Парда С.Ю., Кульша Д.В.,
(Белорусский государственный технологический университет)

**ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ РОТОРА НА МОЩНОСТЬ
ПРИВОДА ВЕРТИКАЛЬНОЙ БИСЕРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ**

История появления и внедрения в промышленное производство бисерных мельниц началась примерно 45–50 лет назад. Создание быстроходных диспергаторов с мелющими телами уменьшенных размеров произошло в результате стремления к увеличению контакта диспергирующих тел с обрабатываемым материалом, а также из-за стремления к увеличению деформации сдвига.

Бисерные мельницы представляют собой неподвижный цилиндр, заполненный шарами, внутри которого вращается перемешивающее устройство – ротор. Цилиндр выполнен с рубашкой для водяного охлаждения, так как в процессе измельчения, за счет истирания, происходит значительное выделение тепла.

Сегодня существует достаточно большое разнообразие конструктивных исполнений перемешивающих роторов для бисерных мельниц. Вместе с тем, основным принципом при их конструировании было и остается увеличение интенсивности перемешивания загрузки при минимальных энергозатратах расходуемых на этот процесс.

Однако в современной литературе практически не встречается исследований направленных на сравнительный анализ различных конструктивных исполнений роторов бисерных мельниц. В основном в качестве рекламы сравнивают какую-нибудь новую конструкцию ротора с классической с круглыми дисками [1].

Поэтому на сегодняшний день возникла достаточно острая необходимость в комплексном исследовании влияния различных конструкций роторов на энергозатраты процесса перемешивания.

В качестве объектов исследования были выбраны четыре конструкции роторов (рисунок 1) с шестью мешалками в виде: круглых дисков, наклонных дисков, треугольных дисков и со штырями.

Загрузка представляла собой смесь воды с мелющими телами без измельчаемого материала. В качестве мелющих тел использовались: стеклянные, керамические и металлические шарики разных диаметров.

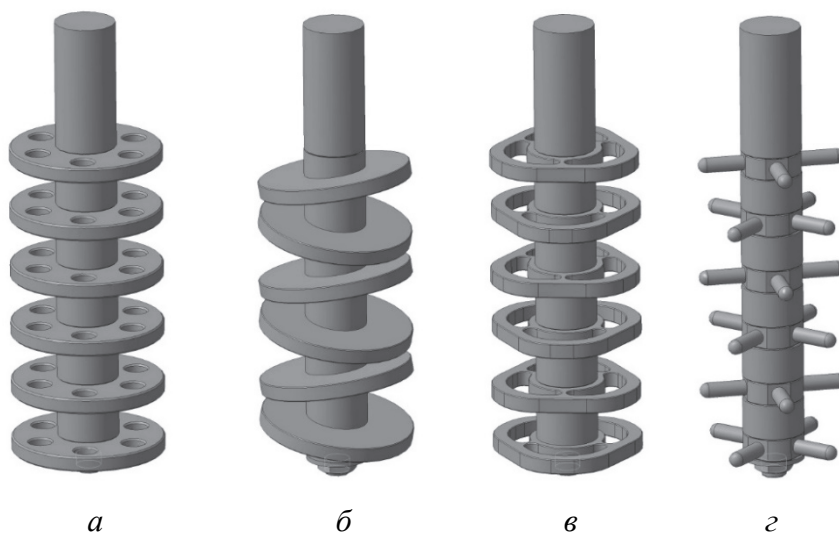


Рисунок 1 – Типы роторов вертикальных бисерных мельниц
а – с круглыми дисками; *б* – с наклонными дисками;
в – с треугольными дисками; *г* – со штырями

Линейная скорость на кромке роторов составляла 10 м/с, так как это значение является наиболее оптимальным для обеспечения эффективного процесса измельчения [2].

Мощность, затрачиваемая на перемешивание, рассчитывалась исходя из силы тока, которую фиксировал частотный преобразователь, с учетом КПД привода мельницы.

В результате были получены графические зависимости мощности, затрачиваемая на перемешивание, от времени и количества мешалок для разных мелющих тел (рисунок 2). По ним четко виден скачок пусковой мощности в первые 2-9 секунд после пуска. Ее значение возрастает с увеличением количества дисков и может быть в 2 раза больше рабочей.

Для дальнейшего сравнительного анализа были построены графики изменения мощности, затрачиваемой на перемешивание, от количества мешалок. Одна из них для мешалок со штырями изображена на рисунке 3. По графикам четко прослеживается, что увеличение количества мешалок приводит к увеличению мощности, затрачиваемой на перемешивание, причем не по линейной зависимости.

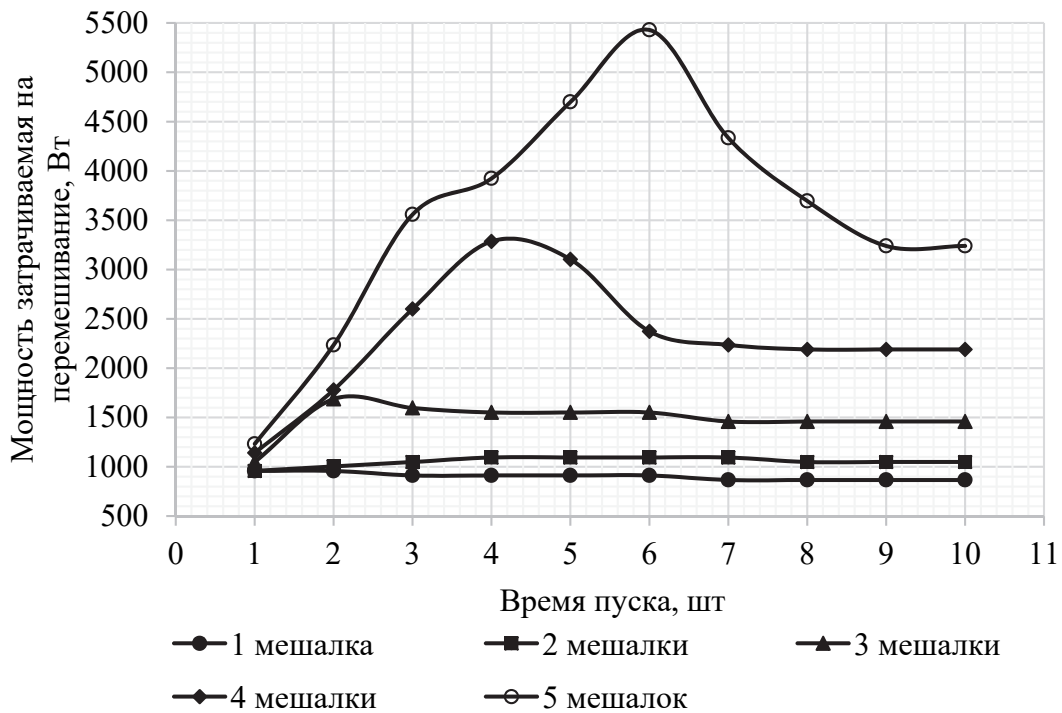


Рисунок 2 – Зависимость мощности, затрачиваемой на перемешивание, от времени измельчения, ротор со штырями, мелющие тела – металлические шарики 3 мм

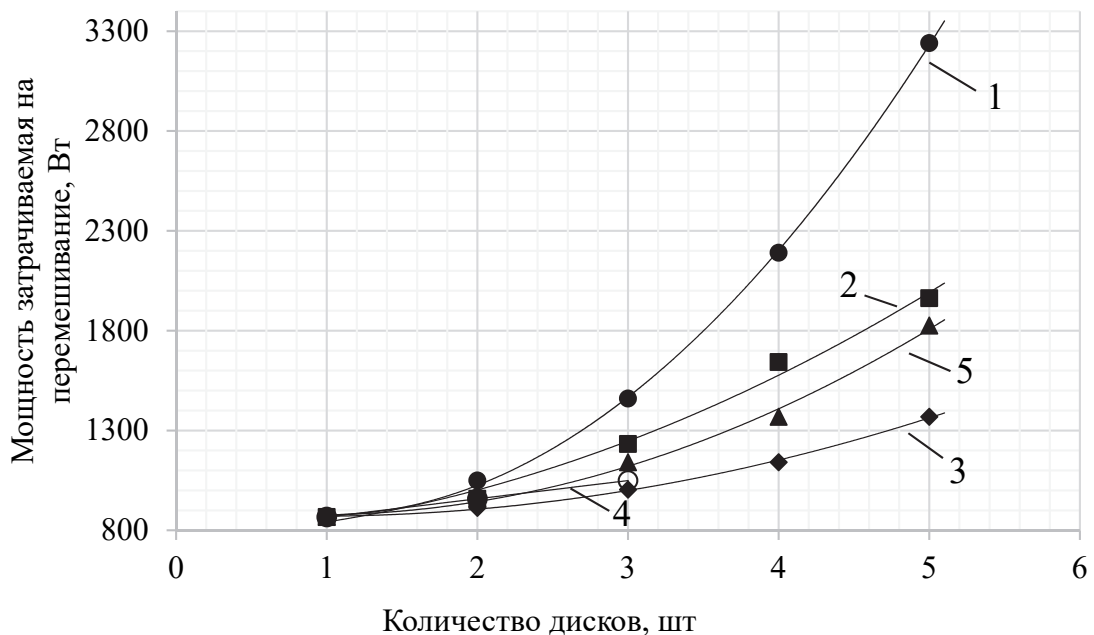


Рисунок 3 – Зависимость мощности, затрачиваемой на перемешивание, от количества мешалок со штырями

1 – металлический бисер 1 мм; 2 – металлический бисер 3 мм;
 3 – керамический бисер 2 мм; 4 – керамический бисер 0,5 мм;
 5 – стеклянный бисер 3 мм

Это хорошо просматривается в эмпирических зависимостях для расчета, мощности, затрачиваемой на перемешивание, от количества мешалок, которые были получены после обработки экспериментальных данных. Например, для мешалок со штырями они представлены в виде полиномиальных (степень 2) зависимостей (1)-(5):

1) металлический бисер 1 мм:

$$N = 146,69n^2 - 291,42n + 1022,2; \quad (1)$$

2) металлический бисер 3 мм:

$$N = 42,376n^2 + 33,249n + 766,69; \quad (2)$$

3) керамический бисер 2 мм:

$$N = 29,338n^2 - 52,808n + 894,47; \quad (3)$$

4) керамический бисер 0,5 мм:

$$N = 2e^{-12}n^2 + 91,272n + 775,81; \quad (4)$$

5) стеклянный бисер 3 мм:

$$N = 55,415n^2 - 99,748n + 921,85; \quad (5)$$

Материал и размер мелющих тел также оказывают значительное влияние на параметр мощности. Можно отметить, что увеличение плотности мелющих тел и уменьшение их размера приводят к увеличению энергозатрат на перемешивание. Например, уменьшение диаметра металлического бисера с 3 мм до 1 мм привело к увеличению мощности в среднем на 0,5-1,2 кВт для всех роторов с пятью мешалками.

Разница в энергозатратах различных роторов начинает хорошо проявляться от 3 мешалок, и при 5 – достигает значительной разницы. Так, наименее энергозатратным оказался классический ротор с мешалками в виде круглых дисков. Он потребляет меньше мощности (в среднем на 200 Вт), чем мешалки в виде треугольника и со штырями.

Наиболее энергозатратным оказался ротор с мешалками в виде наклонных дисков, что обусловлено увеличением сопротивления при взаимодействии с загрузкой за счет угла наклона.

Подводя промежуточный итог, стоит отметить, что мощность, затрачиваемая на перемешивание, не отражает полностью энергозатрат на измельчение в целом. Более емким параметром для измельчающих агрегатов являются энергозатраты приходящиеся на обработку единицы продукции. Поэтому дальнейшие исследования будут направлены на сравнение и оптимизацию различных конструкций роторов относительно этого параметра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кухтин, И. В. Усовершенствование диспергирующего оборудования для производства лакокрасочной продукции / И. В. Кухтин, В. Н. Ратников // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2004. – № 1/2. – С. 56–59.

2. Козловский, В. И. Измельчение материалов в шаровой мельнице с мешалкой непрерывного действия / В. И. Козловский, П. Е. Вайтехович // Вестник ПГУ. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 3. – С. 61–65.

УДК 620.18

Жепицкий Ю.Я, Гребенчук П.С.

(Белорусский государственный технологический университет)

ВЫБОР И ПРИМЕНЕНИЕ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ НА ДИНАМИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Проблема повышения качества деталей и узлов машин в настоящее время стоит весьма остро. Наиболее распространенным узлом, применяемым практически во всех машинах, являются подшипники.

Подшипниковый узел, широко применяемый в технике, выполняет функцию по удерживанию вращающейся оси (или вала). Вращательное движение, реализованное в паре трения, как физический принцип действия – одно из самых распространенных в современных машинах и механизмах. Поскольку нагрузки и рабочие скорости в современных машинах принимают большие значения, кроме того, эти величины продолжают свой рост, то параметры подшипника существенным образом влияют не только на массу и размер, но также на безотказность, долговечность, ремонтпригодность и экономичность всего агрегата в целом. Производство подшипников является высокотехнологичной отраслью, в которой присутствует острая конкуренция. Несмотря на массовость применения подшипников качения, все большее распространение получают подшипники скольжения, которые являются более надежным узлом, и менее прихотливы к рабочим характеристикам (рисунки 1, 2) [1, 2].

Кроме того, по таким показателям как габариты, удобство монтажа, долговечность, устойчивость к ударным и случайным нагрузкам, затухание механических колебаний (вызванных внешним источником), приспособляемость к перекосам, высокая коррозионная устойчивость,

низкая производственная стоимость, большой срок службы – подшипники скольжения обладают явным преимуществом в сравнении с подшипниками качения [3].



Рисунок 1 – Подшипник качения



Рисунок 2 – Подшипник скольжения

Вкладыш – основной элемент подшипника скольжения, его задача обеспечить наименьшее трение между взаимно перемещающимися в механизме деталями.

В конструкции вкладышей подшипника скольжения применены специальные материалы, так называемая трущаяся пара. При вращении ротора насоса вкладыш на валу ротора трется по вкладышу, закрепленному на втулке в корпусе оборудования.

Рассмотрим основные материалы, которые можно использовать в изготовлении вкладышей подшипников скольжения на различном динамическом оборудовании.

- *Металлические* вкладыши выполняют из бронзы, баббитов, алюминиевых и цинковых сплавов, антифрикционных чугунов (рисунок 3).



Рисунок 3 – Бронзовый вкладыш подшипника скольжения

Бронзовые вкладыши широко используют при средних скоростях и больших нагрузках. Наилучшими антифрикционными свойствами

обладают оловянные бронзы марок БрО10Ф1, Бр04Ц4С17, алюминиевые (марки БрА9ЖЗЛ) и свинцовые (марки БрСЗО) бронзы вызывают повышенное изнашивание цапф валов, поэтому их применяют в паре с закаленными цапфами. Свинцовые бронзы используют при знакопеременных ударных нагрузках. Вкладыш с баббитовой заливкой применяют для подшипников в ответственных конструкциях при тяжелых и средних режимах работы (дизели, компрессоры и др.). Баббит — сплав на основе олова или свинца, является одним из лучших антифрикционных материалов для подшипников скольжения. Баббит заливают тонким слоем на рабочую поверхность стального, чугунного или бронзового вкладыша. Лучшими являются высокооловянные баббиты марок Б88, Б83 (рисунок 4) [4].

Чугунные вкладыши из антифрикционных чугунов, например марки АЧС-1 применяют в малоответственных тихоходных механизмах.

- *Металлокерамические* вкладыши (рисунок 5) изготавливают пресованием и последующим спеканием порошков меди или железа с добавлением графита, олова или свинца. Особенностью этих материалов является их пористость, которую используют для предварительного насыщения горячим маслом. Вкладыши, пропитанные маслом, могут долго работать без подвода смазочного материала. Их применяют в тихоходных механизмах и в местах, труднодоступных для подвода масла.



Рисунок 4 – Подшипник с баббитовым вкладышем марки Б88

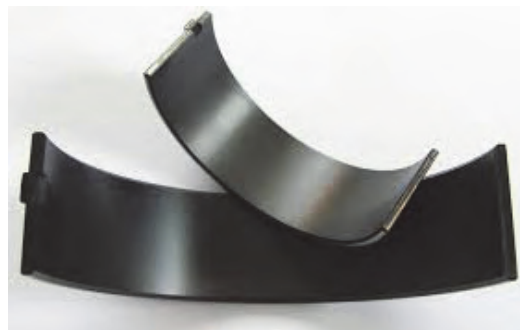


Рисунок 5 – Вкладыш подшипника металлокерамический

- *Неметаллические* вкладыши изготавливают из пластика, твердых пород натурального дерева, усиленной древесины, резины, графита (рисунок 6). Все перечисленные материалы применяют в сочетании с валами повышенной твердости ($> \text{HRC } 50$) [3]. При этом условии неметаллические подшипники имеют высокую износостойкость. Эти материалы устойчивы против заедания, хорошо прирабатываются, могут работать при смазывании водой, что имеет существенное значение для подшипников гребных винтов, насосов, пищевых машин.

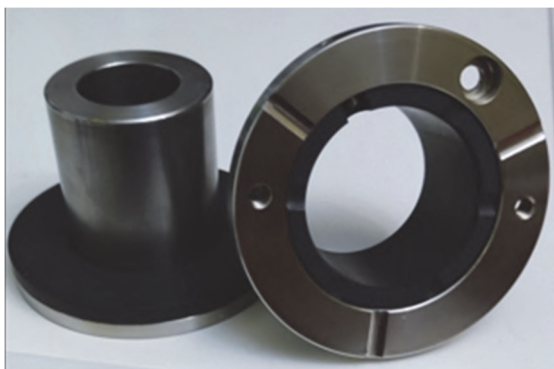


Рисунок 6 – Подшипник скольжения с вкладышем из карбида кремния и графита

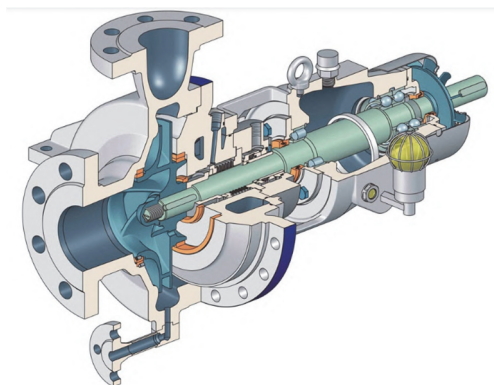


Рисунок 7 – Исследуемый центробежный электронасосный агрегат

Представленные в рамках проведения анализа конструкции подшипниковых узлов динамического оборудования являются наиболее эффективными и передовыми, что позволяет добиться от насосного и другого динамического оборудования максимальной надёжности и безотказности. Точно подобранные и установленные элементы подшипников скольжения позволяют увеличить срок службы оборудования, снизить затраты на энергетические ресурсы, не допустить недовыпуск продукции и поломку оборудования [3].

Объектом исследования научной работы является центробежный электронасосный агрегат, который перекачивает эмульсию в виде циклогексанона и циклогексанола в колонну ректификации в цехе циклогексанона на ОАО «ГродноАзот» (рисунок 7).

В данном агрегате применены подшипники скольжения, вкладыши которых изготовлены из карбида кремния, который является дорогим в изготовлении. В настоящее время проводится экспериментальная исследовательская работа, в рамках которой вместо карбида кремния на насосы установлены вкладыши из фторопластового антифрикционного материала суперфлувис+, суперфлувис 10+ и флубон-ЛЮ. Эти материалы изготавливаются на ремонтно-механическом производстве ОАО «ГродноАзот», там же и протачиваются вкладыши в размер, что удешевляет стоимость запасных частей исследуемого насосного агрегата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антифрикционные материалы флувис. [Электронный ресурс]. URL: <http://fluvis.ru>. (Дата обращения: 25.09.2023);
2. Старосельский, А.А., Гаркунов, Д.Н. Долговечность трущихся деталей машин. М.: Машиностроение, 1967. 395 с.
3. Чернавский, С.А. Подшипники скольжения. М.: Машгиз, 1963. 245 с.
4. Гаркунов, Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1989. 327 с.

Кляхин Г.А.
(ОАО «Гродно Азот»)
Францкевич В.С.

(Белорусский государственный технологический университет)

ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИОННО-ЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА ТРУБОПРОВОДОВ ВОДЯНОГО ПАРА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПАРОЭЖЕКТОРНОЙ УСТАНОВКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КАПРОЛАКТАМА

Введение. Пароструйные эжекторные вакуум-насосы широко используются в химической промышленности за счет простоты технического устройства и наличия эжектирующей среды (водяной пар), образующейся в технологическом процессе, например, получения капролактама.

Основная часть. Кавитацией называется явление парообразования и выделения воздуха, обусловленной понижением давления в жидкости. Причиной ее возникновения служит кипение жидкости при нормальной температуре и низком давлении. Появлению кавитации способствует растворенный в воде воздух, который выделяется при уменьшении давления [1]. Основной проблемой в кавитации является эрозия. Высокие быстро меняющиеся давления и тепловые ударные волны вызывают в материале вблизи сжимающегося пузырька разрушения, причиной которых, являются усталостные процессы.

При кавитации на поверхности детали в области пониженного давления образуются кавитационные полости (пузырьки или каверны) из ядер кавитации, которые присутствуют в любой жидкости. Эти полости расположены как непосредственно на поверхности детали, так и на расстоянии от нее. При попадании полостей в область повышенного давления происходит их сжатие с образованием микроструй, механически воздействуя на поверхность детали в случае схлопывании пузырька у поверхности. При периодическом воздействии этих микроструй происходит унос массы материала с образованием лунок на поверхности детали [2].

Как было отмечено в работе [1] углеродистая сталь наиболее подвержена кавитационной эрозии и имеет скорость эрозии 5,5 мм³/ч. А нержавеющая сталь, напротив, имеет высокую стойкость к кавитационной эрозии и имеет скорость эрозии, всего лишь, 1,1 мм³/ч.

Как известно, в пароэжекторных установках, в роли эжектирующей среды выступает водяной пар [3, 4]. Транспортировка и подвод к соплам пароструйного эжекторного вакуум-насоса рабочей среды осуществляется по трубопроводам пара. Продуктом кавитационно-эрозионного износа внутренней поверхности трубопровода водяного

пара являются мелкие металлические частицы размером менее 0,1 мм, появившиеся в результате образования каверн и лунок на внутренней поверхности трубопровода [2].

Такие источники как [3, 4] предлагают использовать нержавеющую сталь при изготовлении пароструйных эжекторных вакуум-насосов, что вполне себя оправдывает по технико-экономическим причинам. А вот заменить материал трубопроводов пара с углеродистой стали на нержавеющую сталь является экономически не целесообразно. Поэтому и необходимо смириться с тем, что вместе с потоком пара будут увлекаться и продукты кавитационно-эрозионного износа.

В процессе работы парэжекторной установки сперва происходит налипание металлических частичек на внутреннюю поверхность горла сопла, а затем закупоривание критического сечения сопла, что приводит к нестабильной работе вакуум-насоса и потере вакуума в ректификационной колонне. Для предотвращения закупоривания критического сечения сопла продуктами кавитационно-эрозионного износа внутренней поверхности подводящих трубопроводов водяного пара, производится периодическая остановка парэжекторной установки для чистки сопла. Данное мероприятие является рискованным в плане качества ведения технологического процесса получения циклогексанона.

На основании эксплуатационного опыта известно, что сопла, имеющие $d_{кр} \leq 2,8$ мм, подвержены закупориванию металлическими частичками, налипшими на внутреннюю поверхность горла сопла, чего нельзя сказать о соплах с $d_{кр} \geq 3,0$ мм, которые не имеют такую тенденцию.

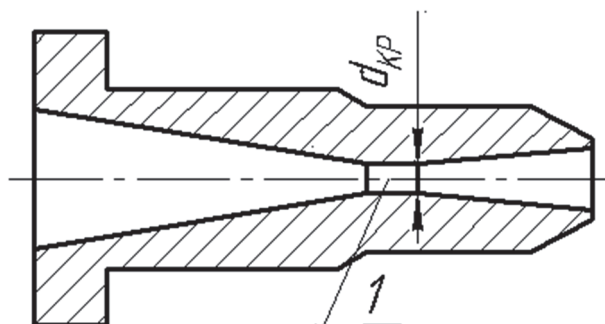


Рисунок 1 – Схема сопла пароструйного эжекторного вакуум-насоса
1 – горло сопла; $d_{кр}$ – диаметр критический (внутренний диаметр горла), мм.

Для предотвращения выхода из строя пароструйного эжекторного вакуум-насоса требуется уловить металлические частички в подводящем трубопроводе пара до сопла.

Существующая схема парэжекторной установки, на подводящем трубопроводе пара, имеет два фильтра с фильтрующим элементом в виде сетки ячейкой 2,0 мм из нержавеющей стали, предназначенным

для улавливания крупных частичек, например окалины. Фильтр представляет собой цилиндрическую емкость наружным диаметром 76 мм и высотой 90 мм с двумя фланцевыми крышками, предназначенными для удобства чистки и снятия-установки сетки.

Нами было предложено рассмотреть вариант установки в имеющиеся основной и байпасный фильтры стержней из неодимового магнита типа NdFeB класса EH38 для улавливания мелких металлических частичек.

Таблица – Основные характеристика неодимового магнита NdFeB-EH38 [5]

Класс	Остаточная магнитная индукция, мТ	Коэрцитивная сила, кА/м	Магнитная энергия, кДж/м ³	Рабочая температура, °С
EH38	1250	2388	310	200

Неодимовый магнит представляет собой стержень наружным диаметром 26 мм, длиной 100 мм и отверстием М6х12 по оси вращения. Одна часть магнита крепится посредством накручивания на шпильку М6х10, установленную в теле верхней фланцевой крышки фильтра, а вторая часть магнита устанавливается в паз нижней фланцевой крышки фильтра.

Ранее, при использовании фильтра без магнита приходилось производить чистку закупоренного сопла парожеткторного насоса каждые 400-480 часов непрерывной работы ректификационной колонны получения циклогексанона. В случае фильтра с установленным магнитом, по истечении 520 часов непрерывной работы оборудования, отказа вакуум-насоса не произошло.

Заключение. Кавитационно-эрозионный износ оборудования является актуальной проблемой в технологическом производстве. Особенно это коснулось оборудования малой производительности, проточная часть которого выходит из строя, закупориваясь продуктами кавитационно-эрозионного износа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пирсол И.С. Кавитация. Москва, 1975. 96 с.
2. Тимербулатов М.Г. Влияние коррозии и интенсивность кавитации на характеристики металлов в лабораторных и эксплуатационных условиях. Москва, 1974. 232 с.
3. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. Москва, 1989. 352 с.
4. Успенский В.А., Кузнецов Ю.М. Струйные вакуумные насосы. Москва, 1973. 144 с.
5. Спеддинг Ф.Х., Даан А.Х. Редкоземельные металлы. Москва, 1965. 610 с.
6. Цегельский В.Г. Струйные аппараты. Москва, 2017. 573 с.

АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В МЕМБРАННЫХ БИОРЕАКТОРАХ

Мембранные биореакторы – это синтез двух технологий водочистки, биологической и мембранной.

Основным конструктивным отличием мембранного биореактора от систем традиционной биологической очистки в аэротенках является наличие мембранного модуля, который используется для разделения иловой смеси и представляет собой альтернативу широко используемому методу осаждения активного ила во вторичных отстойниках.

Система МБР состоит из аэротенка и мембранного модуля (рисунок 1). Обрабатываемые сточные воды попадают в аэротенк, где взаимодействуют с концентрированным активным илом (биомассой бактерий). Микроорганизмы начинают переработку органических и неорганических загрязнителей, разлагая их на безвредные оксиды. Затем иловая смесь циркулирует через модуль мембран.

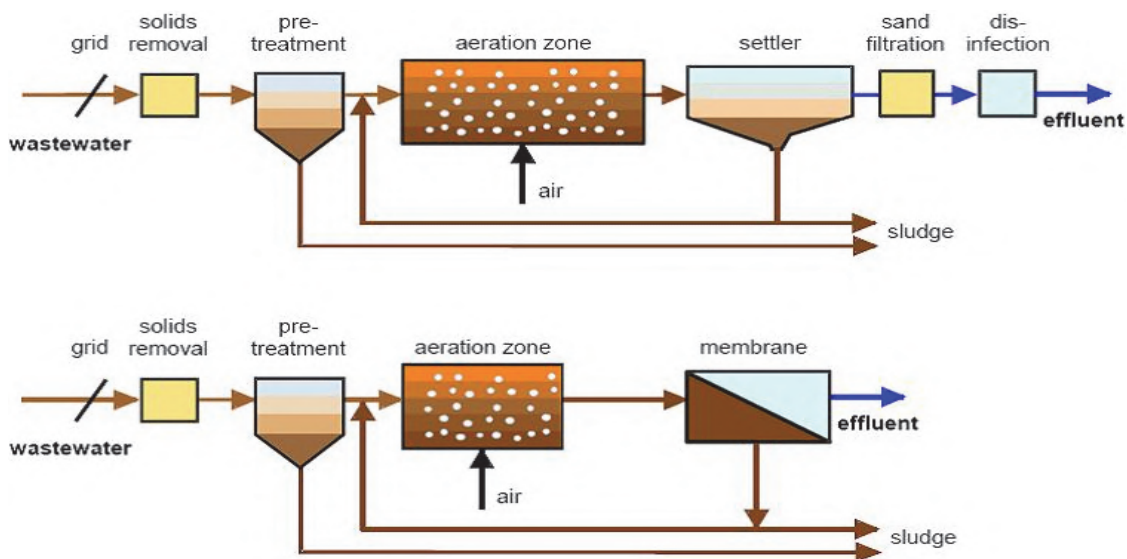


Рисунок 1 – Технологическая схема биологической очистки сточных вод
 а – традиционной; б – с использованием внешнего МБР

Применяемые в МБР мембраны изготавливаются в основном из полимеров (полиэтилена, полисульфона, полиэтиленсульфона, полиакриланитрила, поливинилиденфторида, поливинилхлорида и др.), а в ряде случаев из неорганических материалов (оксиды Al, Ti, Zr и др.).

Выбор материала диктуется устойчивостью к загрязнению веществами, содержащимися в обрабатываемых сточных водах, а также химической стойкостью при проведении реагентных промывок мембранных модулей. Большинство мембран обладают гидрофобными свойствами. Заряд мембраны также оказывает влияние на степень ее загрязнения (например мембраны с нейтральным зарядом более устойчивы к отложениям бактерий группы *E.coli*, имеющих на поверхности положительно и отрицательно заряженные группы). Для улучшения характеристик мембран производители подвергают модификации их поверхность, вводят различные добавки в рецептуру химического состава их материала. Поэтому мембраны разных производителей, изготовленных из одного и того материала, например поливинилиденфторида, могут иметь заметные отличия в характеристиках. По своей геометрии, применяемые в МБР мембраны, делятся на трубчатые, плоскостные и полволоконные. Наиболее распространены в практике очистки сточных вод полволоконные мембраны [1]. Мембраны в погружных МБР выполняются в виде полых нитей диаметром 0,3-3 мм и длиной до 2 м. Поверхность нити представляет собой ультрафильтрационную мембрану с размером пор 0,03–0,1 мкм. Мембранный модуль состоит из 10–20 кассет с мембранами. В каждой кассете располагаются от 5 до 15 пучков мембранных волокон. Каждый пучок состоит из 100–1000 мембранных волокон и оборудован общим патрубком отвода фильтрата. В погружных МБР мембранный модуль погружен непосредственно в иловую смесь и устанавливается в биореакторе. Фильтрация иловой смеси происходит под действием вакуума, создаваемого на внутренней поверхности мембраны (рисунок 2).

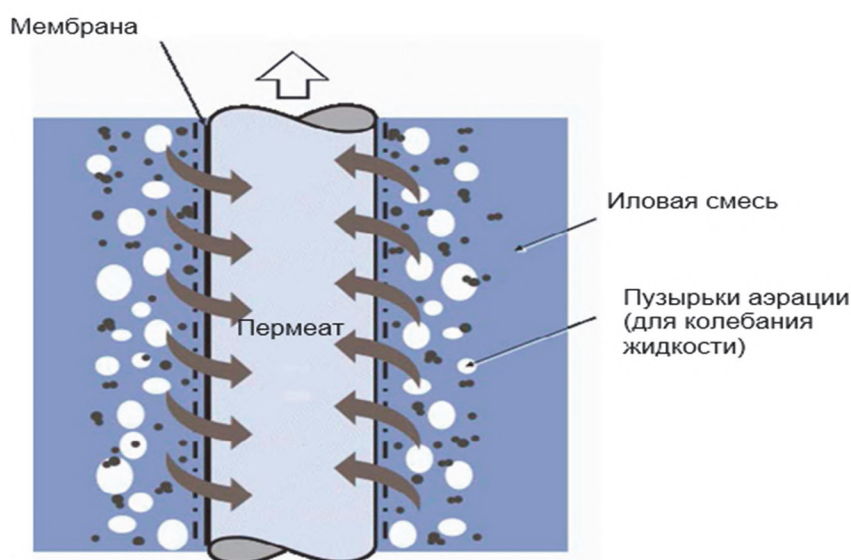


Рисунок 2 – Схематическое изображение процесса очистки стоков в МБР

Для организации фильтрации между внутренней полостью мембран и пространством мембранного блока создается разность давлений (0,01~0,06 МПа). За счет разности давлений сточные воды проникают внутрь полого волокна или пластины, в то время как активный ил задерживается на внешней поверхности мембраны, удаляясь восходящим водо-воздушным потоком.

Опыт эксплуатации пилотного МБР подтвердил высокую эффективность процесса и позволил определить ряд особенностей.

– *Решение проблемы выноса активного ила с очищенными сточными водами.* Эквивалентный диаметр пор ультра- и микрофильтрационных мембран находится в пределах 0,02–0,5 мкм. Размер бактерий и простейших, составляющих биоценоз активного ила, превышает 5 мкм, мембрана является физическим барьером на пути проникновения организмов активного ила в водные объекты с очищенными сточными водами.

– *Эффективная очистка за счет большой площади контакта микроорганизмов со сточными водами.* Размер хлопьев активного ила в МБР 5–10 раз меньше, а концентрация нитчатых микроорганизмов в 5-10 раз выше, чем в аэротенках с последующим вторичным осаждением. За счет дисперсности активного ила многократно увеличивается площадь контакта активного ила со стоками, что приводит к эффективной сорбции тяжелых металлов, трудноокисляемых и инертных органических веществ.

– *Высокая окислительная мощность при малых объемах биореактора.* МБР эксплуатируются при дозе ила 8-15 мг/дм³, что при равенстве объемов с традиционными конструкциями аэротенков позволяет производить очистку высококонцентрированных сточных вод. Одновременно высокие дозы ила позволяют уменьшить объем биореактора в 2–3 раза.

– *Сокращение количества избыточного активного ила.* Возраст ила в МБР составляет 25–30 сут., нередко превышая 60–70 сут. Верхний предел возраста ила, принимаемый службой эксплуатации, зависит от эффективности гидролиза отмершей клеточной массы и допустимой массы инертных взвешенных веществ в мембранном биореакторе. Несмотря на наличие нитчатых микроорганизмов, за счет повышенной минерализации активный ил обладает удовлетворительной водоотдачей и отводится на обработку непосредственно из биореактора.

– *Эффективная нитрификация и деструкция сложноокисляемых компонентов сточных вод.* Эксплуатация в условиях повышенного возраста активного ила приводит к селекции в пользу медленно растущих микроорганизмов, в частности бактерий-нитрификаторов, а также к снижению прироста активного ила.

– *Частичное обеззараживание сточных вод.* Вследствие того, что поры мембран имеют меньший размер, чем размеры клеток подавляющего большинства известных бактерий и некоторых вирусов, а также за счет образования отложений на поверхности мембраны, выступающих как дополнительный фильтрующий слой, в МБР происходит эффективное обеззараживание сточных вод.

– *Устойчивость процесса очистки к колебаниям концентраций загрязняющих веществ и залповым сбросам.* Эксплуатация мембранных биореакторов в режиме низкой нагрузки на активный ил создает резерв окисляющей способности и повышает устойчивость процесса очистки к колебанию состава сточных вод.

Сокращение площади, занимаемой традиционными сооружениями биологической очистки. Высокие дозы ила позволяют сократить время пребывания сточных вод в сооружении.

Несмотря на использование обратной промывки, производительность фильтрации мембранного биореактора неизбежно снижается в процессе эксплуатации. Это происходит из-за отложения растворимых и твердых частиц на и в мембране, что связано с взаимодействием между компонентами активного ила и мембраны.

Для эффективной борьбы с отложениями современная практика эксплуатации погружных мембранных биореакторов предполагает использование четырех методов – постоянная аэрация наружной поверхности мембран, гидравлическая (обратная) промывка, периодическая обратная промывка, дополнительная промывка (погружение) мембранных модулей.

К основным недостаткам эксплуатации мембранных биореакторов – загрязнение мембран и сетчатых фильтров, повреждение мембран или сильное загрязнение, отказы линий связи систем автоматизации, отказы системы обдувки мембран, отказ воздуходувок и сложность в обеспечении достаточного уровня аэрации при высоких концентрациях активного ила, отказ рециркуляции, отказ вспомогательного мембранного оборудования, более высокие эксплуатационные затраты[2].

При одинаковых капиталовложениях совмещение технологий ультрафильтрации с классической технологией биологической очистки позволяет повысить возраст активного ила, что приводит к селекции медленно растущих микроорганизмов, в частности бактерий-нитрификаторов и бактерий-деструкторов трудноокисляемых органических веществ, а также к снижению количества избыточного активного ила и предотвращению выноса активного ила с очищенной водой. Однако при близкой эффективности очистки сточных вод двух систем (традиционной и с МБР) увеличиваются затраты на техническое обслуживание и эксплуатационные расходы в результате засорения и повреждения мембран.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трунов, П. В. Особенности процесса очистки сточных вод в погружных мембранных биореакторах / П. В. Трунов // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сборник. – 2010. – № 93. – С. 133–137.
2. Киристаев, А. В. Очистка сточных вод в мембранном биореакторе: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / А. В. Киристаев; ГУП «МосводоканалНИИпроект». – М., 2008. – 24 с.

УДК 62.2

Дубок А.Е., Петров О.А., Сипливеия А.А.
(Белорусский государственный технологический университет)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧИХ КЛАПАНОВ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

Одними из основных узлов поршневых компрессоров являются рабочие клапаны, предназначенные для соединения/разъединения рабочей полости цилиндра с полостями всасывания и нагнетания. В современных поршневых компрессорах применяются самодействующие клапаны, в которых движение запорного органа определяется разностью давлений перед и за ним [1].

Для проведения анализа конструкций клапанов были выбраны передовые разработки мировых лидеров в области конструирования и производства деталей и комплектующих к поршневым компрессорам. Многолетний опыт в проектировании и изготовлении рабочих клапанов, всестороннее изучение конструкций и материалов для их изготовления, позволили получить высокопроизводительные, долговечные и эффективные рабочие клапаны. Рассмотрим основные из них.

Дисковые клапаны (рисунок 1) имеют проверенную конструкцию и непрерывно совершенствуются годами [2]. Особое внимание уделяется повышению прочности и долговечности клапанной плиты, демпферной плиты и пружин в сложных условиях эксплуатации.

Основные преимущества: 1) свободные от трения металлические и неметаллические клапанные плиты с направляющими для минимального износа и максимального срока службы; 2) возможно до 20 модификаций седла клапана, что обеспечивает очень низкие расходы на протяжении срока службы; 3) пружины зафиксированы в ограничителе для достижения практически нулевого износа пружин; 4) непревзойденный срок службы клапанных плит благодаря тщательному подбору материалов и специальной термообработке; 5) минимальные степени утечки благодаря исключительной обработке поверхности.

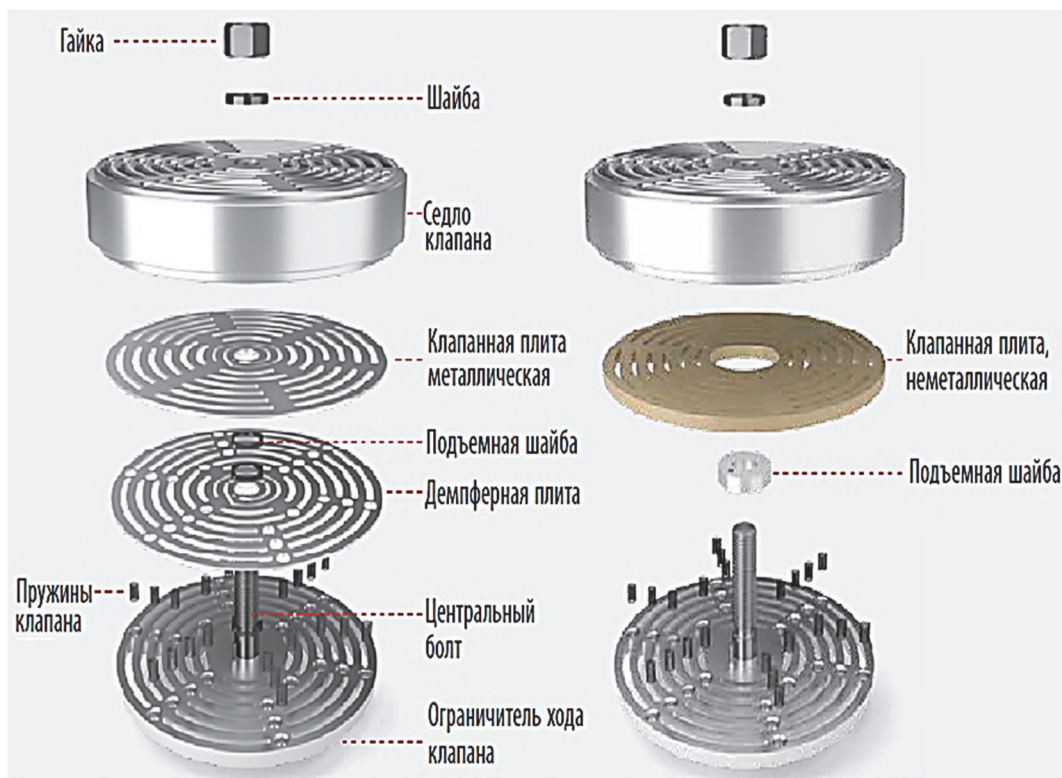


Рисунок 1 – Конструктивные особенности дисковых клапанов

Концентрические клапаны (рисунок 2) – это сочетание всасывающего и нагнетательного клапанов, что делает их компактными и позволяет экономить место с минимальным возможным объемом «мертвого» пространства.



Рисунок 2 – Особенности конструкции концентрических клапанов

Основные преимущества: 1) быстрая доступность и малые запасы на компрессорной установке с несколькими компрессорами разных скоростей, которые определяются конфигурацией цилиндра и составом газа; 2) клапаны доступны с металлическими и неметаллическими плитами; 3) простая сборка и разборка; 4) минимальные степени утечки благодаря высокоточной обработке поверхности; 5) длительный срок службы клапанных плит и рессорных листов благодаря тщательному подбору материалов и специальной термообработке.

Тарельчатые клапаны (рисунок 3) превосходно подходят для работы в сложных условиях применения с газами, содержащими масла и твердые частицы, а также с такими чистыми газами, как кислород [3]. Оптимизированная зона потока уменьшает падение давления и повышает эффективность.

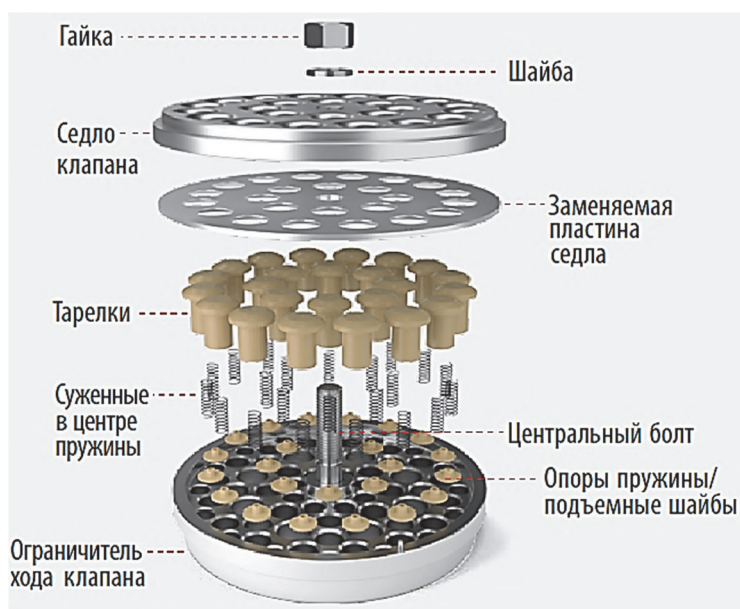


Рисунок 3 – Конструкция тарельчатых клапанов

Кроме того, конструкция облегчает обслуживание и имеет следующие значительные преимущества: 1) высокая производительность при эксплуатации с загрязненными газами, пониженное прилипание масла; 2) пониженная чувствительность к различного рода тепловым расширениям и влаге, содержащейся в газе; 3) меньшая степень засорения, чем в дисковых клапанах при использовании загрязненных и влажных газов; 4) улучшенная аэродинамика пути прохождения потока, снижающая падение давления и повышающая эффективность; 5) снижение уровня шума, вибрации и чувствительности к перемене условий эксплуатации; 6) минимальный риск вторичных повреждений деталей компрессора в случае поломки; 7) металлические пружины защищены от потока газа неметаллическим корпусом тарелки.

Кольцевые клапаны отличаются от клапанов других конструкций тщательно продуманными аэродинамическими характеристиками потока, проходящего через него. Благодаря усовершенствованной аэродинамике снижен перепад давления, что ведёт к значительному сокращению потребления мощности на компрессоре (диски с закруглением по радиусу сглаживают поток).



**Рисунок 4 – Особенности конструкции
кольцевого клапана**

Основные преимущества: 1) длительное время работы (передовая конструкция, износостойкие материалы, высокий уровень соответствия требованиям к конкретным условиям эксплуатации); 2) надёжность при сложных условиях эксплуатации (термопластичные рабочие элементы сферической формы обладают достаточной толщиной и легко выдерживают присутствие посторонних частиц в потоке газа); 3) улучшенная аэродинамика потока; 4) совместимость с разгрузочными устройствами различных типов, что обеспечивает более высокую степень эксплуатационной гибкости.

Представленные в рамках проведения анализа конструкции рабочих клапанов поршневых компрессоров являются на сегодняшний день наиболее передовыми и высокоэффективными, что и позволяет в конечном итоге добиться от компрессорного оборудования максимальной надёжности и безотказности. Правильно подобранные и установленные рабочие клапаны позволяют увеличить производительность компрессора, снизить затраты, связанные с использованием энергетических ресурсов, простоем, невыпуском продукции и ремонтом оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блох, Хайнц П. Компрессоры. Современное применение / Х. Блох; пер. с англ. Л. Н. Кодомского под ред. Т. С. Дегтяревой, А. А. Курганова. – Москва: Техносфера, 2011. – 344 с.
2. Burckhardt Compression. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.burckhardtcompression.com>. (Дата обращения: 25.09.2023);
3. Cook Compression. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cookcompression.com>. (Дата обращения: 26.09.2023).

УДК 621.926

Гомалинский В.А.

(ОАО «НПО «Центр», г. Минск)

Боровский Д.Н.

(Белорусский государственный технологический университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОМОЛЬНОГО БАРАБАНА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Процесс измельчения в промышленности строительных материалов имеет большое значение. Особый интерес среди измельчительного оборудования представляют планетарные мельницы [1]. Они обычно включают несколько полых барабанов, в которые загружается материал и мелющие тела. Помольные барабаны, закрепленные на водиле установленном на горизонтальной оси, вращаются одновременно вокруг центральной оси и вокруг собственной оси в противоположную сторону вращения водила.

Исследование планетарной мельницы проводилось в программе SolidWorks. Для создания расчетной модели планетарной мельницы принимались барабаны с внутренним диаметром 100 мм рабочей длиной 200 мм, с осью удаленной от общей оси вращения на 176 мм. Исследования проводились при частоте вращения помольного барабана 560 об/мин и водила 740 об/мин.

В результате расчета были получены траектория (рисунок 1, *а*), описываемая точкой барабана, подобная на движение электронов вокруг ядра атома и траектория движения (рисунок 1, *б*) мелющих тел. При проведении анализа движений мелющих тел в горизонтальной планетарной мельнице можно сделать вывод, что центробежная сила удаляет загрузку к периферии от центра барабана и водила.

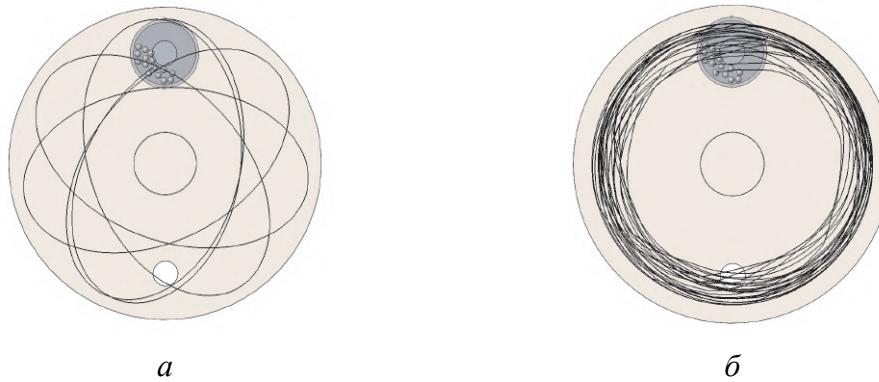


Рисунок 1 – Траектории движения

a – траектория, описываемая точкой барабана, *б* – траектория движения мелющих тел

Анализ поступательной скорости мелющего тела производится относительно неподвижной оси вращения. Из полученного графика (рисунок 2) видно, что скорость изменяется в диапазоне от 10 до 25 м/с.

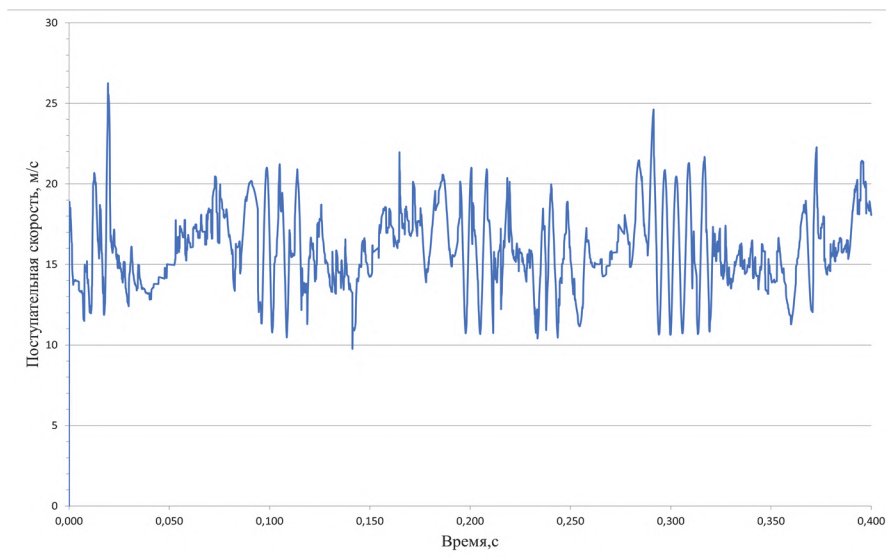


Рисунок 2 – График зависимости скорости от времени

В ходе исследования, направленного на оценку раздавливающего усилия при измельчении, была получена зависимость изменения силы контакта между мелющим телом и стенкой барабана. Анализируя график (рисунок 3), можно заметить, что в момент контакта величина силы колеблется в пределах от 20 до 440 Н. Результаты расчетов указывают на циклическую природу сжимающих усилий. Циркуляция загрузки происходит каждые 0,07 секунды, а оборот водила каждые 0,081 секунды. Таким образом, даже в одном фиксированном положении процесс воздействия мелющих тел на материал является динамичным. Каждое новое положение приводит к изменению силового воздействия, что обеспечивает нестационарное динамическое нагружение материала [2].

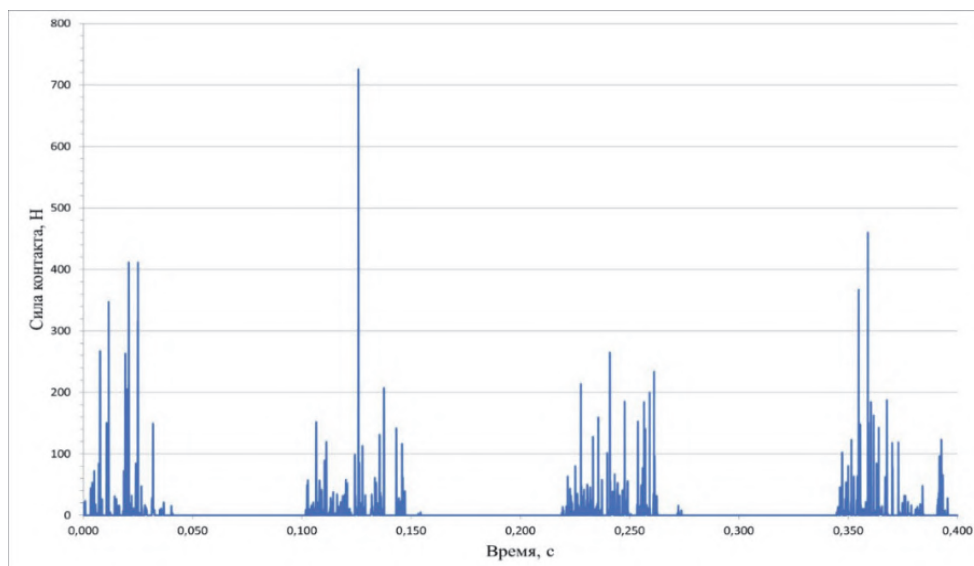


Рисунок 3 – Зависимость силы контакта между мелющим телом и стенкой барабана от времени

Второй частью исследований было получение визуальных представлений изменения давления и температуры внутри помольных барабанов планетарной мельницы. Это связано с тем, что в процессе интенсивного измельчения происходит резкий рост температуры и давления внутри помольной камеры. Для решения проблемы на барабаны дополнительно устанавливается воздушное охлаждение в виде оребрения поверхности.

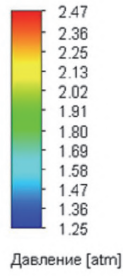
Расчет проводился при массовом расходе по материалу $0,0025 \text{ кг/с}$ и для трех различных угловых скоростей помольного барабана $\omega_6 - 26 \text{ с}^{-1}$, $32,5 \text{ с}^{-1}$, 50 с^{-1} и водила $\omega_в - 40 \text{ с}^{-1}$, 50 с^{-1} , 77 с^{-1} соответственно. По результатам моделирования были получены графики зависимости максимальной температуры в барабане от времени и картины в сечении барабана для давления (рисунок 4) и температуры среды (рисунок 5).

На рисунке 4 виден характер распространения давления в помольном барабане и для каждого варианта угловых скоростей получен диапазон величины давления.

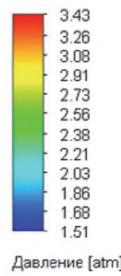
Из рисунка 5 видно, что на выходе температура больше, чем на входе. Материал с температурой в 20°C подается в барабан (на рисунке 5 справа), начинается процесс измельчения, а собственно и нагрев материала. На выходе из барабана с оребрением максимальная температура достигает $25,54^\circ\text{C}$ для варианта с угловой скоростью помольного барабана $\omega_6 = 50 \text{ с}^{-1}$ и водила $\omega_в = 77 \text{ с}^{-1}$. Для двух других значений угловых скоростей помольного барабана графики носят аналогичный характер.



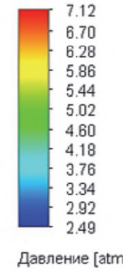
При угловой скорости барабана 26 c^{-1} , водила 40 c^{-1} При угловой скорости барабана $32,5 \text{ c}^{-1}$, водила 50 c^{-1} При угловой скорости барабана 50 c^{-1} и водила 77 c^{-1}



Давление [atm]



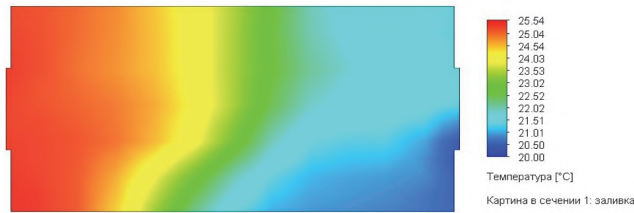
Давление [atm]



Давление [atm]

Рисунок 4 – Распространение давления в помольном барабане

При угловой скорости барабана 50 c^{-1} и водила 77 c^{-1}



При угловой скорости барабана $32,5 \text{ c}^{-1}$, водила 50 c^{-1}



При угловой скорости барабана 26 c^{-1} , водила 40 c^{-1}



Рисунок 5 – Распространение температуры в помольном барабане

В ходе экспериментальных исследований видно, что оребрение помольных барабанов предотвращает рост температуры поддерживая ее в стабильных величинах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гомалинский, В. А. Анализ движения загрузки в горизонтальной планетарной мельнице / В. А. Гомалинский, Д. Н. Боровский, Д. В. Семенов // Нефтегазохимия - 2022: материалы V Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 2 – 4 ноября 2022 г. Минск: БГТУ, 2022. С. 226–230.

2. Вайтехович, П. Е. Эффективность разрушающего воздействия мелющих тел в горизонтальной планетарной мельнице / П. Е. Вайтехович, Г. М. Хвесько, П. С. Козлов // Труды БГТУ. Минск: БГТУ, 2013. № 3 (159). С. 182–187.

УДК 697.84

Новиков С.Ю., Гребенчук П.С.

(Белорусский государственный технологический университет)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК В АСПИРАЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ

Расчёт на ветровые нагрузки – неотъемлемая часть жизни конструкторов при проектировании и разработке аппаратов и оборудования, которые подвержены воздействию ветра. Их надежность и устойчивость зависит от правильности расчётов, которые производит конструктор. В нынешней реальности оперативное выполнение заказов на разработку, экономичность производства и небольшая металлоёмкость оборудования – залог успеха.

Разработка программ для черчения и 3D моделирования для ПЭВМ дала огромный скачок в скорости выполнения конструкторской документации и её качества. Их возможности создания моделей, быстрое создание видов на основе модели, расчёт на сопротивление материала, а также многие другие возможности стали неотъемлемой частью работы конструктора. Из огромного количества программ, применимых для расчёта ветровых нагрузок, можно выделить две, наиболее, на наш взгляд, соответствующие специфике задачи: КОМПАС-3D и SOLIDWORKS.

Для расчёта различных воздействий на оборудование, отдельных узлов и деталей можно пользоваться двумя методами. Первый – расчёт нагрузок вручную и назначения их для дальнейшего моделирования

воздействия на объект исследования. Второй, более практичный, эффективный, удобный, но требующий дополнительных материальных затрат – это использовать специализированные дополнения в вышеуказанных пакетах.

Для специализированных дополнений пакетов программ КОМПАС-3D и SOLIDWORKS при моделировании ветровых нагрузок (поток) требуется задаться скоростью и направлением ветра. Создаётся отчёт в виде документа, который в дальнейшем можно использовать для расчёта на прочность дымовой трубы от силы ветрового давления. Можно сделать назначения на основе ручного расчёта. Всё зависит только от возможности ПЭВМ или обеспеченности дополнений программ, в ряде случаев лучше использовать узкоспециализированные программы.

Самый практичный самостоятельный способ расчета ветровых нагрузок без программ представлен в 11 главе СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Составляется математическая модель, проводится расчёт по секторам (объект делится на не более чем 10-метровые участки по высоте) и можно анализировать воздействие на конструкцию, например, на дымовую трубу. Далее можно приступать к финальной части разработки конструкторской документации.

В СП 20.13330.2016 указано, что нормативное значение основной ветровой нагрузки w следует определять, как сумму средней w_m и пульсационной w_g составляющих.

$$w = w_m + w_g \quad (1)$$

При определении внутреннего давления w_i пульсационную составляющую ветровой нагрузки допускается не учитывать.

Нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки w_m в зависимости от эквивалентной высоты z_e над поверхностью земли следует определять по формуле:

$$w_m = w_0 k(z_e) c \quad (2)$$

где w_0 – нормативное значение ветрового давления; $k(z_e)$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z_e ; c – аэродинамический коэффициент.

Нормативное значение ветрового давления w_0 принимается в зависимости от ветрового района. Нормативное значение ветрового давления допускается уточнять в установленном порядке на основе данных местных метеостанций. В этом случае w_0 , Па, следует определять по формуле:

$$w_0 = 0,43 v_{50}^2 \quad (3)$$

где v_{50} – скорость ветра, м/с, на уровне 10 м над поверхностью земли для местности типа А определяемая с 10-минутным интервалом осреднения и с периодом повторяемости 50 лет, т.е. превышаемая в среднем один раз в 50 лет.

Эквивалентная высота z_e определяется следующим образом. Для башенных сооружений, мачт, труб, решетчатых конструкций и т.п. сооружений z_e зависит от размера здания в направлении, перпендикулярном расчетному направлению ветра (поперечный размер), а также от высоты здания.

В расчетах могут приниматься следующие типы местности:

А – открытые побережья морей, озер и водохранилищ, сельские местности, в том числе с постройками высотой менее 10 м, пустыни, степи, лесостепи, тундра;

В – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м;

С – городские районы с плотной застройкой зданиями высотой более 25 м.

Коэффициент $k(z_e)$ определяется по формуле:

$$k(z_e) = k_{10} (z_e / 10)^{2\alpha} \text{ при } 10 \leq z_e \leq 300 \text{ м} \quad (4)$$

Значения параметров k_{10} и α для различных типов местностей приведены в таблицах.

Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки w_g на эквивалентной высоте z_e необходимо определять следующим образом:

а) для сооружений (и их конструктивных элементов), у которых первая частота собственных колебаний f_1 , Гц, больше предельного значения собственной частоты f_{lim} , – по формуле:

$$w_g = w_m \xi(z_e) v \quad (5)$$

где $\xi(z_e)$ – коэффициент пульсации давления ветра, принимаемый по таблице или формуле для эквивалентной высоты (z_e); v – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра.

$$\xi(z_e) = \xi_{10} (z_e / 10)^{-\alpha} \text{ при } 10 \leq z_e \leq 300 \text{ м} \quad (6)$$

Значения параметров ξ_{10} и α для различных типов местностей приведены в таблицах;

б) для всех сооружений (и их конструктивных элементов), у которых $f_1 < f_{lim} < f_2$ – по формуле:

$$w_g = w_m \xi \zeta(z_e) v \quad (6)$$

где f_2 – вторая собственная частота; ζ – коэффициент динамичности, определяемый по схеме в зависимости от суммарного логарифмического декремента колебаний δ и безразмерного периода $T_{g,1}$.

Основные цели наших исследований – это получение данных по ветровым нагрузкам для исследуемых моделей дымовых труб в детальном и упрощённом варианте, их сравнение и анализ. Модели представляют собой дымовые трубы аспирационных установок с различными исполнениями и направлениями потока.

Варианты исполнения следующие: дымовая труба из кирпича с монолитным фундаментом, дымовая труба металлическая, секционная с резьбовыми креплениями, закреплённая на фундаментных болтах, а так же её варианты с расположением у стены цеха с креплением одного или нескольких кронштейнов, дымовая труба цельнометаллическая с креплением у подошвы сварным швом и дополнительной фиксацией с помощью металлических тросов.

Основное направление исследования – разработка методологии упрощённого расчёта дымовых труб аспирационных установок и установление целесообразности применения подробных моделей при расчёте ветровых нагрузок и закупки специализированных программ и дополнений к программным пакетам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свод правил нагрузки и воздействия актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* СП 20.13330.2016.

УДК 66.021.3

Ланкин Р.И., Францкевич В.С.

(Белорусский государственный технологический университет)

Нурмухамедов Х.С.

(ТХТИ, г. Ташкент, Узбекистан)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ЭЛЕМЕНТА НАСАДКИ НА ГИДРОДИНАМИКУ В МАССООБМЕННОМ АППАРАТЕ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

Развитие промышленности с ростом объема производства сопровождается выбросами промышленных газов в атмосферу. Очистка отходящих газов должна обеспечить утилизацию ценных компонентов и охрану окружающей среды от загрязнения. Как правило, на очистку

поступает большой объем газовой фазы, при этом требуется высокая степень извлечения компонентов [1].

Один из наиболее эффективных способов очистки промышленного воздуха является мокрая очистка газов. Аппараты мокрого пылеулавливания отличаются простотой конструкции. Довольно часто используются аппараты с подвижной насадкой, вопреки тому, что они появились сравнительно недавно [2, 3].

Насадка, находящаяся внутри абсорбера, удерживается в псевдоожоженном состоянии газовым потоком. Жидкость, которая поступает в абсорбер, создает пленку, обтекающую поверхность насадочных элементов, или может находиться в виде струй или капель, распределенных в газе [2, 4].

Целью данной работы являлось изучение влияния формы подвижной насадки на гидродинамику колонны.

В качестве объекта исследования была выбрана абсорбционная установка, с маленьким диаметром, в которой находился один элемент насадки. В качестве элемента насадки использовались шары диаметром d , изображенные на рисунок 1.

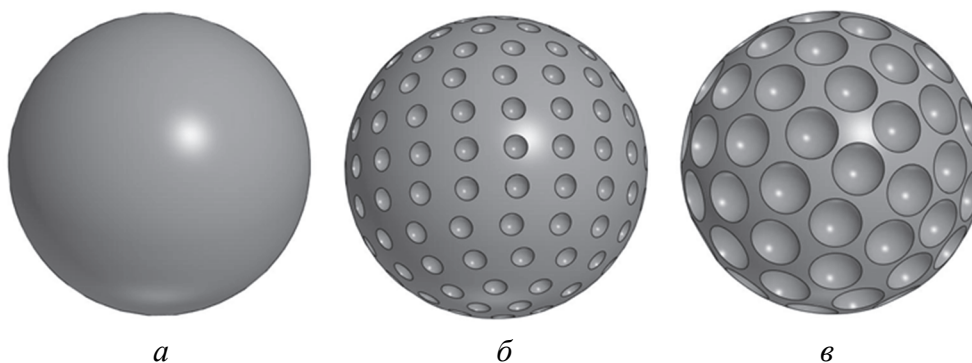


Рисунок 1 – Насадочные тела шарообразной формы
 a – форма 1; $б$ – форма 2; $в$ – форма 3

На рисунке 1, a изображен шар, который представляет собой правильную сферу, и не содержит «лунок». В дальнейшем такой шар будет называться Форма 1. На рисунке 1, $б$ представлен шар, выполненный в виде правильной сферы. Это шар содержит «лунки» глубиной $0,0375d$. Расстояния между соседними «лунками» лежит в диапазоне $1 \div 1,5$ диаметра самих «лунок». Далее такой шар именуется как Форма 2. Шар (рисунок 1, $в$), выполнен также в виде правильной сферы, в котором имеются «лунки», глубиной $0,0875d$. Расстояния между соседними лунками составляют до $0,5$ диаметров самих «лунок». Этот шар в дальнейшем будет называться Форма 3. Центры тяжести этих шаров находятся в центре шара, без смещения.

Также был изготовлен элемент насадки со смещенным центром тяжести, который представлен на рисунок 2.

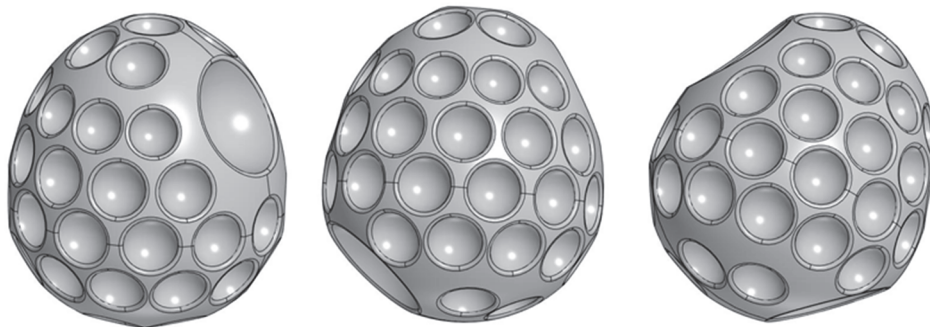


Рисунок 2 – Элемент насадки со смещенным центром тяжести

Данный элемент насадки изготовлен яйцевидной формы. На нем располагается «лунки», глубиной $0,0875d$, а также на этом элементе имеются 2 большие «лунки», глубина которых составляет $0,225d$. Эти «лунки» расположены друг напротив друга. Центр тяжести такого элемента насадки в смещен к низу элемента. В дальнейшем будет именоваться как Форма 4.

Все эти элементы насадок изготовлены из пластика, распечатанные на 3D принтере. Плотности каждого из них составляют 400 кг/м^3 .

Отношение диаметров колонны к шару равна $D / d = 1,125$. Такое отношение было выбрано из-за того, что все элементы насадки совершают хаотичные и пульсационные движения и находятся во время работы во взвешенном состоянии [5]. Очевидно, что расстояние внутри самой насадки между элементами незначительное. Исходя из вышеизложенного видно, что данное экспериментальное исследование приближено к работе насадки на предприятиях.

В процессе исследования скорость газовой фазы в колонне составляла $0,8\text{--}1,35 \text{ м/с}$, а плотность орошения жидкой фазой составляла $0,0087 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$. По результатам экспериментов был построен график зависимости гидравлического сопротивления насадки от скорости газа в колонне, изображенный на рисунке 3.

Из графика заметно что с увеличением скорости газа гидравлическое сопротивление возрастает по траектории в виде параболы. Насадка в колонне находилась во взвешенном состоянии по всей траектории графика, а по окончанию линии графика происходил отрыв насадки. Насадка со смещенным центром тяжести в начале находилась в двух положениях: горизонтальном (рисунок 3, *a*) и вертикальном (рисунок 3, *b*). В данных опытах отрыв происходил значительно раньше, чем в других насадках.

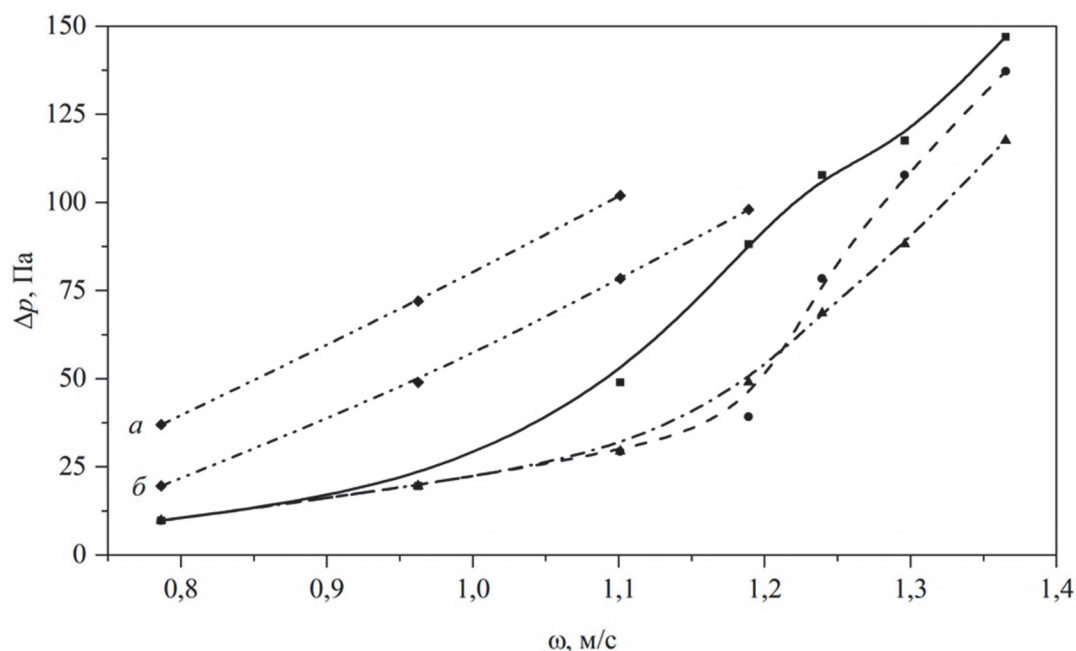


Рисунок 3 – Зависимость гидравлического сопротивления элемента насадки от скорости газа в колонне:
 —●— — форма 1; -●- - форма 2; -▲- - форма 3; -◆- - форма 4;
 а – горизонтально; б – вертикально

Наибольшее гидравлическое сопротивление из насадок в форме шара наблюдается в насадке формы 1. До скорости газовой фазы в колонне 1 м/с, форма «лунок» не оказывает существенного изменения на гидравлическое сопротивление. Свыше этой скорости экспериментальные линии начинают расходиться. Наименьшее гидравлическое сопротивление достигается с использованием насадки формы 3.

Также можно отметить, что наличие, количество и глубина «лунок» оказывают влияние на гидравлическое сопротивление. Шар с «лунками» меньшего диаметра испытывает наибольшее гидравлическое сопротивление. Это объясняется тем, что при подаче жидкой фазы на насадку, она может заполнять собой множество «лунок» небольшого размера. Такой шар будет схож с «гладким», но по сравнению с ним шаром поверхность массообмена будет больше.

Следующим этапом исследования планируется проведение компьютерного моделирования по исследованию гидравлического сопротивления насадки с использованием компьютерной модели гидродинамики газожидкостных потоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ланкин Р.И., Францкевич В.С. Гидравлическое сопротивление абсорбера с подвижной шаровой насадкой / Труды БГТУ. Сер. 2, Хим.

технологии, биотехнология, геоэкология. – 2022. – № 2(259). – С. 107–114. DOI 10.52065/2520-2669-2022-259-2-107-114

2. Ланкин, Р.И., Францкевич В.С. Влияние геометрических параметров опорно-распределительных решеток на гидродинамику в массообменном аппарате с подвижной шаровой насадкой / Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2023. – № 2. – С. 108–112. DOI 10.52928/2070-1616-2023-48-2-108-112.

3. Ланкин Р.И., Францкевич В.С., Шаповалов Ю.П. Гидродинамика в аппаратах с подвижной насадкой // Нефтехимия-2021: материалы IV Междунар. науч.-техн. форума по хим. технологиям и нефтегазопереработке / Минск (22–24 нояб. 2021 г.).– Минск: БГТУ, 2021. – С. 228–231.

4. Ланкин Р.И., Францкевич В.С. Гидравлическое сопротивление абсорбционной колонны с подвижной насадкой // Химическая технология и техника: материалы 86-й науч.-техн. конф. професс.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов / Минск (31 янв. – 12 февр. 2022 г.) – Минск: БГТУ, 2022. – С. 148–151.

5. Балабеков О.С., Волненко А.А. Расчет и конструирование тепло-массообменных и пылеулавливающих аппаратов с подвижной и регулируемой насадкой. – Шимкент: GOLDYES, 2015. – 184 с.

УДК 621.926

Пыкавая О.А., Боровский Д.Н.

(Белорусский государственный технологический университет)

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЫ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ
И МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЗАГРУЗКИ
И ПОМОЛЬНОЙ КАМЕРЫ**

Для сверх тонкого помола рационально применять машины, в которых мелющие тела воздействуют на материал с высокой частотой, например, вибрационные мельницы [1].

Вибрационная мельница обычно представляет собой камеру, заполненную загрузкой, состоящей из обрабатываемого материала, среды и специальных обрабатывающих тел (шаров, цилиндров, стержней, валков, труб и т.п.). Загрузке сообщается посредством периодического вибрационного движения камеры или расположенных в ней

специальных поверхностей. В результате возникают относительные движения частиц загрузки, и в зонах их контакта при соударении создаются высокие механические напряжения, приводящие к изменению структуры твердых частиц, а также среды, заполняющей пространство между ними.

Основными технологическими параметрами, характеризующими рабочий процесс вибрационных мельниц, являются потребляемая мощность пропорциональная диссипации энергии в загрузке, производительность, т.е. выход продукта в единицу времени, эффективность, которую оценивают по выходу продукта на единицу затраченной энергии, а также интенсивность, характеризующая величину средних напряжений в материале и представляющая собой отношение мощности к объему загрузки материала и частоте колебаний.

Перечисленные технологические параметры процесса определяются геометрическими и механическими характеристиками загрузки (размеры тел, скорость движения частиц, частота соударения и др.).

Вибрирующие поверхности камеры сообщают движение периферийным частицам загрузки, которые, соударяясь, передают его более отдаленным слоям и т.д. Таким образом, по загрузке распространяется волна. В процессе распространения направленного колебательного движения его интенсивность уменьшается по мере удаления от колеблющейся поверхности. Это связано с возникновением хаотического движения частиц вследствие не центральности их соударений, а также с рассеиванием механической энергии при каждом соударении. При колебательном движении относительная скорость частиц мала, вследствие чего количество энергии, переходящее в тепло, сравнительно невелико; относительная скорость частиц при хаотическом движении значительно выше, поэтому основная часть кинетической энергии рассеивается в процессе соударения частиц при хаотическом движении.

Скорость колебательного движения определяется параметрами движения камеры. Обычно камера взаимодействует с загрузкой в течение большей части периода движения, поэтому частота колебательного движения совпадает с частотой движения камеры.

Скорость хаотического движения частиц представляет собой случайную величину, направление которой равновероятно; мгновенное распределение частиц по скорости ассиметрично (типа распределения Максвелла), при этом вероятное значение скорости близко к скорости колебательного движения [2]. Распределение частиц по скорости нестационарно вследствие диссипации энергии при их соударении.

В момент соударения частиц загрузки в результате действия инерционных сил в них возникает напряженное состояние. Величина инерционной силы существенно зависит от степени неупругости соударения.

Средние напряжения, возникающие в слое материала, защемленного при соударении тел, определяется по формуле:

$$\sigma_{M_{ст}} = \frac{2}{3} \frac{\sqrt{E_T f_T}}{f^2} \tilde{a} c = K_3 \frac{\sqrt{E_T \rho_T}}{f^2} c \quad (1)$$

где E_T – модуль упругости тел, Па; ρ_T – плотность тела, кг/м³; \tilde{a} – отношение скорости звука в среде, ограниченной половиной толщины слоя материала и толщиной (диаметром) тела $a_{прив}$, к скорости звука в теле a_T ; c – средняя относительная скорость частиц, м/с; f – коэффициент трения между телами и материалом.

При $c = 1$ м/с, $E_T = 10^5$ МПа, $\rho_T = 10^3$ кг/м³, $f = 0,3$, принимая $\tilde{a} = 1$, получим $\sigma_{M_{ст}} = 2 \cdot 10^3$ МПа.

Напряжения на площади контакта равны средним напряжениям в слое. Предельная относительная скорость тел, при которой происходит их разрушение, определяется на основе формулы:

$$c_{T_{max}} = \frac{\sigma_{ст}}{\frac{2}{3} \frac{\rho_T}{f^2}} a_T \tilde{a} \quad (2)$$

где $\sigma_{ст}$ – предел прочности материала тел.

С увеличением количества материала, у которого обычно $E_{M_{ст}} < E_T$ значения a_T уменьшается, а следовательно, предельная скорость возрастает.

При соударениях частиц их скорость уменьшается из-за рассеивания механической энергии вследствие их деформации и разрушения, что учитывает коэффициент рассеивания энергии:

$$K_4 = 1 - \left(\frac{c_1}{c_0} \right) \approx \eta_0 + \frac{(1-i)\mu_{V_M}(1-\mu_T)}{18\sqrt{2}\mu_{V_T_{перд.}} \cdot \mu_T (1-\mu_{V_T_{перд.}} \cdot \mu_T \cdot E_{мсл})} \quad (3)$$

где c_0, c_1 – скорость частиц (тел) до и после удара; μ_0 – коэффициент рассеивания энергии при соударениях крупных частиц (тел).

Частота соударения одного тела с окружающим его телами находится по формуле:

$$\omega_T^{(1)} = \frac{c}{\lambda_T} = \frac{6\sqrt{2}\mu_{V_T_{перд.}} \cdot \mu_T \cdot c}{(1-\mu_T)(1-\mu_{V_T_{перд.}})d_T} \quad (4)$$

Частота соударений тел в единице объема определяется:

$$\omega_{TV}^{(1)} = \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{c}{d_T^4 \beta_T} \frac{\mu_{V_T_{перд.}} \cdot \mu_T}{(1-\mu_T)(1-\mu_{M.пр.})} \quad (5)$$

Хаотическое движение частиц загрузки при вибрировании приводит к возникновению динамического давления на неподвижную поверхность вследствие соударения частиц со стенкой:

$$P_g = (1 + k_T) m_T c \omega_{TS} = 8 \frac{\mu_T \rho_T c^2}{(1 - \mu_T)(1 - \mu_{M_{np}})} \quad (6)$$

где $k_T \cong \sqrt{1 - k_T}$ – коэффициент восстановления скорости при соударении тел; m_T – масса тела; ω_{TS} – частота соударений тел с единицей поверхности стенки.

$$B = \frac{1}{6} (1 + k_T) \frac{\mu_T \rho_T c^2}{(1 - \mu_{M_{np}})} \quad (7)$$

Уравнение (6) связывает скорость частиц c из объемной концентрации. В зависимости от конструкции камеры и режима работы могут быть реализованы различные зависимости между концентрацией и давлением [3]:

а) загрузка свободно расширяется в поле массовых сил (например, силы тяжести). В этом случае динамическое давление равно массе столба загрузки и не зависит от частиц:

$$P_g = g \rho_T \mu_{V_T \text{непрд.}} H_{CT} = g \rho_T \mu_{V_T \text{непрд.}} \mu_T H \quad (8)$$

Зависимость концентрации от скорости определяется:

$$\mu_T = \frac{\frac{B c^2}{\mu_{V_T \text{непрд.}} H_{CT}}}{1 - \frac{B c^2}{\mu_{V_T \text{непрд.}} H_{CT}}} \quad (9)$$

Зависимость частоты соударений от скорости:

$$\omega_{TV}^{(1)} = \frac{1}{\lambda_T} \left(\frac{\mu_{V_T \text{непрд.}} H_{CT}}{B c^2} + c \right) \quad (10)$$

имеет минимум при

$$c_{\min} = \sqrt{\frac{\mu_{V_T \text{непрд.}} H_{CT}}{B}} \quad (11)$$

Значения c_{\min} различны в зависимости от высоты столба загрузки H_{CT} .

б) расширение загрузки ограничено объемом камеры. Условие перехода к этому режиму:

$$\mu_{VT} = \mu_{VTK} \equiv \frac{V_T}{V_K} \quad (12)$$

где μ_{VTK} – объёмная концентрация тел V_T , отнесенная к объему камеры V_K .

Если загрузка состоит из тел и материала, скорость хаотического движения частиц материала в первом приближении может быть принята равной скорости тел; динамическим давлением, создаваемым материалом, можно пренебречь.

Диссипация энергии в загрузке определяется по формуле:

$$N = K_4 \frac{mc^2}{2} \varpi_{T_V}^{(1)}(c) \quad (13)$$

С увеличением концентрации материала при неизменной концентрации тел k_4 увеличивается, а средняя скорость тел уменьшается. Вследствие этого при определенной концентрации материала мощность, поглощаемая загрузкой, достигает максимума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ходаков, Г.С. Физика измельчения / Г.С. Ходаков. – М.: Наука, 1972. – 278 с.
2. Мякишев, К.Г. Вибрационная мельница-активатор механохимических реакций / К.Г. Мякишев, В.В. Волков. – Новосибирск: ИНХ, 1989. – 42 с.
3. Аввакумов, Е.Г. Механические методы активации химических процессов / Е.Г. Аввакумов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 304 с.

УДК 621.565.942/944

Сухоцкий А.Б.

(Белорусский государственный технологический университет)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

В нефтегазовой промышленности нашли применение теплообменные аппараты (ТА) пластинчатого типа [1], представляющие собой пакет гофрированных пластин, между которыми, чередуясь, движутся теплоносители. К важнейшим конструктивным особенностям, влияющим на интенсивность теплообмена, относится профиль пластины. Для потребителей теплотехнического оборудования наличие разнообразных сложных форм и размеров поверхности теплообмена в пластинчатых

аппаратах делает актуальной задачей объективного сравнения конструкций различных производителей ТА одинакового назначения.

Совершенство ТА при вынужденном движении рабочих сред характеризует соотношение теплоты Q , переданной в аппарате, и затрат мощности N на преодоление гидравлических сопротивлений в каналах аппарата. М. В. Кирпичёвым введено понятие энергетического коэффициента [2]:

$$E = Q / N \quad (1)$$

Однако в таком виде методика оценки эффективности не получила широкого применения из-за неоднозначности коэффициента E в зависимости от принятых скоростей рабочих сред, соотношений коэффициентов теплоотдачи, температур и других факторов. Дальнейшее развитие методики оценки на основе энергетического коэффициента выполнено В.М. Антуфьевым с использованием удельных показателей для определения теплосъема и энергозатрат [3]:

$$E_0 = \frac{\alpha}{N_0} \quad (2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² °С); $N_0 = \Delta p \cdot v \cdot f / F$ – удельные энергозатраты, Вт/м², F – площадь поверхности теплообмена, м²; Δt – температурный напор между поверхностью теплообмена и средой, °С; Δp – потери давления при движении среды, Па; v – скорость теплоносителя в канале, м/с; f – проходное сечение канала, м².

В такой записи энергетический коэффициент характеризует количество теплоты, переданной при разности температур между поверхностью теплообмена и средой в 1°С, при затратах энергии в 1 Вт на движение рабочей среды при обтекании 1 м² поверхности теплообмена. Коэффициент E_0 определяет теплоэнергетическую эффективность поверхности теплообмена конкретной конструкции и отражает уровень оптимизации внутренних параметров канала со стороны одного из теплоносителей, но не выражает эффективность ТА в целом.

В работе [4] предложено учесть эффективность интенсификации на сложных формах поверхности пластинчатых ТА зависимостью:

$$E_0 = \alpha / N_0^m \quad (3)$$

Отражающей отношением коэффициента теплоотдачи α к удельным энергозатратам на преодоление гидравлических сопротивлений N_0 в степени m , которая определяется для каждой новой формы поверхности экспериментально. Введение в зависимость степени не является

принципиальным, так как энергетический коэффициент является сравнительным относительным параметром, который выражает отношение двух разных типов энергии – тепловой и механической.

В работе [4] выполнено сравнение эффективности внутренних параметров различных конструкций сетчато-поточных пластин пластинчатого теплообменника в эталонных условиях по энергетическому коэффициенту (3). Однако данное выражение позволяет оценить энергетическую эффективность пластинчатого теплообменника в целом, только при условии равенства расходов греющего и нагреваемого теплоносителя.

Совместное решение уравнений гидродинамики и теплоотдачи позволяет получить выражение для пластинчатого ТА:

$$E_0 = \frac{\alpha}{N_0^m} = \lambda \cdot \text{Pr}^{0,43} \cdot (\rho \cdot v^3)^{-\frac{n}{3-p}} \cdot C \cdot \left(\frac{4F}{f \cdot L \cdot A} \right)^{\frac{n}{3-p}} \cdot d_3^{\frac{4n+p-3}{3-p}} \quad (4)$$

где $m = n / (3 - p)$, ζ – коэффициент общего гидравлического сопротивления канала; L – длина канала, м; d_3 – эквивалентный диаметр канала, м; ρ – плотность рабочей среды, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м К); ν – кинематическая вязкость, м²/с; v – скорость рабочей среды в каналах, м/с; A , C , n , p – коэффициент, характеризующий влияние внутренних параметров на гидродинамику и теплообмен потока в каналах сложной формы, определяемые по опытным данным.

В уравнении (4) комплекс $\lambda \cdot \text{Pr}^{0,43} \cdot (\rho \cdot v^3)^{-\frac{n}{3-p}}$ определяет влияние физических свойств теплоносителя на эффективность теплообмена. Рассмотрим влияние физических свойств теплоносителя (воды) на примере каналов теплообменника, составленных из двух типов сетчато-поточных пластин с одинаковыми площадью теплообмена $F = 0,446$ м² и геометрией гофр $d_3 = 0,0046$ м, $f = 0,00052$ м², $L = 0,693$ м (рис. 1). В пластинах разные углы расхождения гофр φ к вертикальной оси (90 и 120°), что приводит к возможности составления из них трех типов каналов (жесткий, средний и мягкий) с различными теплогидравлическими коэффициентами.

Зависимость энергетического коэффициента от температуры воды представлена на рис. 1, а. Как видно при увеличении температуры воды от 20 до 100°С энергетический коэффициент повышается в 1,23–1,32 раза, что обусловлено, прежде всего, снижением вязкости воды и, соответственно, уменьшением гидравлических потерь в каналах.

Для сравнительной оценки эффективности готовых конструкций пластинчатых ТА рассмотрим коэффициент теплопередачи (удельную интенсивность теплового процесса):

$$k = \left[\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2} \right]^{-1} \quad (5)$$

где α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи греющего и нагреваемого теплоносителя, Вт/(м² К); $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности материала трубы, Вт/(м К); $\delta_{ст}$ – толщина стенки пластины, м.

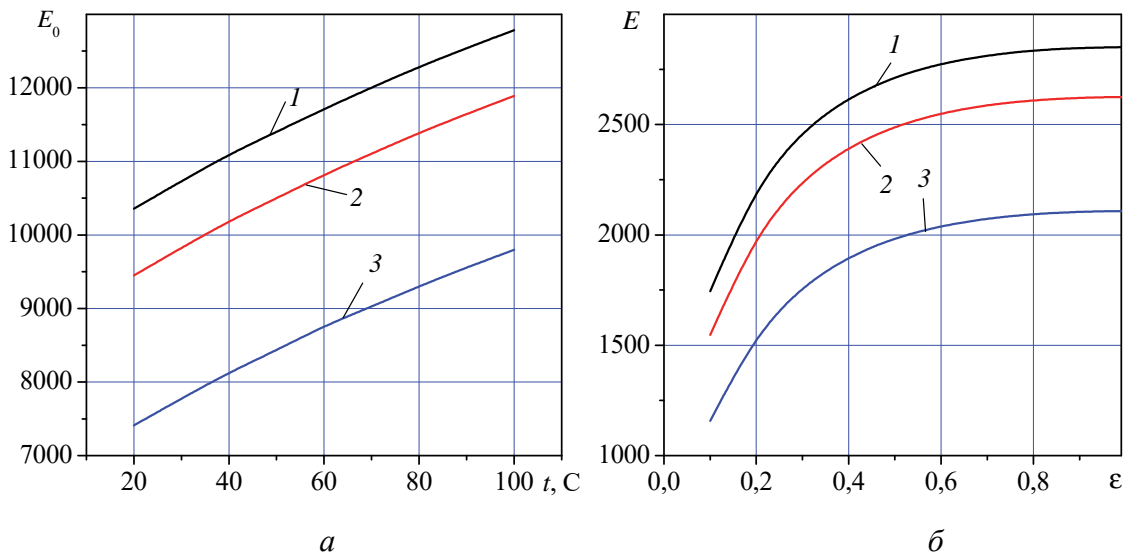


Рисунок 1 – Зависимости энергетических коэффициентов от температуры t и отношения расходов теплоносителей ϵ для различных типов канала
 1 – жесткий, 2 – средний, 3 – мягкий

При чистой поверхности теплообмена величиной термического сопротивления тонкой металлической стенки можно пренебречь.

Тогда с учетом параметров обоих теплоносителей выражение для определения коэффициента энергетической эффективности примет вид:

$$E = C \cdot \lambda \cdot \text{Pr}^{0,43} \left(\frac{4F}{f \cdot L \cdot A \cdot \rho} \right)^{\frac{n}{3-p}} \cdot d_9^{\frac{4n+p-3}{3-p}} \cdot \nu^{\frac{3n}{3-p}} \left(2 + \epsilon^n + \epsilon^{-n} \right)^{-1} \quad (6)$$

Зависимость энергетического коэффициента в эталонном режиме (свойства воды приняты при средней температуре 50°C) от отношения расходов теплоносителей представлена на рис. 1, б. Как и следовало ожидать, неравномерность тепло-гидравлических показателей приводит к снижению энергетической эффективности ТА. Однако существенное уменьшение энергетического коэффициента (более 5%) происходит только при различии в расходах больше 50%. Причем уменьшение значительнее при более высоком показателе степени n .

ЛИТЕРАТУРА

1. Барановский, Н.В. Пластинчатые и спиральные теплообменники / Н.В. Барановский, Л.М. Коваленко, А.Р. Ястребенецкий. – М., «Машиностроение», 1973. – 288 с.
2. Кирпичев, М.В. О наивыгоднейшей форме поверхности теплообмена / М.В. Кирпичев // Известия ЭНИН. – 1944. – т. 12. – С. 10–15.
3. Антуфьев, В.М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева / В.М. Антуфьев. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 130 с.
4. Тарадай, А.М. К вопросу оценки теплоэнергетической эффективности теплообменников, применяемых в муниципальной теплоэнергетике / А.М. Тарадай, Л.М. Коваленко, Е.П. Гурин // Новости теплоснабжения. 2003. – №6 (34).

УДК 622.013:005.71:001.895 (476.1)

Прушак В.Я.

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

ЗАО «СОЛИГОРСКИЙ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ С ОПЫТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ» – ГОРДОСТЬ ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ БЕЛАРУСИ

Образованное в 1991 году предприятие ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» является крупным научно-производственным центром горного машиностроения и геотехнологии, располагающим собственной исследовательской, экспериментальной и производственной базой, включающей механо-сборочные цехи. Предприятие является ведущим национальным разработчиком и поставщиком более 250 наименований импортозамещающего горнодобывающего, обогатительного, подъемно-транспортного, бурового и специального оборудования, а также морских терминалов по перевалке крупнотоннажных сыпучих грузов.

С 2012 года предприятие аккредитовано в качестве научной организации. В настоящее время на предприятии работает более 1500 высококвалифицированных специалистов и рабочих, в том числе 3 доктора технических наук, 9 кандидатов технических наук, 6 лауреатов Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, 119 исследователей, выполняющих научные и конструкторско-технологические разработки.

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 ступени послевузовского образования.

Важным этапом развития является организация в 2020 году научно-производственного холдинга «ИПР», объединившего несколько научных и производственных предприятий Солигорского и Любанского региона в области горного машиностроения, геотехнологии и техники геологоразведочных работ. Управляющей компанией холдинга ЗАО «Солигорского Института проблем ресурсосбережения с Опытным производством» является ООО «Машиностроительная корпорация», в состав которой входит ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», дочерними предприятиями которого являются УП «Институт горной автоматики» и УП «Институт горного дела», также в состав корпорации входят ООО «Завод Бургомаш» и ООО «Завод Тяжелого Машиностроения».

Основными задачами предприятия является 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 научно-производственной деятельности Института включают разработку и опытно-серийное производство:

– горно-шахтных машин и оборудования – очистных, проходческих и проходческо-очистных комбайнов и комплексов, машин щеле-нарезных и погрузочных, маслостанций передвижных;

– оборудования шахтного подъема – машин подъемных проходческих, клетей, скипов, машин породопогрузочных, подвесных устройств, лебедок, подъемников лифтовых, шкивов копровых;

– конвейеров – ленточных (панельных, телескопических, магистральных, солеотвальных, катучих), скребковых (забойных, штрековых, общего назначения), винтовых;

– оборудования обогатительного – мельниц шаровых и стержневых, дробильно-сортировочных станций, сгустителей, установок сушильных, вакуум-фильтров;

– оборудования для производства гранулированных минеральных удобрений (комплексных и однокомпонентных) – смесителей (шнековых, роторных, барабанных), дробилок, растворителей, охладителей, грануляторов, прессов валковых, линий тукосмешения;

- машин для открытых горных разработок на шагающем и гусеничном ходу – землеройных (драглайнов), отвалообразователей;
- бурового оборудования – насосов и насосных станций, стационарных и мобильных буровых установок, лебедок, кранов;
- оборудования и комплексов по перегрузке сыпучих материалов – кратцер-кранов, элеваторов, станций разгрузки сыпучих материалов из железнодорожных вагонов, складских комплексов для сыпучих продуктов, морских и речных терминалов по перегрузке сыпучих материалов;
- оборудования горной автоматики и управления – автоматических систем контроля и управления на базе микропроцессорной техники, электротехнических устройств, пневмоприводов исполнительных органов;
- специального подъемно-транспортного оборудования для метрополитенов, аэропортов, торговых центров, транспортных узлов (эскалаторы, конвейеры пассажирские).

За последние 5 лет на предприятии выполнено немало работ в области горного машиностроения, разработаны и изготавливаются новые виды продукции, которые пользуются спросом в горнодобывающей промышленности:

- машина скиповая шахтная подъемная;
- эскалатор тоннельный;
- вышка буровая;
- пресс валковый;
- машина погрузочная для подземного склада руды;
- фильтр барабанный вакуумный;
- Отвалообразователи шагающие;
- Бункер-перегрузатель.

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. Ежегодно, начиная с 2016 года, продукция предприятия удостоивалась звания победителя (лауреата) конкурса «Лучшие товары Республики Беларусь» в номинации «Продукция производственно-техническая».

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.

География поставок готового оборудования включает страны Европейского Союза, Россию, Украину, Казахстан и Туркмению.

Предприятие предлагает гибкие условия сотрудничества и индивидуальный подход к каждому покупателю, оказывает логистические услуги по доставке товара.

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.

В будущем Общество планирует расширять номенклатуру продукции, увеличивать объемы производства и повышать качество выпускаемого оборудования.

УДК 661.152:622.788

Волчек О.М.

(Барановичский государственный университет)

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ
ПОЛУФАБРИКАТА ГРАНУЛИРОВАННОГО ХЛОРИСТОГО
КАЛИЯ В УСЛОВИЯХ ФЛОТАЦИОННЫХ
ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»**

Выполнено исследование эффективности технологического процесса получения полуфабриката гранулированного хлористого калия в условиях флотационных обогатительных фабрик ОАО «Беларуськалий – СОФ-1, СОФ-2, СОФ-3». Ставилась задача комплексной оценки всех технологических переделов на предмет соответствия их технологических параметров современным научным представлениям в области переработки калийного сырья и соответствия используемого технологического оборудования предъявляемым требованиям, а также выработки рекомендаций, направленных на совершенствование технологического процесса.

По результатам исследования сделан вывод, что на всех трех предприятиях для получения гранулированного продукта применяются одинаковые технологические схемы и практически одинаковое оборудование. Это продиктовано как сходными физико-механическими и физико-химическими параметрами продуктов обогащения, так и стремлением специалистов объединения проводить по-возможности единую техническую политику.

Поступающий на переработку в отделения грануляции исходный продукт (далее шихта), состоящий из кека концентрата хлористого калия, выгрузки сушильных установок и разгрузки циклонов

системы пылеулавливания, на первом этапе технологического процесса проходит операцию гомогенизации по грансоставу и влажности, а также структурную агломерацию частиц. В качестве основных аппаратов этого технологического передела используются смесители-агломераторы, в которых осуществляется обработка шихты в присутствии структурообразующего реагента – 15 % водного раствора кальцинированной соды (Na_2CO_3).

По результатам обследования этого передела нами были выработаны следующие рекомендации по его совершенствованию:

– заменить существующие смесители-агломераторы, имеющие конструктивные недостатки и не обеспечивающие качественную агломерацию, на более совершенные аппараты – турболопастные смесители-агломераторы типа ТЛА-080 (заявка на получение патента на изобретение ВУ № а 20220330), разработанные нами для выполнения операции агломерирования смеси частиц мелкозернистого и пылевидного хлористого калия (рисунок 1).

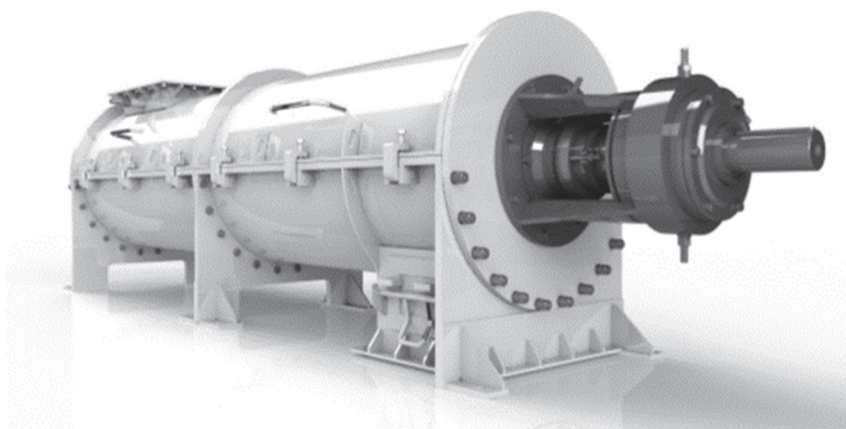


Рисунок 1 – Турболопастной смеситель-агломератор ТЛА-080

Аппарат создан в результате глубокой модернизации турболопастного смесителя-гранулятора ТЛГ-080. Его изготовление организовано в ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством». В этом аппарате обеспечивается создание равномерного высокоэнергетического поля потока материала высокой плотности ($400\text{-}500 \text{ т/ч}\cdot\text{м}^2$), способствующего получению механоактивированных поверхностей обрабатываемых частиц с высокой степенью их межмолекулярного сцепления между собой, достаточного для качественной структурной агломерации шихты;

– дозировку структурообразующего реагента в смеситель осуществлять в строгом соответствии стехиометрии по отношению к хлоридам

кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}), содержащихся в исходном продукте. Важность такого соответствия для обеспечения высоких гидрофобизирующих свойств готовых гранул была убедительно показана в ряде работ [1]. В тоже время в период проведения исследования было выявлено существенное расхождение фактического расхода и расхода, рассчитанного теоретически, с учетом физико-химического состава шихты. Так расчетная стехиометрия составляла 0,09–0,10 % Na_2CO_3 , а фактический расход составлял 2,0 % Na_2CO_3 .

Полученная влажная агломерированная шихта из аппаратов агломерирования подается в сушильные установки кипящего слоя для обезвоживания шихты, разогрева ее до необходимой температуры прессования и завершения процесса агломерирования материала.

Исследование этого технологического передела позволило выработать следующие рекомендации по улучшению технологического процесса:

– сушка шихты флотационного хлористого калия должна производиться путем нагрева ее до температуры 100–130 °С для обеспечения необходимой текучести материала, а также для снижения содержания в нем остаточных аминов путем их частичной термодеструкции и термодесорбции с поверхности частиц, на возможность чего указывалось в работе [2]. При этом чем мельче грансостав продукта, тем более высокое содержание остаточных аминов в нем (иногда может достигать значений 100 г/т), и тем более высокие температуры нагрева продукта требуются. При рекомендованном режиме сушки содержание массовой доли аминов в шихте, поступающей на прессование, снижается примерно на 20 %, что сказывается положительно на эффективности прессования;

– загрузку сушильных установок необходимо регулировать с учетом необходимости поддерживать режим низкой интенсивности сушки с тем, чтобы испарение воды в газовую фазу начиналось сразу в глубине зерна и не происходило бы образование уплотненной поверхностной корки из сухого материала на частицах шихты, растрескивание зерен и разрушение их структуры вследствие высокого давления образовавшегося пара во внутренних участках частиц.

Прессование шихты (рисунок 2) осуществляется на валковых прессах с целью получение плитки спрессованного материала плотностью до 1970–2000 кг/м³. Анализ особенностей этого процесса позволил установить, что типичным негативным фактором, снижающим производительность процесса, является налипание материала на рабочую поверхность валков прессового оборудования в условиях высоких температур прессования. Для устранения этого недостатка предложено модернизировать участки прессования путем замены существующих валковых прессов на разработанные нами валковые прессы типа ПВПО

650×1000 (рисунок 3) с охлаждаемыми валками (патент на изобретение RU 2797229). Положительный опыт эксплуатации валковых прессов такой конструкции производства ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» в условиях отделений гранулирования хлористого калия ПАО «Уралкалий» позволяет с уверенностью рекомендовать предлагаемую модернизацию и на обогатительных фабриках ОАО «Беларуськалий».

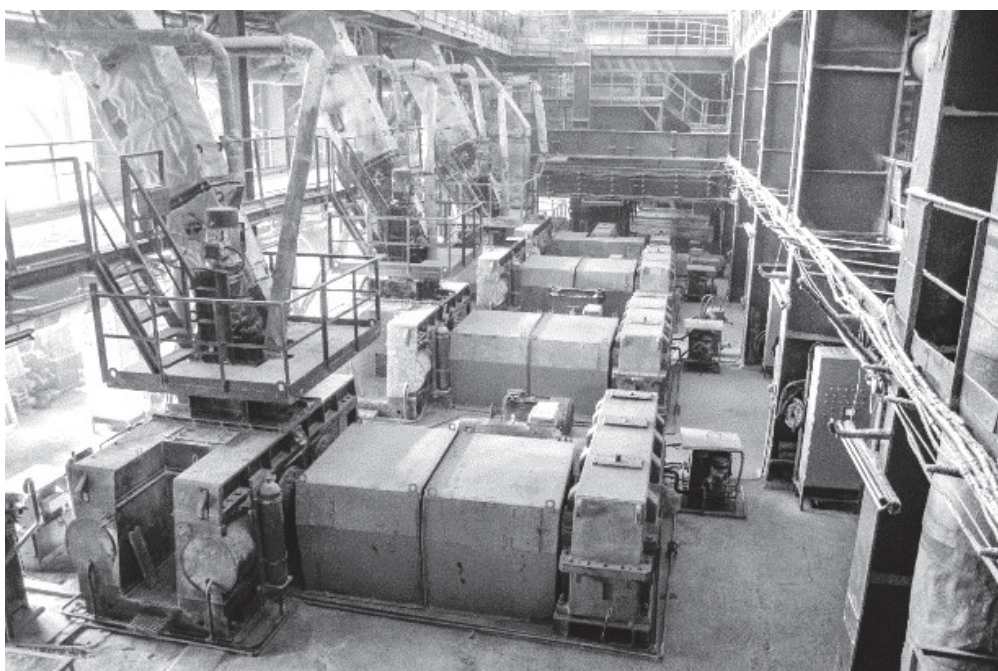


Рисунок 2 – Общий вид установок прессования

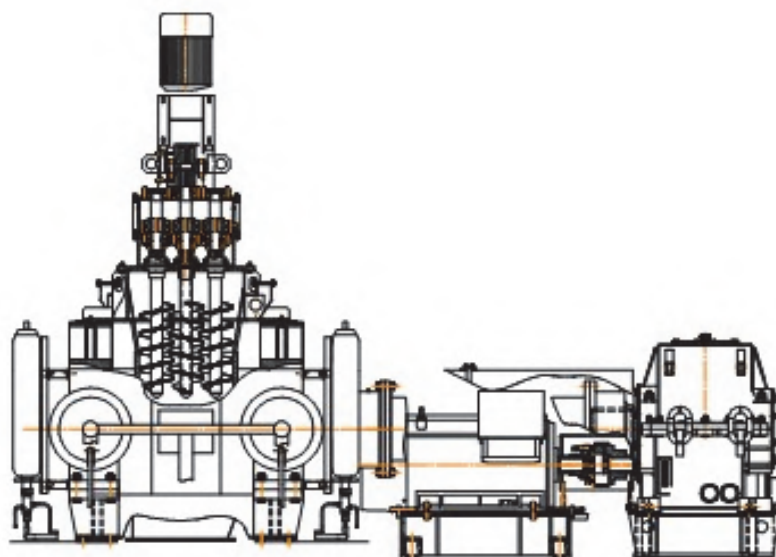


Рисунок 3 – Пресс валковый ПВПО 650×1000

Следующая после прессования шихты технологическая операция дробления плитки и классификации гранул осуществляется с целью получения гранулированного полуфабриката товарных фракций. По результатам выполненных исследований этот процесс признан достаточно эффективным, не требующим в настоящее время каких-либо корректировок.

Заключительный процесс облагораживания гранулированного полуфабриката направлен на повышение прочности гранул, улучшение их гранулометрического состава и снижение влагопоглощения. Он включает гидротермомеханическую и реагентную обработку гранулированного полуфабриката. В результате исследования этого технологического процесса выработаны следующие рекомендации:

– модернизировать узел гидромеханической обработки гранулята путем замены технически несовершенных двухвальных смесителей на разработанные нами более технологичные горизонтальные двухспиральные смесители непрерывного действия типа СГС-2 (патент на изобретение ВУ 23854), создающие в их рабочих камерах однонаправленный поток гранулята высокой интенсивности, обеспечивающие качественную гомогенизацию увлажненных гранул, их окатывание и придание округлой формы (рисунок 4).

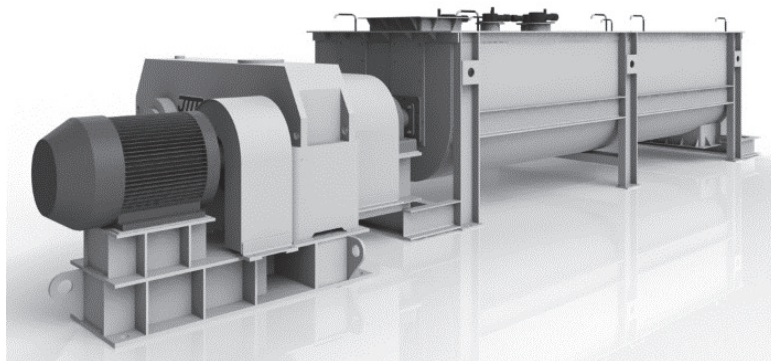


Рисунок 4 – Смеситель типа СГС-2

Изготовление этих аппаратов налажено в ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»;

– при условии описанной выше модернизации узла гидромеханической обработки гранулята, исключить операцию предварительной классификации гранулята на начальном этапе процесса облагораживания, как утратившую свою актуальность операцию, которая к тому же приводит к значительному истиранию непрошедших облагораживания и обладающих недостаточной механической прочностью гранул, в результате чего увеличивается количество возвращающихся на повторное прессование мелких и пылевых фракций продукта, увеличивая циркуляционную

нагрузку на валковые прессы, соответственно снижая производительность установок гранулирования;

– для обеспечения адгезии пылевых частиц, улучшения сыпучести, снижения слеживаемости и влагопоглощения готового гранулированного полуфабриката окончательную обработку его производить в барабанном смесителе гидрофобизирующими композициями на основе аполярных углеводородов и алифатических аминов (смеси жирного амина и экстракта нефтяного, жирного амина и вакуумного газойля или просто жирный амин).

Таким образом, в результате выполненного исследования технологического процесса получения полуфабриката гранулированного хлористого калия в условиях флотационных обогатительных фабрик ОАО «Беларуськалий, разработаны предложения по повышению его эффективности на основе технической модернизации некоторых видов основного технологического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дихтиевская Л. В. Разработка технологии получения гранулированных калийных удобрений с улучшенными физико-химическими и механическими свойствами / Л. В. Дихтиевская, В. В. Шевчук, Н. П. Крутько // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2010. – Т. 54, № 6 – С. 57–61.

2. Черепанова М. В., Пойлов В.З., Потапов И.С. Особенности процесса агломерации пылевидного хлорида калия в кипящем слое / М. В. Черепанова, В. З. Пойлов, И. С. // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3-2. – С. 452-456.

УДК 622.788.36.012.5(042.3)

Высоцкая Н.А.

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

Францкевич В.С.

(Белорусский государственный технологический университет)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРАНУЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ОКАТЫВАНИЯ НА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТИ

Числовое значение динамических усилий на гранулу определенного размера зависит от вида ее движения. Частицы, находящиеся внутри вращающегося барабана, прижимаются к поверхности барабана под действием силы тяжести и центробежной силы, отклоняются от вертикали на угол β_d – угол ссыпания (подъема).

Величина данного угла зависит от: коэффициента трения тела о поверхность барабана; радиуса барабана; скорости вращения барабана.

На перемещение частиц в барабане влияют 3 силы: трения, тяжести и центробежная. По достижении максимального угла β_d частица теряет равновесие по отношению к барабану. Сразу исчезает действие центробежной силы на частицу, это приводит к уменьшению силы трения. Скатывание частиц со стенок барабана характеризуется ускорением. Наибольшая скорость достигается, когда силы сдвига и трения уравниваются. Частицы, оставаясь без движения относительно внешней системы координат непрерывно скатываются по внутренней поверхности барабана. В случае остановки частицы после пересечения вертикальной плоскости, под действием силы тяжести, она будет вращаться в одну сторону с барабаном. Такое движение характеризуется подъемом-скатыванием.

С ростом скорости вращения барабана увеличивается угол сыпания (подъема). Увеличение происходит с ростом коэффициента трения. Основной динамической характеристикой порошкообразных и гранулируемых материалов является коэффициент внутреннего трения f . Внутреннее трение происходит в слое сыпучего материала и характеризуется плотностью укладки; упругими свойствами частиц твердой фазы; формой частиц; размерами; площадью фактических контактов.

Для порошкообразных материалов, между частицами которых существует сцепление, показатель внутреннего трения равен тангенсу угла внутреннего трения (угла откоса) и определяется как (1):

$$f = \operatorname{tg}\beta \quad (1)$$

Угол естественного откоса для порошкообразных материалов – до 35° , для гранулированных – до 40° . Тогда, подставив числовые значения угла естественного откоса для порошкообразных материалов, получим результаты, представленные в таблице 1:

Таблица 1 – Зависимость коэффициента внутреннего трения от угла естественного откоса для порошкообразных материалов

Параметр	Порошкообразные материалы		
	25°	30°	35°
Угол естественного откоса β			
Коэффициент внутреннего трения f	0,47	0,58	0,7

Сыпучесть материалов – способность порошков под действием собственной силы тяжести скатываться с наклонной поверхности, в случае гранулирования методом окатывания в барабанном грануляторе – с изогнутой поверхности. Сыпучесть зависит от формы поверхности

частиц; плотности; гранулометрического состава; сцепления частиц и трения между ними и характеризуется углом трения крупиц о поверхность барабана и друг о друга.

Коэффициент сыпучести K_C определяется выражением (2):

$$K_C = \frac{1 - \sin \beta}{1 + \sin \beta} \quad (2)$$

Подставив числовые значения в выражение, представленное выше, получим значения и сведем их в таблицу 2.

Таблица 2 – Значения коэффициентов сыпучести, зависящие от угла внутреннего трения

Показатель	Значения		
	25°	30°	35°
Угол естественного откоса β	25°	30°	35°
Коэффициент внутреннего трения f	0,47	0,58	0,7
Коэффициент сыпучести K_C	0,41	0,33	0,27

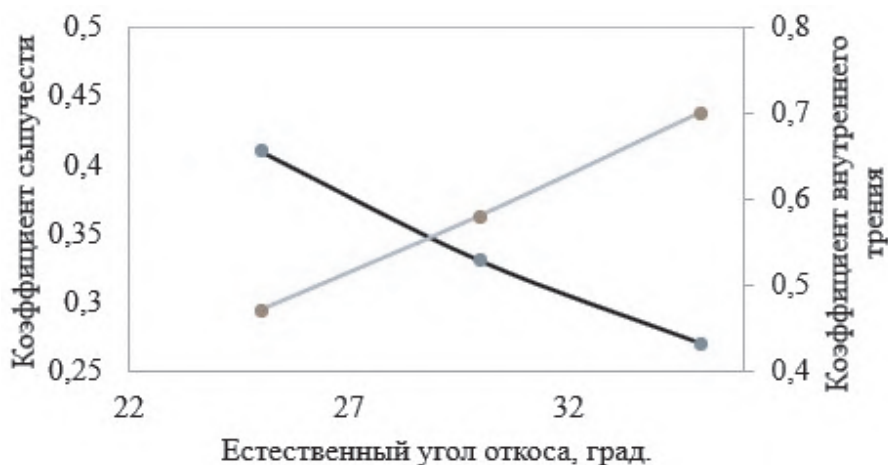


Рисунок 1 – График зависимостей коэффициента сыпучести и коэффициента внутреннего трения от угла естественного откоса

Из графика (рис. 1) видно, что с увеличением угла внутреннего трения коэффициент сыпучести уменьшается, а коэффициент внутреннего трения увеличивается. Также можно увидеть, что с увеличением коэффициента внутреннего трения, коэффициент сыпучести падает.

При малой степени заполнения барабана и относительно небольшой силе трения материала о внутреннюю поверхность барабана сыпучий материал ведет себя, как сплошное тело.

При увеличении наклона поверхности загрузки до значения выше, чем угол естественного откоса, избыточный материал начинает осыпаться,

стремясь восстановить первоначальный угол. Центр тяжести при этом остается неизменным, вокруг него вращается материал: по свободной поверхности он сыпается вниз, около стенки – поднимается вверх.

При гранулировании наиболее практичным является режим переката, при котором основная масса сыпучего материала перемещается, описывая круги, со скоростью, равной угловой скорости вращения барабана. По достижении наивысшей точки, слой материала определенной толщины осыпается вниз. Нижние слои переходят на круговые траектории, расположенные ближе к центру барабана, а верхние слои переходят на траектории большего радиуса.

Числовые значения линейных скоростей определяются силами трения слоев материала друг о друга и скоростью вращения барабана. Чем больший коэффициент трения имеет частица, тем быстрее она теряет свою скорость при ссыпании.

Коэффициент $K_{п/о}$, отражающий отношение количества поднимающегося сыпучего материала $G_{под}$ к общему количеству материала $G_{об}$, зависящий от параметров вращения барабана, определяется формулой (3):

$$K_{п/о} = \frac{G_{под}}{G_{об}} = f \frac{\omega^2 R}{g} \quad (3)$$

где ω – угловая скорость вращения барабана; R – радиус барабана; g – ускорение свободного падения.

Для барабанного гранулятора, выпускаемого в ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с опытным производством», угловая скорость вращения барабана варьируется от 4 до 12 об/мин. Диаметр барабана – 3 м.

Подставив в выражение (3) числовые значения, с учетом различных значений коэффициента внутреннего трения и угловой скорости вращения барабана, получим значения, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Значение коэффициента $K_{п/о}$ с учетом различных значений коэффициента внутреннего трения и угловой скорости вращения барабана

Параметр	Значения								
	$\omega_1 = 4$ об/мин			$\omega_2 = 8$ об/мин			$\omega_3 = 12$ об/мин		
Коэффициент внутреннего трения f	0,47	0,58	0,7	0,47	0,58	0,7	0,47	0,58	0,7
Коэффициент $K_{п/о}, \times 10^4$	3,5	4,4	5,3	12,2	15	18,1	28,8	35,5	42,8

Из рисунка 2 видно, что с увеличением коэффициента внутреннего трения увеличивается и коэффициент, отражающий отношение количества поднимающегося материала к общему количеству материала

в барабане. Также можно увидеть, что с увеличением угловой скорости вращения барабана при одинаковых значениях коэффициента внутреннего трения, коэффициент $K_{п/о}$ увеличивается. Это говорит о том, что при малой скорости вращения барабана меньшее количество гранулируемого материала поднимается относительно всего материала, засыпанного в барабан, на образование гранул готового продукта окатывания уходит больше времени.

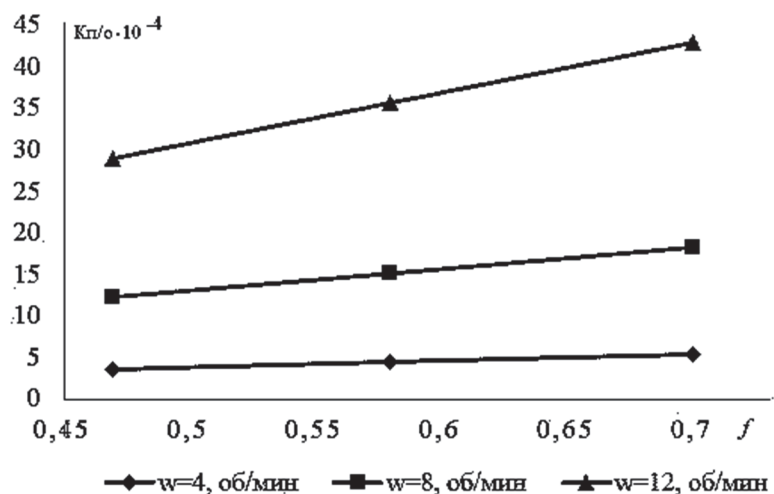


Рисунок 2 – График зависимостей коэффициента, отражающего отношение количества поднимающегося материала к общему количеству материала от коэффициента внутреннего трения при различной частоте вращения барабана

Гранулы, находящиеся внутри потока и соприкасающиеся с поднимающимся слоем, подвергаются большим динамическим нагрузкам, нежели гранулы, скатывающиеся из верхней части потока. Толщина скатывающегося слоя влияет на гранулометрический состав продукта окатывания [1].

Выводы. Процесс гранулирования сложно-смешанных минеральных удобрений на сегодняшний день еще недостаточно изучен и имеет ряд несовершенств. Для решения данной проблемы требуется детальное изучение процесса на каждом его этапе [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкая Н.А., Францкевич В.С., Салцевич В.В., Дубовский А.А. Гранулирование методом окатывания на движущейся поверхности / Горная механика и машиностроения. – 2023. – № 1. – С. 88-94
2. Высоцкая Н.А., Францкевич В.С. Получение НРК-удобрений методом окатывания // Материалы III Междунар. науч.-технич. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке / БГТУ, г. Минск, (2–3 декабря 2020). – Минск, 2020. – С. 212-215.

РАЗРАБОТКА ЦЕНТРОБЕЖНО-УДАРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ RDF-ТОПЛИВА

В настоящее время наблюдается устойчивый рост стоимости энергоресурсов, что в свою очередь обуславливает актуальность и целесообразность разработки технологий производства тепловой энергии с использованием альтернативных и нетрадиционных видов топлива. Одним из таких источников энергии является RDF-топливо. [1] Данный вид топлива получают путем предварительной сортировки и последующего измельчения твердых бытовых и промышленных отходов, состоящих в том числе из горючих полимерных материалов. Наличие полимерных материалов в RDF-топливе определяет основные требования к установкам по их измельчению, так как именно эластичность и способность полимерных макромолекул к ориентации под действием направленного механического поля, определяет сложности их измельчения. Одним из эффективных вариантов измельчения таких материалов является использование центробежно-ударных установок. [2] В настоящее время в ОАО «НПО Центр» разработана лабораторная центробежно-ударная установка, входящая в состав комплекса по получению RDF-топлива (рисунок 1).



Рисунок 1 – Лабораторный образец центробежно-ударного оборудования в составе комплекса, по получению RDF-топлива

Пояснение принципа работы комплекса представлено на рисунке 2.

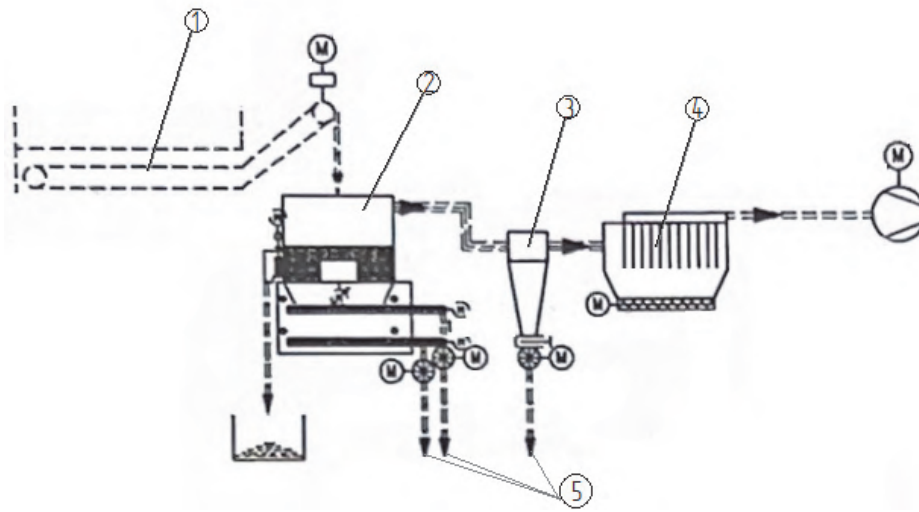


Рисунок 2 – Технологическая схема комплекса получения RDF-топлива

1 – питатель; 2 – центробежно-ударная мельница;
3 – циклон; 4 – фильтр; 5 – готовый продукт

На основе теоретических исследований [3, с. 18, с. 19; 4, с. 19, с. 20] для полимерных материалов установлена зависимость производительности их измельчения и получаемого при этом размера конечного продукта от скорости вращения ротора установки (рисунок 3). Анализ полученных теоретических результатов показал, что для промышленного применения (производительность более 4-5 т/ч), число оборотов вращения рабочего инструмента должно составлять не менее 3000 об/мин, при этом образуется конечный продукт с необходимым размером до 15 мм.

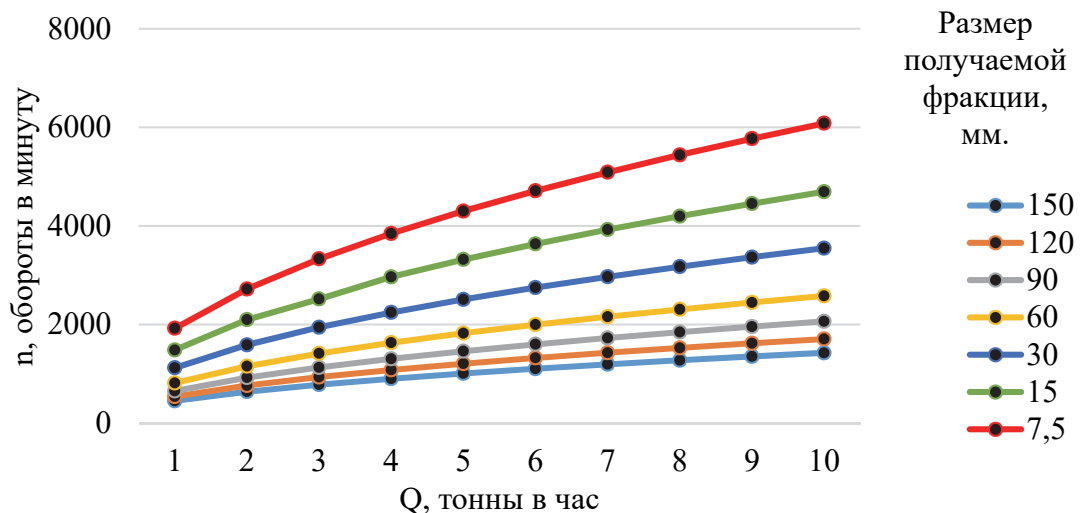


Рисунок 3 – Производительность измельчения и размер готового продукта от числа оборотов ротора центробежно-ударной установки

Кроме этого определены требуемые условия для компьютерного моделирования воздушных потоков в камере измельчения установки. Результат компьютерного моделирования в программе SolidWorks Flow Simulator представлен на рисунке 4. На основе моделирования установлено, что для уноса измельченного материала из центробежно-ударной установки скорость воздушного потока должна составлять не менее 10 м/с.

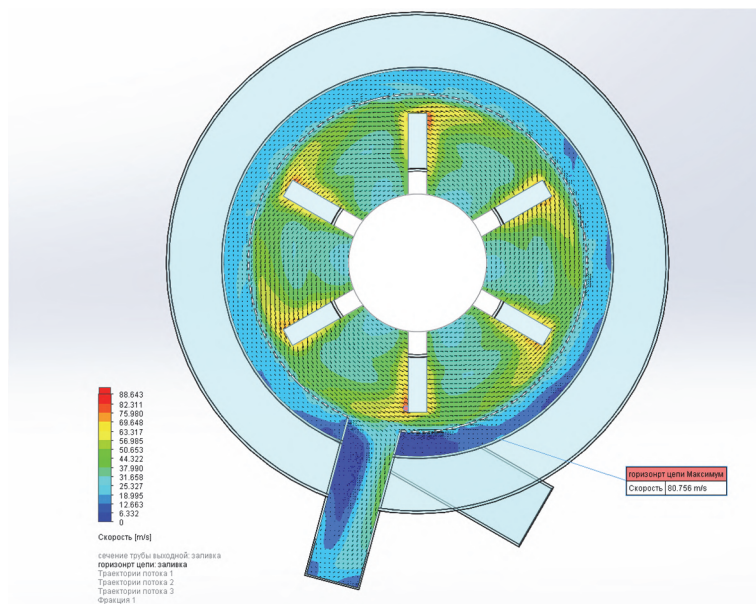


Рисунок 4 – Изменение скорости движения воздушного потока в зоне измельчения центробежно-ударной установки

Испытания разработанного ОАО «НПО Центр» центробежно-ударного оборудования в составе комплекса подтвердили возможность получения RDF-топлива из полимерных материалов с толщиной стенки до 1 мм. Размер измельченного готового продукта в зависимости от исходного сырья (бутылочная тара или пленка) представлен на рисунке 5.

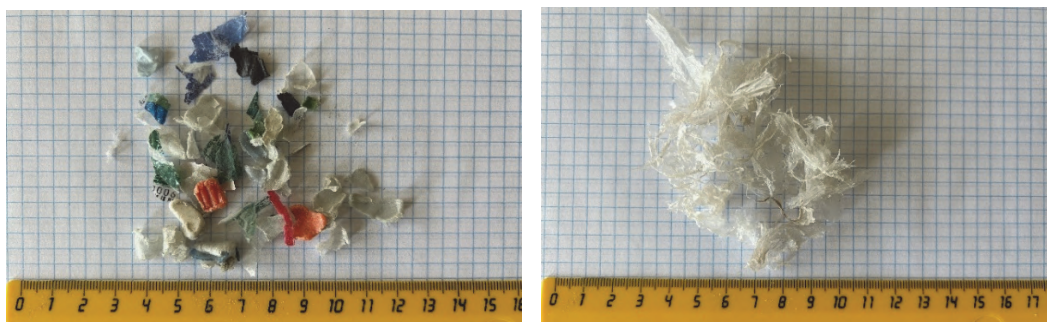


Рисунок 5 – Образцы измельченного полимерного материала на центробежно-ударной установке при 3000 об/мин, в зависимости от исходного сырья:

а – бутылочная тара; *б* – полимерная плёнка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении Концепции создания мощностей по производству альтернативного топлива из твердых коммунальных отходов и его использования: Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 22 августа 2016 г., №664

2. Оборудование для измельчения полимерных материалов <https://KazEdu.com/referat/187582> - Дата доступа: 1.10.2023

3. Машины и оборудование обогатительных и перерабатывающих производств: практикум для студентов специальностей 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)», 1-36 13 01 «Технология и оборудование торфяного производства» / сост. П. В. Цыбуленко. – Минск: БНТУ, 2019. – 26 с.

4. Лакомкин В.Ю., Смородин С.Н., Громова Е.Н. Гидродинамика и теплообмен в газодисперсных потоках: учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ / ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб., 2017. – 57 с.

УДК 621.565.93/.95-0.46.54

Данильчик Е.С., Сухоцкий А.Б., Маршалова Г.С.
Белорусский государственный технологический университет

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Теплообменники воздушного охлаждения (ТВО) применяются в различных отраслях промышленности, где имеется необходимость охлаждения технологических продуктов, конденсации их паров, охлаждения и конденсации парогазовых смесей, также для нагрева воздуха и конденсационной утилизации тепла продуктов сгорания природного газа или других газообразных сред.

В области химической промышленности ТВО распространены в агрегатах синтеза аммиака, метанола, для охлаждения нитрозного газа в технологических линиях по производству слабой азотной кислоты, в укрупненных агрегатах по производству метана, в установках по производству серной кислоты, для получения поливинилхлорида, хлорирования углеводородов, дистилляции, конверсии, парового крекинга и т. д. [1, 2].

Данные теплообменные аппараты нашли применение в процессах нефтехимии: для производства полипропилена, этанола, капролактана, стирола. Однако в основном ТВО используются для охлаждения

продуктов разделения нефти: керосина, дизельного топлива, бензина, гудрона, битума. Использование в процессах перегонки нефти таких теплообменников привело к снижению эксплуатационных расходов до 30 %, а также уменьшению первоначальных затрат на строительство объектов водоснабжения, канализации, очистных сооружений [1, 2, 3].

В настоящее время ТВО в основном применяются в режиме вынужденной конвекции, который позволяет значительно увеличить коэффициент теплопередачи и тем самым снизить габариты теплообменника. Но эксплуатация таких ТВО требует значительного потребления энергии на привод вентиляторов. Имеется альтернативный режим использования теплообменников, который является энергосберегающим – сводно-конвективный режим, осуществляющийся при эксплуатации ТВО частичным или полным отключением вентиляторов. Главным недостатком свободно- конвективного режима является низкое значение коэффициента теплопередачи, который обычно компенсируется увеличением площади теплообмена со стороны воздуха путем оребрения ее поверхности (труб). С целью повышения эффективности процессов теплоотдачи целесообразно проводить оптимизацию геометрических параметров и компоновки пучка, числа рядов, расположения пучка в пространстве.

В работе проведена оценка влияния поперечного шага установки труб на интенсивность теплоотдачи одно-, двух- и четырехрядных пучков в режиме свободной конвекции на основе экспериментального исследования [4].

Экспериментальные исследования проводились на горизонтально расположенных шахматных равносторонних пучках с числом рядов $z = 1, 2$ и 4 , состоящих из биметаллических оребренных труб с коэффициентом оребрения $\phi = 21$. Трубы в пучках устанавливались с поперечными и диагональными шагами $S_1 = S_2' = 58; 64$ и 70 мм (с относительными поперечными и диагональными шагами $\sigma_1 = \sigma_2' = S_1 / d = 1,021; 1,13; 1,23$) и продольными шагами соответственно $S_2 = 0,866 \cdot S_1 = 0,0502; 0,0554; 0,0606$ м (с относительными продольными шагами $\sigma_2 = S_2 / d = 0,88; 0,98; 1,07$). Геометрические размеры биметаллических оребренных труб со спиральными накатными ребрами следующие: наружный диаметр оребрения $d = 56,8$ мм; диаметр трубы по основанию $d_0 = 26,4$ мм; высота ребра $h = 15,2$ мм; шаг ребра $s = 2,43$ мм; средняя толщина ребра $\Delta = 0,55$ мм. Материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей трубы – углеродистая сталь, длина трубы $l_n = 330$ мм (теплоотдающая длина $l = 300$ мм). Диаметр несущей трубы $d_n = 25$ мм, толщина стенки $\delta = 2$ мм [4].

На рисунке 1 представлено влияние относительного поперечного шага труб на теплоотдачу одно-, двух- и четырехрядных пучков в режиме свободной конвекции при постоянном числе Релея $Ra = 100\,000$.

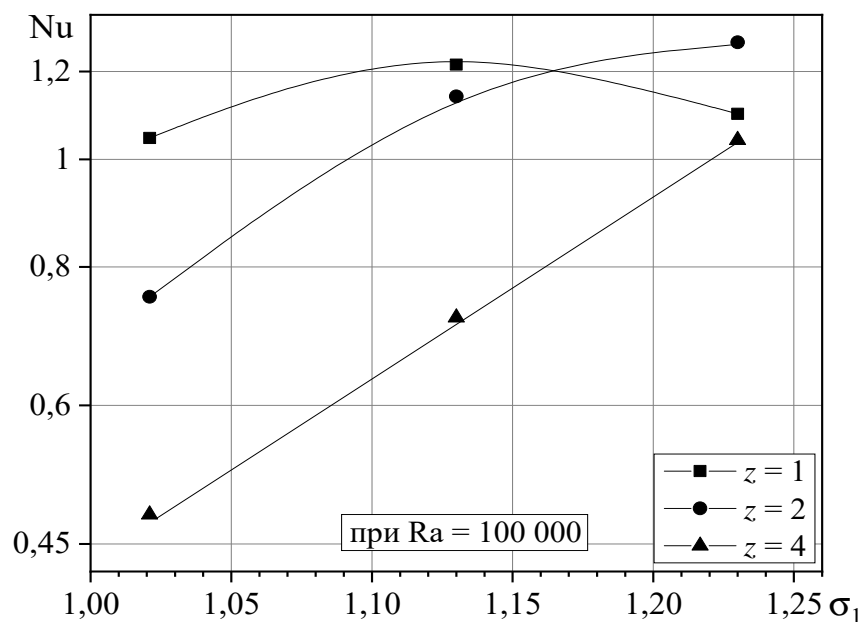


Рисунок 1 – Влияние относительного поперечного шага труб на интенсивность теплоотдачи оребренных пучков в режиме свободной конвекции

Из рисунка 1 видно, что наибольшая теплоотдача для однорядного пучка наблюдается при шаге $S_1 = 64$ мм ($\sigma_1 = 1,13$), для двухрядного и четырехрядного пучка – при шаге $S_1 \geq 70$ мм ($\sigma_1 \geq 1,23$). Таким образом, этих диапазонов шагов оказалось недостаточно для определения оптимальных параметров для двухрядных и четырехрядных пучков труб. Нужно провести дополнительные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: справочник / А. Н. Бессонный [и др.]; под ред. А. Н. Бессонного, В. Б. Кунтыша. – СПб. : Недра, 1996. – 512 с.
2. Шмеркович, В. М. Применение аппаратов воздушного охлаждения при проектировании нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов // Обз. информ. Сер. Опыт проектирования нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий / М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1971. – 110 с.
3. Кунтыш, В. Б. Основные способы энергетического совершенствования аппаратов воздушного охлаждения / Кунтыш В. Б. [и др.] // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 1997. – № 4. – С. 43–44.
4. Данильчик, Е. С. Повышение эффективности теплообменников воздушного охлаждения при свободно-конвективном теплообмене : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 01.04.14 / Е. С. Данильчик ; Белорус. госуд. технол. ун-т. – Минск, 2022. – 29 с.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО
ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Для транспортирования природного газа на большие расстояния существует необходимость снижения сопротивления его движению для чего на газопроводе строятся компрессорные станции, которые увеличивают входного давление газа до необходимых величин [1]. При этом сжатие на компрессорной станции приводит к увеличению температуры газа. Однако транспортировка газа с повышенной температурой приводит к повышению мощности и снижению пропускной способности газопровода, а также отрицательно сказывается на его надежности. Поэтому на компрессорной станции происходит снижение температуры газа в аппаратах воздушного охлаждения (АВО).

Независимость компрессорных станций от источника водоснабжения, а также строгая точность их расположения, предопределили использование воздуха в качестве охлаждающего вещества [1].

В исследовании [2] установлено, что с понижением температуры охлаждающего воздуха до определенной величины существует возможность частичного или полного отключения вентиляторов АВО при обеспечении заданной тепловой мощности аппарата. Повысить энергетическую эффективность работы АВО возможно, увеличив время работы с частично или полностью выключенными вентиляторами, интенсифицировав теплообмен с помощью установки вытяжной шахты над трубным пучком [3].

Целью данной работы является экспериментальное исследование эффективности установки вытяжной шахты над теплообменным пучком АВО.

Для определения экспериментальных зависимостей исследовался шахматный четырехрядный пучок, состоящий из горизонтально расположенных оребренных труб с поперечным шагом $S_1 = 58$ мм. Геометрические размеры биметаллической оребренной трубы следующие, мм: наружный диаметр ребра $d = 56$; диаметр трубы по основанию ребра $d_0 = 26$; высота, шаг, средняя толщина ребра соответственно $h = 15$; $s = 2,5$; $\Delta = 0,5$; длина $l = 300$. Коэффициент оребрения трубы $\phi = 21$.

Для повышения эффективности теплоотдачи в потоке нагретого воздуха над экспериментальным пучком устанавливалось два типа вытяжных шахт – с регулируемой высотой и с регулируемым проходным сечением. Высота вытяжной шахты варьировалась в диапазоне $H = 0,52 - 2,10$ м; диаметр выходного сечения – $d_{\text{отв}} = 0,09 - 0,205$ м.

Экспериментальное изучение теплоотдачи проводилось методом полного моделирования. Схема опытной установки, конструкция трубы-калориметра, методика исследования и последовательность проведения экспериментов, а также методика расчета среднего конвективного коэффициента теплоотдачи изложены в [7].

Результаты обрабатывались и представлялись в виде зависимости числа Нуссельта от Грасгофа:

$$Nu = \frac{\alpha_k d_0}{\lambda} \quad (1)$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot d_0^3 \cdot (t_{cm} - t_0)}{\nu^2} \quad (2)$$

где β – коэффициент объемного расширения, K^{-1} ; g – ускорение свободного падения, m/s^2 ; ν – коэффициент кинематической вязкости m^2/s ; t_{ct} – температура стенки калориметрической трубы у основания трубы, $^{\circ}C$; t_0 – температура окружающего воздуха, $^{\circ}C$.

Результаты экспериментального исследования теплоотдачи четырехрядного оребренного пучка с вытяжной шахтой представлены на рисунке 2.

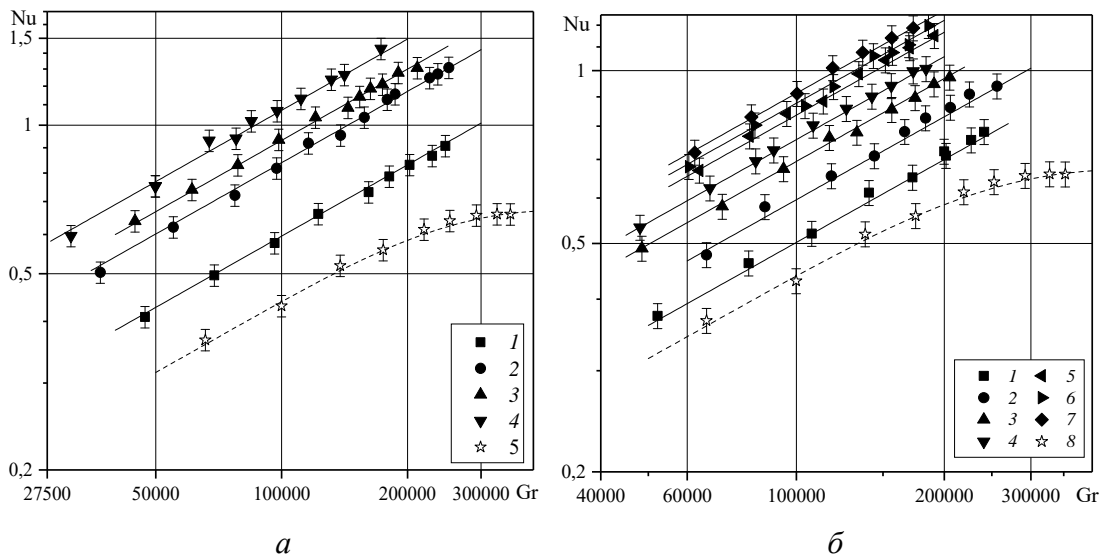


Рисунок 1 – Теплоотдача четырехрядного оребренного пучка в режиме смешанной конвекции

a – при изменении площади выходного сечения шахты,

б – при изменении высоты вытяжной шахты.

a) 1 – $H = 0,52$ м; 2 – $H = 1,16$ м; 3 – $H = 1,48$ м; 4 – $H = 2,12$ м; 5 – без шахты;

б) 1 – $d_{отв.} = 0,09$ м; 2 – $d_{отв.} = 0,105$ м; 3 – $d_{отв.} = 0,123$ м; 4 – $d_{отв.} = 0,137$ м; 5 – $d_{отв.} = 0,160$ м; 6 – $d_{отв.} = 0,178$ м; 7 – $d_{отв.} = 0,205$ м; 8 – без шахты.

При установке шахты высотой $H = 0,52$ м теплоотдача четырехрядного пучка возросла в 1,5 раза, $H = 1,16$ м – в 2 раза, до $H = 1,48$ м – в 2,25 раза, $H = 2,12$ м – в 2,75 раза по сравнению со свободной конвекцией (без шахты). Увеличение диаметра выходного сечения в изученном диапазоне приводит к повышению теплоотдачи оребренного трубного пучка с вытяжной шахтой.

Таким образом, установка вытяжной шахты позволяет значительно повысить теплообмен оребренных трубных пучков, что позволяет рекомендовать ее использование для АВО природного газа на компрессорных станциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кунтыш, В. Б. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения / В. Б. Кунтыш, Н. М. Кузнецов. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 280 с.

2. Васильев, Ю. Н. Повышение эффективности теплообменных аппаратов / Ю. Н. Васильев, А. И. Гриценко, В. И. Нестеров // Нефт. хоз. – 1992. – № 5. – С. 93–95.

3. Самородов, А. В. Совершенствование методики теплового расчета и проектирования аппаратов воздушного охлаждения с шахматными оребренными пучками: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14 / А. В. Самородов. - Архангельск, 1999. – 176 с.

4. Маршалова, Г. С. Тепловой расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения с вытяжной шахтой : дис. ... канд. техн. наук : 01.04.14 / Г. С. Маршалова. – Минск, 2019. – 153 л.

УДК 66.021.4

Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Францкевич В.С.
(Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет)
(Белорусский государственный технологический университет)

АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА КОНДЕНСАЦИИ В КОНТАКТНОМ АППАРАТЕ ВИХРЕВОГО ТИПА

Развитие различных отраслей промышленности характеризуется увеличением производительности при минимальных затратах энергии и ресурсов. Применение аппаратов вихревого типа, сочетающих высокие скорости контактирования фаз позволяет рекомендовать их для

различных процессов, например для абсорбции или хемосорбции, контактного теплообмена. В настоящей работе рассмотрено конструктивное оформление экспериментальной установки с применением аппарата вихревого типа с использованием насадок и без них, представлены экспериментальные исследования по определению энергозатрат этого аппарата на проведение процесса теплообмена или конденсации.

Процесс тепло- и массообмена широко применяются в прямоточных и противоточных аппаратах: конденсаторы смешения, барометрические конденсаторы, струйные тепломассообменники, градирни и т.д. В ходе исследования научной литературы по контактному аппарату было выявлено, что ни один из существующих контактных аппаратов, в частности вихревых, не участвовали в конденсации пара, а применялись, только лишь для очистки запыленных газов от мелкодисперсных частиц.

Экспериментальное исследование процесса контактной конденсации водяного пара и паров этилового спирта в вихревых условиях проводилось на ниже описанной установке. Экспериментальная установка состоит из следующих основных блоков (рис. 1): паровая и водяная система.

Паровая система включает в себя следующие аппараты и узлы: контактный конденсатор 1 емкостью: 6,67 л, в который подается пар на конденсацию, через вентили K_3 , K_4 . Данный аппарат включает в себя также насадки: спиралеобразную и конусообразную для проведения идентичных экспериментов и снятия соответствующих результатов. Двух секционный парогенератор 2 емкостью: 1 – 1 л. и 2 – 4 л., в качестве парообразователя с мощностью нагревателя 2 кВт (рис. 1).

Система стальных труб с вентилями, оснащена теплоизоляцией. Теплоизоляция состоит из минеральной ваты и стальной проволоки. Для соединения труб использованы резьбовые соединительные элементы «американка». Трубы используются стальные $D_y = 20$ мм (от парогенератора 2 до основного аппарата 1).

Водяная система, она же система охлаждения, состоит из насосной станции в составе электрического насоса фирмы Grundfos серия UPS 25-40 180 ($H_{max} = 4$ м, $Q_{max} = 2,93$ м³/ч, $P_{max} = 10$ бар) и водяного бака (мерная емкость) для нагнетания давления в центробежно – струйную форсунку или в спиральную насадку находящейся в основном аппарате; сепаратора – отстойника и двух емкостей (сепаратор – отстойник 3, емкость 4 на 3 л. для сбора конденсата углеводородов, емкость 5 на 3 л. для водяного конденсата, из которой водяной конденсат подается обратно в систему в качестве оборотной воды в основной аппарат 1); системы трубопроводов с вентилями, по которым в замкнутом цикле оборачивается вода и проходит конденсация водяных паров.

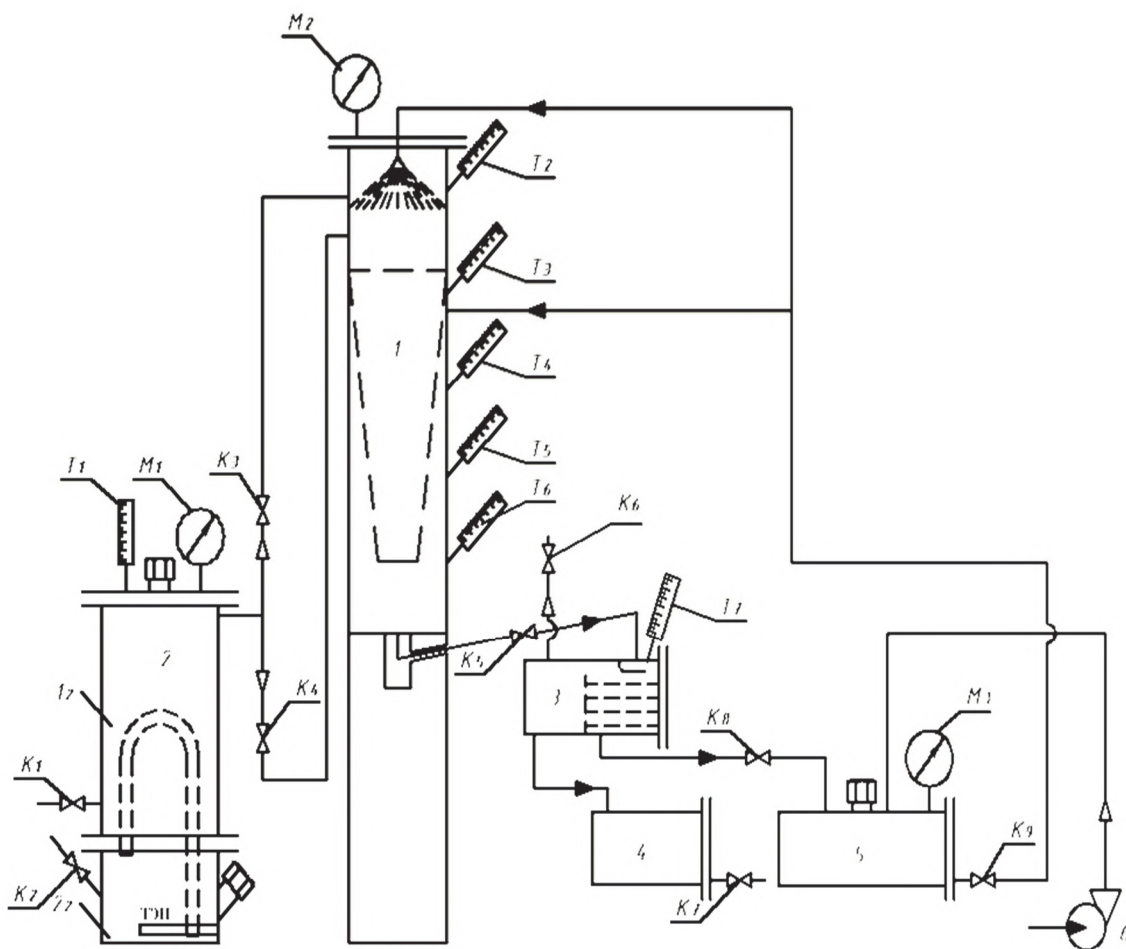


Рисунок 1 – Схема экспериментальной вихревой установки
 1 – контактный аппарат вихревого типа; 2 – греющий аппарат с соответствующими секциями 12 и 22; 3 – сепаратор – отстойник;
 4 – емкость; 5 – емкость; 6 – насос электрический

Также в систему включены следующие приборы: мановакуумметры (М1, М3) марки ОБМВ1 – 100 (диапазон показаний: от –1 до 5 кгс/см², класс точности: 2,5) для измерения избыточного давления в греющем аппарате 2 и насосной станции; манометр (М2) марки МТП – 100 (диапазон показаний: от 0 до 2,5 МПа, класс точности: 2,5) для измерения избыточного давления в контактном аппарате 1; термометры технические жидкостные ТТЖ-К (исп.1, диапазон измерения 0...200 °С, цена деления шкалы 2 °С) в количестве 7 штук: 1 – в греющем аппарате, 5 – в контактном теплообменнике, 1 – в сепараторе-отстойнике.

Основным аппаратом экспериментальной установки является вихревой контактный конденсатор вихревого типа. Его основные конструктивные части приведены ниже (табл. 1, 2). Внутренние насадки основного аппарата описаны в патентах [1, 2].

Таблица 1 – Конструктивные параметры вихревого аппарата

Параметр, размерность	Обознач.	Величина
Высота аппарата, мм	$H_{\text{общ}}$	410
Диаметр аппарата, мм	D	145
Площадь сечения аппарата, м^2	$S_{\text{ап.}}$	0,065
Высота расположения термометра Т2, мм	l_1	45
Высота расположения термометра Т3, мм	l_2	178
Высота расположения термометра Т4, мм	l_3	250
Высота расположения термометра Т5, мм	l_4	320
Высота расположения термометра Т6, мм	l_5	370
Угол расположения термокарманов к вертикали, град	α	30-45°
Расстояние от крышки аппарата до центра штуцера ввода пара №1, мм	h_1	70
Расстояние от крышки аппарата до центра штуцера ввода пара №2, мм	h_2	100
Расстояние от крышки аппарата до места крепления насадок, мм	h_3	80
Расстояние от крышки аппарата до центра штуцера ввода охлаждающей жидкости, мм	h_4	210

Таблица 2 – Таблица штуцеров основного аппарата

№ п/п	Наименование	Условный проход штуцеров D_u , мм	Площадь внутренней поверхности штуцеров $S_{\text{ш}}$, м^2	Назначение
1.	Штуцер №1	18	0,00101	Тангенциальный ввода пара
2.	Штуцер №2	18	0,00101	
3.	Штуцер №3	4	0,00005	Выход конденсата
4.	Штуцер №4	6	0,00011	Ввод охлаждающей жидкости в спиральную насадку
5.	Штуцер №5	8	0,00020	Ввод охлаждающей жидкости в центробежноструйную форсунку при использовании конусной насадки

Сепаратор – отстойник с насадкой и успокоителем (табл. 3, табл. 4). Успокоитель представляет собой пластину с четырьмя отверстиями диаметром 4 мм. Необходимого для сглаживания потока жидкости выходящей из вихревого аппарата. Насадка представляет собой – уложенные по порядку листы с отверстиями 5мм в количестве 610шт. Водяной конденсат по кольцевой через насосную станцию возвращается в систему охлаждения.

Таблица 3 – Конструктивные параметры вихревого аппарата

Параметр, размерность	Обознач.	Величина
Длина аппарата, мм	$L_{\text{общ}}$	280
Диаметр аппарата, мм	D	155
Площадь сечения аппарата, м^2	$S_{\text{ап.}}$	0,075
Расстояние от крышки аппарата до центра штуцера ввода конденсата пара №6, мм	l_1	60
Расстояние от крышки аппарата до штуцера №7, мм	l_2	240
Расстояние от крышки аппарата до центра штуцера №8 выход конденсата в аппарат 4, мм	l_3	240
Расстояние от крышки аппарата до центра штуцера №9 выход конденсата в аппарат 5, мм	l_4	15
Расстояние от крышки аппарата до перегородки разделения водяного конденсата и конденсата углеводородов, мм	l_5	190
Высота перегородки разделения водяного конденсата и конденсата углеводородов, мм	h_1	130

Таблица 4 – Таблица штуцеров сепаратора - отстойника

№ п/п	Наименование	Условный проход штуцеров D_y , мм	Площадь внутренней поверхности штуцеров $S_{\text{ш}}$, м^2	Назначение
1.	Штуцер №6	4	0,00005	Вход конденсата
2.	Штуцер №7	4	0,00005	Дыхание сепаратора
3.	Штуцер №8	4	0,00005	Выход конденсата в аппарат 4
4.	Штуцер №9	4	0,00005	Выход конденсата в аппарат 5

Емкость 4 для сбора конденсата, в случае экспериментов с углеводородными парами для сбора углеводородного конденсата. Емкость 5 для сбора водяного конденсата и возвращения его в систему охлаждения. Электрический насос 6 необходим для создания давления в системе охлаждения.

Основные результаты проведенных экспериментов по конденсации в контактном тепло- и массообменном аппарате вихревого типа описаны в литературных источниках [3, 4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент RU 2502929 C1 МПК F28B 3/00. Тепломассообменное устройство вихревого типа. Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И., Алексеев В.В., 2013.

2. Патент RU 124778 U1 МПК F28B 3/08. Тепломассообменное устройство вихревого типа. Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И., Алексеев В.В., 2012.

3. Москалев Л.Н. Применение контактного конденсатора вихревого типа при поглощении метанола из контактного газа. Москалев Л.Н., Поникаров С.И. Теоретические основы химической технологии. 2016. Т. 50. № 2. С. 200.

4. Moskalev L.N. Application of a contact vortex condenser to absorb methanol from a contact gas. Moskalev L.N., Ponikarov S.I. Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2016. Т. 50. № 2. С. 194-200.

УДК 541.18.045:66.0

Калишук Д.Г., Авазов М.Н.

(Белорусский государственный технологический университет)

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ГРЕЮЩЕГО ПАРА В ОДНОКОРПУСНОЙ ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКЕ С АППАРАТОМ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ РАСТВОРА

Для обеспечения эффективной и высокоинтенсивной работы выпарной установки (ВУ) необходимо правильно выбрать режимы ее работы. Одним из важнейших режимных параметров при этом является значение полезной разности температур $\Delta t_{\text{пол}}$, К [1]. Для однокорпусной выпарной установки, в составе которой используется выпарной аппарат с естественной циркуляцией раствора и кипением его в трубах греющей камеры, значение $\Delta t_{\text{пол}}$ рассчитывают:

$$\Delta t_{\text{пол}} = t_D - t_{\text{кд}} - (\Delta' + \Delta'' + \Delta''') \quad (1)$$

где t_D и $t_{\text{кд}}$ – температуры греющего пара и вторичного пара в конденсаторе ВУ; Δ' , Δ'' и Δ''' – физико-химическая, гидростатическая и гидравлическая депрессии соответственно, К.

Для однокорпусной выпарной установки, в составе которой используется выпарной аппарат с естественной циркуляцией раствора и вынесенной зоной кипения величина $\Delta t_{\text{пол}}$ вычисляется:

$$\Delta t_{\text{пол}} = t_D - t_{\text{кд}} - (\Delta' + \Delta''' + 0,5\Delta t_{\text{пер}}) \quad (2)$$

где $\Delta t_{\text{пер}}$ – температура перегрева раствора в греющей камере, К.

Очевидным является то, что температура греющего пара t_D и, соответственно, его давление P_D зависят от величин $\Delta t_{\text{пол}}$, $t_{\text{кд}}$, депрессий, а в аппаратах с вынесенной зоной кипения – и от температуры перегрева. Температура $t_{\text{кд}}$ зависит от давления в конденсаторе ВУ $P_{\text{кд}}$, т.е. от давления, под которым работает данная установка. В большинстве

случаев это будет атмосферное давление, т. к. при этом аппаратурно-технологическое оформление процесса является самым простым. При выпаривании нетермостойких растворов, а также при использовании в качестве греющего низкопотенциального утилизируемого пара $P_{\text{кд}}$ может быть меньшим, чем атмосферное. При необходимости получения вторичного пара повышенных параметров с целью успешной утилизации его тепла в ВУ может приниматься $P_{\text{кд}}$ выше атмосферного. Следовательно, величину $P_{\text{кд}}$ при разработке ВУ задает проектировщик.

Значение гидравлической депрессии Δ''' рекомендуют задавать при расчетах в пределах от 0,5 до 2 К [1–3]. В аппаратах с кипением раствора в трубах греющей камеры величина гидростатической депрессии Δ'' обычно находится в пределах от 2 до 6 К [1,2]: меньшие значения соответствуют аппаратам, работающим под избыточным и атмосферным давлением, большие – вакуумным. Из анализа многочисленных расчетов, проведенных собственноручно, выяснено, что в аппаратах с вынесенной зоной кипения значение температуры перегрева $\Delta t_{\text{пер}}$ в большинстве случаев составляет от 2 до 4 К. Величину физико-химической депрессии Δ' для аппаратов рассматриваемых типов следует принимать (рассчитывать) для выпариваемого раствора при его составе на выходе из аппарата (конечной концентрации).

К сожалению, в подавляющей части литературы, рассматривающей вопросы выпаривания, в том числе и в фундаментальных монографиях [2], отсутствуют рекомендации по выбору оптимальной величины полезной разности температур $\Delta t_{\text{пол}}$. Косвенным путем, задавшись рекомендуемым значением плотности теплового потока в выпарном аппарате (для аппаратов с естественной циркуляцией – от 20 до 50 кВт/м² [3]) и приближенным значением коэффициента теплопередачи от греющего пара к раствору, можно ориентировочно определить $\Delta t_{\text{пол}}$.

В руководящем техническом материале, регламентирующем тепловые и гидравлические расчеты выпарных аппаратов с естественной циркуляцией [4], приведена информация о минимальной полезной разности температур в них $\Delta t_{\text{пол}}^*$, К, обеспечивающей нормальную работу ВУ. Величина $\Delta t_{\text{пол}}^*$ зависит от высоты кипяtilьных труб, давления вторичного пара над кипящим раствором P_w и в некоторой мере от суммарного коэффициента местных сопротивлений циркуляционного контура. Для аппаратов с высотой труб 3, 4 и 5 м значения $\Delta t_{\text{пол}}^*$ следующие: при $P_w = 12,5$ кПа – от 15 до 19,5 К; при $P_w = 100$ кПа – от 10,5 до 16,5 К; при $P_w = 200$ кПа – от 9,5 до 15 К.

Используя выше приведенную информацию, выполняем пример расчета и выбора параметров греющего пара в однокорпусной выпарной установке.

При этом примем следующие исходные данные:

- в ВУ выпаривается водный раствор КСl, массовая доля растворенного вещества в упаренном растворе $x_k = 0,30$ кг/кг;
- в ВУ используется вертикальный трубчатый выпарной аппарат с естественной циркуляцией раствора и его кипением в трубах;
- давление вторичного пара в конденсаторе ВУ принимаем близким к атмосферному, $P_{кд} = 100$ кПа.

При расчетах и анализе последовательно выполняем следующие действия.

По таблицам свойств водяного насыщенного пара при давлении $P_{кд} = 100$ кПа определяем температуру вторичного пара в конденсаторе $t_{кд} = 372,8$ К.

Принимаем значение гидравлической депрессии $\Delta''' = 1$ К и рассчитываем температуру вторичного пара над кипящим раствором t_w , К:

$$t_w = t_{кд} + \Delta''' = 372,8 + 1 = 373,8 \text{ К}$$

По таблицам свойств водяного насыщенного пара при температуре $t_w = 373,8$ К определяем его давление над поверхностью кипящего раствора $P_w = 103$ кПа.

Плотность кипящего раствора в выпарном аппарате при $x_k = 0,30$ кг/кг и $t_w = 373,8$ К составляет $\rho = 1160$ кг/м³ [5]. Тогда давление в среднем слое парожидкостной смеси $P_{ср}$, кПа:

$$P_{ср} = P_w + 2,5 \cdot 10^{-4} \rho g H \quad (3)$$

где $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения; $H = 4$ м – высота кипятильных труб (принимаем).

$$P_{ср} = 103 + 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81 \cdot 1160 \cdot 4 = 114 \text{ кПа.}$$

При $P_{ср} = 142$ кПа температура насыщенного водяного пара $P_{ср} = 376$ К. Следовательно, гидростатическая депрессия Δ'' в данном случае составляет:

$$\Delta'' = t_{ср} - t_w = 376 - 373,8 = 2,2 \text{ К.}$$

Рассчитанное значение Δ'' согласуется с диапазоном величин гидростатической депрессии, указанным авторами ранее.

Физико-химическая депрессия для водного раствора КСl, характеризующегося $x_k = 0,30$ кг/кг, при нормальном атмосферном давлении равна $\Delta'_{ат} = 6$ К [3]. Т.к. давление $P_{ср}$ незначительно отличается от нормального атмосферного, физико-химическую депрессию для раствора в аппарате принимаем

$\Delta' \approx \Delta'_{\text{ат}}$. По рекомендациям из РТМ [4] принимаем минимальную полезную разность температур $\Delta t_{\text{пол}}^* = 16$ К. Тогда из формулы (1) следует, что минимальная расчетная температура греющего пара t_D^* , К, равна:

$$t_D^* = t_{\text{кд}} + (\Delta' + \Delta'' + \Delta''') + \Delta t_{\text{пол}}^* = 372,8 + (1 + 2,2 + 6) + 16 = 398 \text{ К.}$$

Температуре $t_D^* = 398$ К (125°C) соответствует давление насыщенного водяного пара $P_D^* = 232$ кПа. Окончательно принимаем с небольшим запасом давление греющего пара $P_D = 250$ кПа, при этом его температура $t_D = 401$ К. В таком случае полезная разность температур выпарном аппарате составит $\Delta t_{\text{пол}} = 19$ К, что не противоречит требованиям, изложенным в руководящем нормативном документе [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: Химия, 1973. – 751 с.
2. Таубман, Е.И. Выпаривание / Е.И. Таубман. М.: Химия, 1982. – 328 с.
3. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С. Борисов и [др.]. Под ред Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
4. РТМ 26-01-104-77. Аппараты выпарные с естественной циркуляцией и кипением раствора в трубах. Метод теплового и гидравлического расчета.
5. Зайцев, И.Д. Физико-химические свойства бинарных и многокомпонентных растворов неорганических веществ. Справ. изд. / И.Д. Зайцев, Г.Г. Асеев. – М.: Химия, 1988. – 416 с.

УДК 658.567.1

Федарович Е.Г., Левданский А.Э., Ковалева А.А.
(Белорусский государственный технологический университет)

МЕХАНИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ К ИХ ПОВТОРНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Стеклопластик представляет собой композитный материал, состоящий из связующего – синтетической смолы (полиэфирная смола, эпоксидная смола и т. д.) и армирующего компонента – стекломата, стеклоткани или роввинга [1].

Стеклопластики – первые высокопрочные композиционные материалы, широко используемые в различных отраслях техники и в быту.

Они не подвержены коррозии, устойчивы к химически агрессивным средам и воздействию окружающей среды. С эстетической точки зрения, данный материал обладает широкой цветовой гаммой. Объем потребления стеклопластиков различного назначения непрерывно увеличивается. Применение стеклопластиков прежде всего связано с универсальностью и возможностью регулирования в широких пределах их физико-механические свойства [2].

Серьезной проблемой широкого применения полимерных композиционных материалов (ПКМ), в том числе стеклонаполненных пластиков, является утилизация. В настоящее время решение проблемы утилизации ПКМ – приоритетная материаловедческая задача, поскольку создание и внедрение новых материалов непременно приводит к образованию отходов. С учетом специфических свойств ПКМ, таких как стойкость к внешним воздействиям окружающей среды, проблема их утилизации носит, прежде всего, экологический характер [3].

Для решения проблемы утилизации стеклопластиковых отходов с хаотически распределенными короткими волокнами, сотрудниками кафедры процессов и аппаратов химических производств БГТУ предложена принципиальная технологическая схема представленная на рисунке 1.

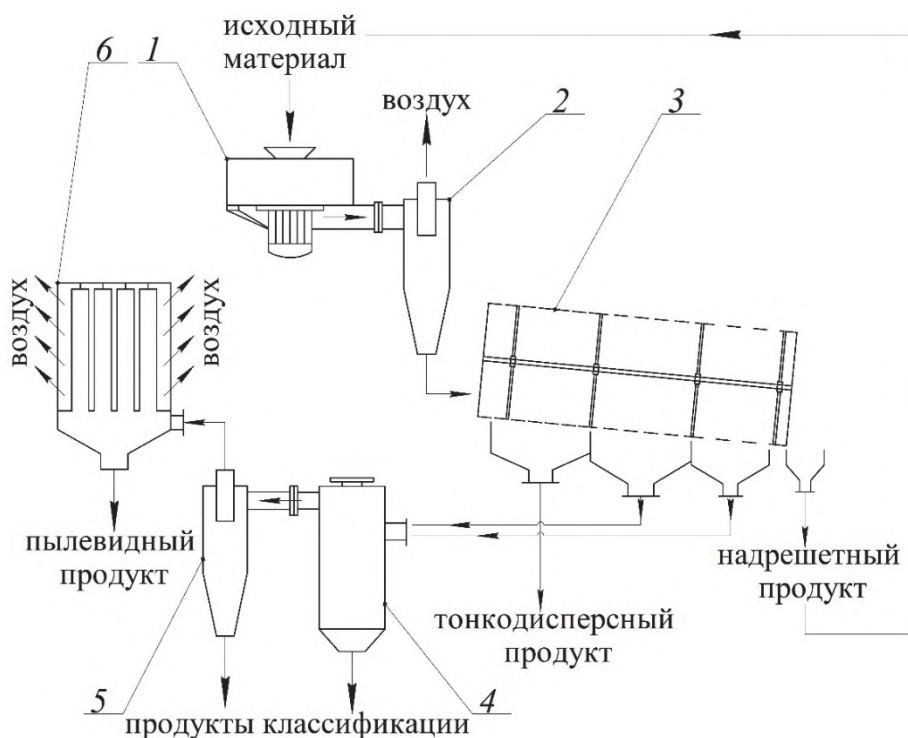


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема переработки отходов стеклопластика с хаотически распределенными короткими волокнами
 1 – ударно-центробежный измельчитель; 2, 5 – циклоны;
 3 – барабанный грохот; 4 – пневмоклассификатор; 6 – рукавный фильтр

Предложенная принципиальная технологическая схема состоит из последовательно осуществляемых стадий переработки отходов стеклопластика: селективного измельчения в ударно-центробежном измельчителе 1 с последующим отделением продуктов измельчения от воздушного потока в циклоне 2, стадии механической классификации в барабанном грохоте 3 с установленном на нем сита с увеличивающимся диаметром отверстий к разгрузочному концу барабана, пневмокласификатора 4 соединенного последовательно с циклоном 5 и рукавным фильтром 6.

Отходы стеклопластика разрезают на куски (пластинки) определенного размера и подают на стадию селективного измельчения в ударно-центробежный измельчитель 1 [4]. Образованные продукты измельчения, состоящие из тонкодисперсного порошка матрицы и гелькоута, распущенного стекловолокна и недоизмельченных отходов стеклопластика направляются в циклон 2 для их отделения от воздушного потока. В дальнейшем, продукты селективного измельчения поступают в барабанный грохот 3 где осуществляется стадия механической классификации. Использование грохота с возрастающим диаметром отверстий сит к разгрузочному концу барабана позволяет разделить полученные продукты на несколько отдельных фракций с узким гранулометрическим составом. Полученный надрешетный продукт, состоящий из неразрушенных пластинок стеклопластика, направляется на повторное измельчение в ударно-центробежный измельчитель 1. При агрегации тонкодисперсных частиц измельченной матрицы и гелькоута на нити стекловолокна, соответствующие фракции направляются на стадию пневмокласификации в роторно-гравитационный пневмокласификатор 4. Данная стадия, ввиду многократного взаимодействия нитей волокна с воздушным потоком может способствовать отделению тонкодисперсных частиц от нитей волокна. Для отчистки потока воздуха от мелких частиц предусмотрен последовательно установленный после пневмокласификатора рукавный фильтр 6.

Таким образом, представленная принципиальная технологическая схема может способствовать вторичной переработке отходов стеклопластиков, с выделением из них ценных вторичных материалов в виде нитей стекловолокна. Ранее проводимые исследования в области получения материалов на основе отходов стеклопластика показывают возможность использования вторичной волокнистой составляющей для изготовления различных изделий [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочетов С.И., Кипень Т.В., Суша С.А., Гайсенюк И.В. Применение стекопластиков в автотракторных конструкциях // Вестник БНТУ – Минск, 2009. – №3 – С. 50–53.

2. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Стеклопластики – многофункциональные композиционные материалы // *Авиационные материалы и технологии* – Москва, 2012. – № S – С. 253–260.

3. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии* – Москва, 2015 – №1 – С. 3–33.

4. Федарович Е.Г., Левданский А.Э. Селективное измельчение стеклонаполненных пластиков // 56-я междунар. науч.-техн. конф. препод. и студ.: материалы докладов, Витебск, 19-20 апреля 2023 г.: в 2-х т. / Витебский гос. технол. ун-т; редкол.: Ванкевич Е.В. [и др.]. – Витебск: ВГТУ, 2023. – Т.1 – С. 499–502.

5. Кордикова Е.И., Спиглазов А.В., Карпович О.И., Калинка А.Н. Материалы на основе отходов стеклопластикового производства и направления их применения // *Труды БГТУ* – Минск, 2011. – №4 – С. 126–131.

УДК 677.017.632

**Ковалева А.А., Кулевец П.С.,
Федарович Е.Г., Левданский А.Э.**

(Белорусский государственный технологический университет)

ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ НА СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Пластмассовые материалы нашли широкое применение, обусловленное передовыми технологиями их производства, которые позволяют получать материалы с заданными характеристиками. Однако, проблема утилизация пластмасс через их захоронение негативно влияет на окружающую среду, делая при этом значительные территории непригодными для рационального использования [1]. Вторичное использование пластмасс является наиболее рациональным подходом в переработке полимерных материалов, снижая при этом потребление первичных пластмасс. Метод пенной флотации представляет собой эффективное решение для сортировки пластмасс с близкими или одинаковыми плотностями [2]. Этот процесс разделения основан на избирательной смачиваемости поверхности пластмасс. Для изменения поверхностных свойств пластмасс применяют различные поверхностно-активные вещества (ПАВ) [3]. Следовательно, исследования влияния концентрации ПАВ различной природы на смачиваемость пластмасс

представляет собой важное направление, способствующее решению проблемы сортировки пластмассовых отходов перед их последующим использованием.

Цель работы заключалась в исследовании влияния концентрации поверхностно-активных веществ в водном растворе на смачиваемость поверхности полибутилентерефталата (ПБТ).

В качестве объектов исследования использовали пластинки размером $30 \times 30 \times 10$ мм полибутилентерефталата ТУ 2253-025-11517367-2002.

В качестве поверхностно-активных веществ использовали лаурет-3 сульфосукцинат натрия (анионное ПАВ, представляющие собой прозрачную бесцветную жидкость); лаурил саркозинат натрия (анионное ПАВ, представляющие собой прозрачную гелеобразную жидкость); полисорбат 80 (неионогенное ПАВ, представляющее вязкую, маслянистую жидкость светло-желтого цвета); алкилполиглюкозид (неионогенное ПАВ, представляющее собой светло-желтого цвета, мутный и вязкий водный раствор с массовой долей вещества 50–53 масс. %).

Для определения краевого угла смачивания авторами была разработана установка, представленная на рисунке 1 [4].

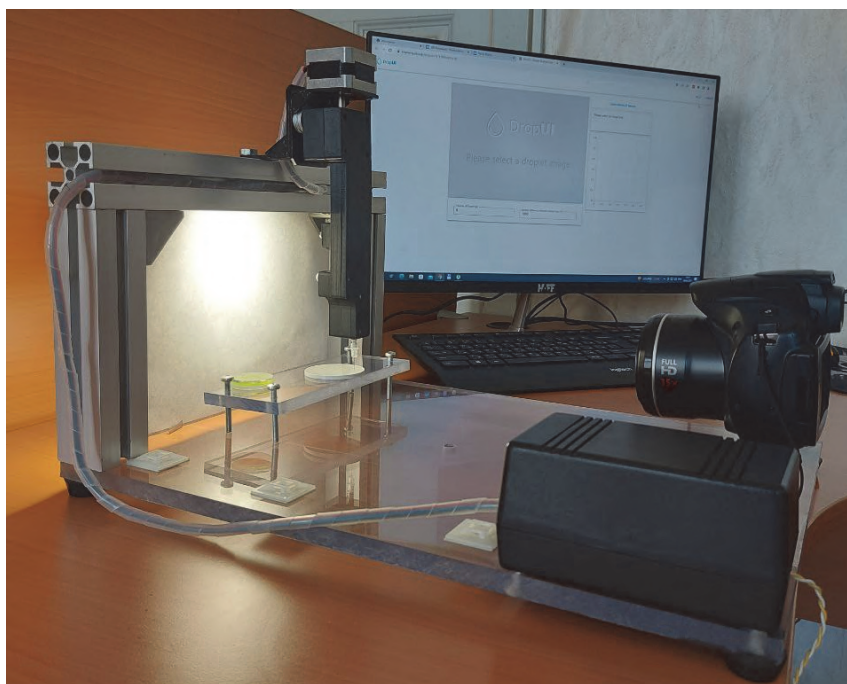


Рисунок 1 – Установка по определению краевого угла смачивания

Методика измерения краевого угла смачивания заключалась в следующем: на предметный столик размещали исследуемую пластинку размером $30 \times 30 \times 10$ мм ПБТ, поверхность которой предварительно подвергалась обезжириваю этиловым спиртом. С помощью устройства

дозирования капли наносилась капля раствора объемом $\sim 0,05$ мл. После каплю раствора освещали источником света, а ее профиль фиксировали с помощью цифровой камеры, связанной с персональным компьютером. Полученные изображения сохранялись в формате JPEG и масштабировались до необходимого размера. На основе изображения профиля капли, проводилось измерение краевого угла смачивания. Данный эксперимент выполняли по десять раз на пяти различных участках образца, для обеспечения надежности результатов. Экспериментальные исследования проводились при температуре воздуха $20\pm 3^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $60\pm 5\%$. Измерения краевого угла смачивания производили с помощью специального программного обеспечения «Drop UI» с онлайн доступом.

Краевой угол смачивания определялся по схеме, представленной на рисунке 2.

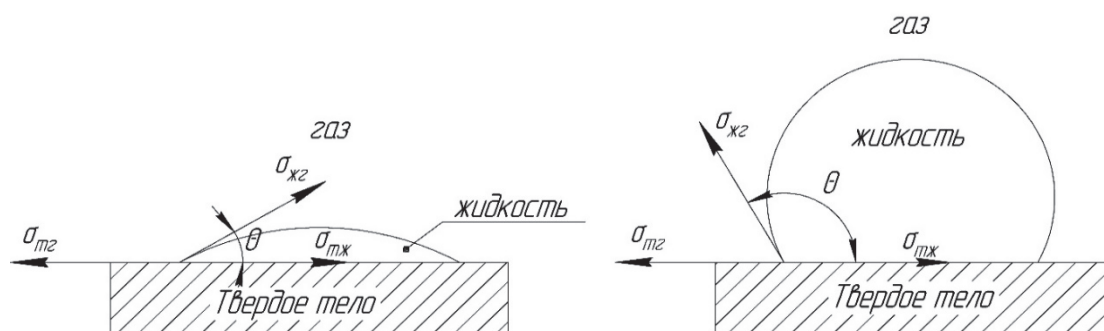


Рисунок 2 – Краевой угол смачивания θ

a – жидкость смачивает поверхность твердого тела; *б* – жидкость не смачивает поверхность твердого тела

В таблице 1 представлены данные влияния природы и концентрации ПАВ в водном растворе на смачиваемость поверхности ПБТ.

Таблица 1 – Влияния природы и концентрации ПАВ в водном растворе на смачиваемость поверхности ПБТ

Название ПАВ	Концентрация водного раствора, 10^{-3} г/дм ³				
	1,94	3,88	5,83	7,78	9,72
Лаурет-3 сульфосукцинат натрия	65 \pm 2	53 \pm 2	62 \pm 2	71 \pm 2	67 \pm 2
Лаурил саркозинат натрия	74 \pm 2	79 \pm 2	76 \pm 2	73 \pm 2	74 \pm 2
Полисорбат 80	66 \pm 2	76 \pm 2	72 \pm 2	77 \pm 2	66 \pm 2
Алкилполиглюкозид	86 \pm 2	88 \pm 2	93 \pm 2	84 \pm 2	77 \pm 2

Поверхность ПБТ проявляла гидрофильные свойства к водному раствору лаурет-3 сульфосукцинат натрия. При концентрации водного раствора $3,88 \cdot 10^{-3}$ г/дм³, краевой угол смачивания поверхности ПБТ

составлял 62 ± 2 град. При дальнейшем увеличении концентрации раствора, наблюдался незначительный рост значений краевых углов смачивания до 69 град.

Для поверхности ПБТ во всем диапазоне концентраций водных растворов лаурил саркозината натрия наблюдались незначительные изменения краевых углов смачивания и находились в пределах от 73 до 79 град. в данной серии экспериментов не выявлено явных закономерностей, связанных с влияем концентрации раствора на краевой угол смачивания ПБТ.

Краевые углы смачивания поверхности ПБТ водными растворами полисорбата 80 с концентрацией $1,94 \cdot 10^{-3}$ г/дм³ составили 65 ± 2 град. При увеличении концентрации водного раствора полисорбата 80 поверхность ПБТ имела близкие значения краевых углов смачивания в диапазоне 70–79 град.

Поверхность ПБТ проявляла гидрофобные свойства к водным растворам алкилполиглюкозида с концентрацией от $1,98 \cdot 10^{-3}$ г/дм³ до $5,83 \cdot 10^{-3}$ г/дм³ и краевые углы смачивания составляли 85–94 град. Однако, дальнейшее увеличение концентрации водного раствора алкилполиглюкозида до 0,01 г/дм³ привело к снижению значений краевого угла смачивания до 75 град.

Таким образом, поверхность ПБТ может проявлять гидрофильные и гидрофобные свойства в зависимости от типа ПАВ и их концентрации в водном растворе. Полученные результаты могут быть использованы при флотационном извлечении ПБТ из смеси пластмасс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hopewell, J. *Plastics recycling: challenges and opportunities* J. Hopewell, R. Dvorak, E. Kosior // *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*. – 2009. – P. 2115–2126.

2. Левданский, А.Э. Флотационное разделение смеси измельченных полимерных отходов / А.Э. Левданский, Е.В. Опимах, А.А. Волненко, К.Б. Корганбаев, Д.К. Жумадуллаев. – Шымкент: Типография «Элем», 2020. – 152 с.

3. Pita F. *Plastics floatability: Effect of saponin and sodium lignosulfonate as wetting agents* / F. Pita, A. Castilho // *Polimeros*. – 2019. – Vol. 29. – № 3. – P. 1–9.

4. Ковалева А.А., Кулевец П.С., Левданский А.Э., Опимах Е.В. Экспериментальные исследования краевого угла смачивания полимерных материалов // *Химические технологии и техника: сборник материалов 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (Минск, 31 января – 12 февраля 2022 г.)* [Электронный ресурс] / БГТУ. отв. за издание И. В. Войтов; УО «БГТУ». Минск, 2022. С. 156–158.

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ПЕРЕРАБОТКЕ НЕФТИ

Нейронные сети – постоянно развивающееся направление современных систем. Они находят своё применение в огромном количестве сфер, в том числе в сфере автоматизации. На сегодняшний день, в химической промышленности нейронные сети реализованы в качестве обучающихся регуляторов, что обусловлено крайне высокой чувствительностью данной сферы промышленности к остановкам и простоям.

Поскольку процент строящихся предприятий нефтяной промышленности пренебрежимо мал, становится ясно по какой причине смена систем управления на новые для предприятий не является серьёзным вариантом и рассматривается лишь в крайнем случае – замена системы автоматики будет нуждаться в остановке и перезапуске всего предприятия, а также приведёт к достаточно длительному периоду низкой производительности, даже после периода восстановления.

По этой причине нейронные регуляторы в нефтяной промышленности, на данный момент представлены исключительно в качестве обучающихся сопроводительных регуляторов. Данные регуляторы, достаточно длительное время находятся в обучающемся состоянии, при этом на процесс, но и практически не влияют, лишь собирая данные для обучения, что, по сути является достаточно большим недостатком, ведь они начинают функционировать лишь через месяца после установки. Однако на самом деле это позволяет обучить регулятор без подстроечного периода, который отличается пониженным качеством регулирования и вызван разницей реальной системы и модели по которой обучали регулятор.

Рассмотрим как работает регулятор на основе нейронной сети на следующем примере: Совершенствование процесса управления паровым риформингом в печи Н-101, которое должно обеспечить лучшее значение определенного критерия – целевой функции – при определенных ограничениях.

Выбор целевой функции – наиболее ответственный этап в формулировании задач оптимизации. Целевую функцию требуется выбирать исходя из конкретных специфических условий. Например, при производстве видов продукции, временно дефицитных, целевой функцией будет максимальное количество продукции; при энергоёмком производстве целевой функцией будет минимизация расхода энергии.

Если к нескольким показателям производства предъявляются двойственные требования, то необходимо оценить степень важности конфликтующих показателей. В качестве целевой функции выбирается наиболее важный из них, а на все остальные показатели накладываются ограничения.

Установка парового риформинга обладает следующей целевой функцией:

– оптимизация теплового режима в змеевике E-109 и на дальнейших участках;

В качестве ограничений выступают:

– содержание кислорода в дымовых газах: оно не должно превышать 1,5 % об. во влажном состоянии или 1,7 % об. в сухом состоянии (при избытке воздуха 10 %);

– соотношение водяного пара и углерода: оно должно поддерживаться в диапазоне от 2,5 до 3 с целевым значением 2,8 и жёстким ограничением на 2,5 в связи с дезактивацией катализатора, в случае снижения производительности до 40% его требуется повысить до 6,3.

Главной проблемой управления процессом парового риформинга является то что сам процесс идёт в режимах, близких к критическим, при это сам процесс должен идти непрерывно на протяжении длительного промежутка времени.

В качестве одного из вариантов можно рассмотреть контур регулирования температуры парогазовой смеси на выходе из реакционных камер печи парового риформинга.

Для расчёта регулятора требуется получить модель объекта, для которого происходит синтез системы управления, это можно сделать двумя способами: при помощи математического моделирования объекта или при помощи анализа данных самого объекта различными методами. Печь парового риформинга является достаточно быстрым объектом, исходя из чего целесообразно выбрать в качестве регулятора ПИ-регулятор.

Формула ПИ-регулятора имеет следующий вид:

$$W_p(p) = K_{\Pi} \left(1 + \frac{1}{T_{\text{И}p}} \right) = C_0 + \frac{C_1}{p}. \quad (1)$$

В результате расчётов будет получен ПИ-регулятор, параметры самого регулятора зависят от цели оптимизации управления, будь то скорость, либо точность и отсутствие перерегулирования.

В случае печи парового риформинга H-101 регулятор будет иметь вид:

$$W_{\text{рег}} = -0,3373 - \frac{0,00324}{s},$$

Далее сравним рассчитанный регулятор и регулятор на основе нейронной сети с периодом обучения эквивалентным примерно месяцу работы установки.

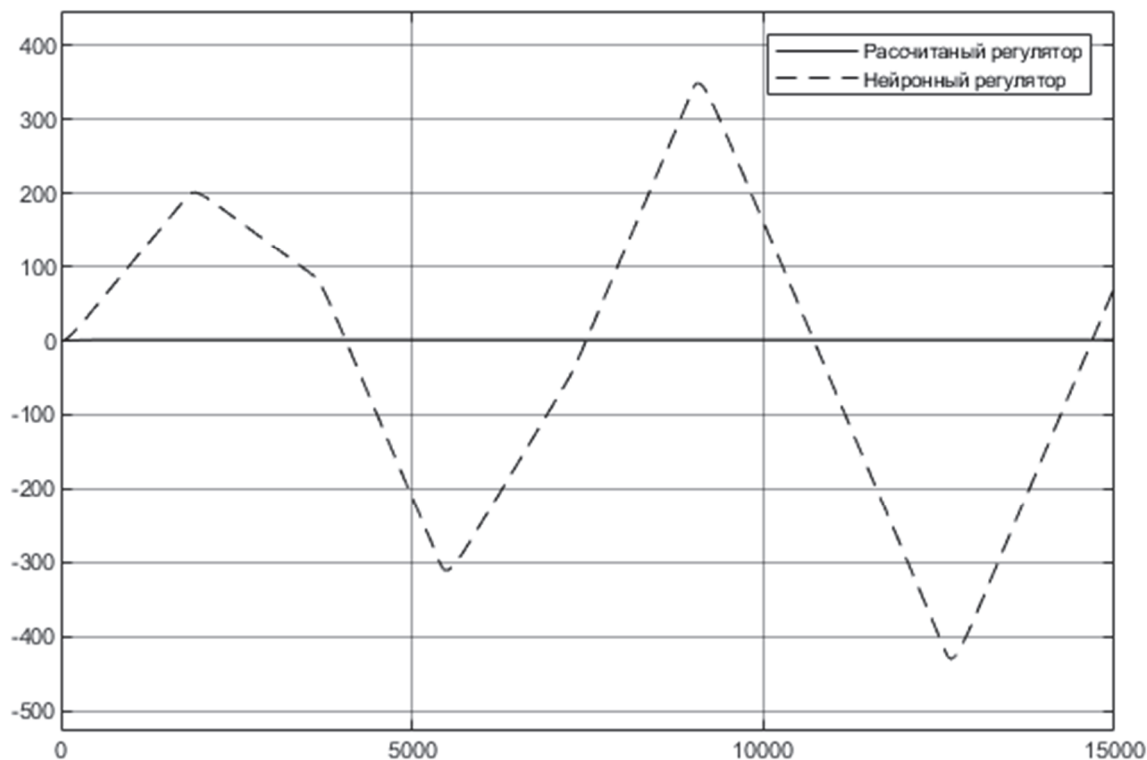


Рисунок 1 – переходная характеристика системы с рассчитанным регулятором и обученным малым промежутком времени нейронным регулятором

При сравнении реакции систем на тестовое ступенчатое воздействие отчётливо видно, что малый период обучения значительно ухудшает качество регулирования системы, исходя из чего, можно сделать вывод о необходимости значительно большего периода обучения.

Разберём также вариант с значительно более длительным периодом. При этом не будем вносить каких-либо иных изменений в существующую систему.

Как можно видеть, увеличение периода обучения примерно в 3–4 раза оказывает очень значительное влияние на систему, уже можно видеть значительно меньший диапазон перепада выходной величины и начало стабилизации данной величины, исходя из чего можно сделать вывод что примерно года обучения регулятора должно хватать для выхода на значения не уступающие, а возможно и опережающие регуляторы, полученные расчётными методами.

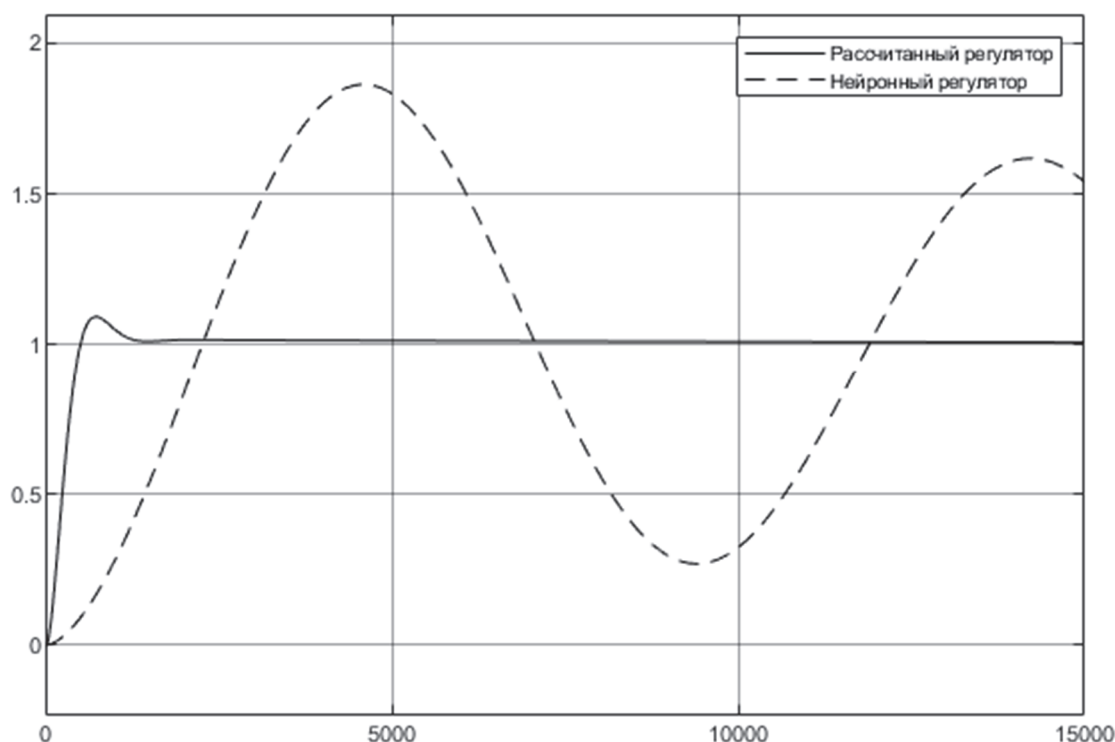


Рисунок 2 – переходная характеристика системы с рассчитанным регулятором и обученным достаточно длительный промежуток времени нейронным регулятором

Подытожив: Можно увидеть, насколько важен период обучения для регуляторов на основе нейронных сетей, и увидеть, что длительный период обучения значительно улучшает качество регулятора, в то время как в начале обучения регулятор не способен к работе в требуемой роли, исходя из чего можно увидеть целесообразность метода, применённого в нефтяной промышленности.

УДК 629.7.01

**Олиферович Н.М., Гринюк Д.А.,
Сухорукова И.Г., Ивашко Е.В. Старовойтов М.С.**
(Белорусский государственный технологический университет)

ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ С НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКОЙ

Идентификация процесса, или системная идентификация, является очень активной областью исследований с широкими вариантами для построения алгоритмов. Идентификация процесса — это методология и приемы выбора исходя из входных и выходных данных процесса

и с учетом определенного критерия, математической модели заданного типа, которая может наилучшим образом представить реальный процесс (точнее данные процесса). Таким образом, для идентификации процесса используются следующие три компонента.

1. Данные процесса. Поскольку идентификация процесса является методом анализа данных, их качество определяет качество окончательной модели. Целью идентификации процесса (черного ящика) является «ввод данных, вывод модели».

2. Модель процесса. Процесс может быть представлен различными моделями, такими как линейная или нелинейная, переменная во времени или неизменная во времени, детерминированная или стохастическая, дискретная или непрерывная, временная или частотная, с сосредоточенными или с распределенными параметрами, описываемыми разностным уравнением или дифференциальным уравнением, вводом-выводом или с пространством состояний [1].

3. Критерии. Идентификация процесса направлена на поиск математической модели, которая «наиболее точно» аппроксимирует взаимосвязь между входными и выходными данными процесса. Критерий определяет, в каком смысле модель является «лучшей». После чего динамическое причинно-следственное поведение абстрагируется в математическую модель, основанную на входных/выходных ответных данных при допущении конкретной структуры модели и определенных критериев согласия [2].

Методы идентификации можно классифицировать по разным критериям:

- структурная и параметрическая;
- получение параметров моделей после проведения эксперимента или непрерывный анализ;
- идентификация параметров линейной модели или нелинейной;
- пассивное наблюдение за объектом или активное воздействие по управляющим каналам на объект.

Активная идентификация может проводиться с помощью ступенчатых (детерминированных), частотных или случайных воздействий. Иногда форму детерминированных воздействий могут варьировать в зависимости от свойств объекта и особенностей эксплуатации объекта.

В последнее время начала активно развиваться идентификация нелинейных свойств объектов управления для обеспечения качественного управления.

Исторически системная идентификация для нелинейных систем [1, 2] развивалась путем сосредоточения внимания на определенных классах систем. В целом можно выделить пять основных подходов, каждый из

которых определяется классом модели: модели серии Вольтерра, блочные модели, нейросетевые модели, модели NARMAX и модели в пространстве состояний. Классификация методов идентификации нелинейных моделей не является устоявшейся. В литературе можно встретить и другие подходы. Так, результатом параметрической идентификации нелинейных моделей могут быть: дифференциальные уравнения, NARMAX-модели, вейвлет-модели, ANN-модели. При непараметрической идентификации: модели на основе рядов Вальтера, модели в виде фазовых портретов, частотные характеристики, разгонные характеристики. К полупараметрическим моделям относят модели на нечеткой логике и нейро-нечеткие модели. В блок-ориентированных подходах выделяют: модели Гаммерштейна (Хаммерстайна, Hammerstein); Винера и Хаммерстайна-Винера.

Идентификация на практическом уровне требует от пользователя осуществить рациональный выбор типа модели, способа определения ее параметров, критерия оценки адекватности модели исходя из места ее приложения. Наиболее часто проблема идентификации стоит перед разработчиками систем управления, поэтому большинство книг управления содержат разделы по идентификации объектов управления [2]. А в связи развитием возможностей вычислительной техники большинство современных средств регулирования содержат в том или ином виде встроенные механизмы идентификации каналов управления с автоподстройкой настроек регуляторов.

В [3] был предложен способ идентификации в реальном времени на основании формирования смеси гармонических сигналов с целью определения динамических характеристик каналов управления, а также проведены испытания данного подхода на тепловом объекте [4]. Идентификация с помощью гармонических сигналов также представлена в других вариантах [5]. Несмотря на положительный результат, использование гармонических сигналов не позволяет получить оценку нелинейных параметров объекта.

Объектом параметрической идентификации, как и прошлых экспериментов, был тот же воздушный теплообменник, значение температуры которого на выходе можно контролировать с помощью двух датчиков температуры с металлической штангой $\square 1$ и на объекте. Сигналы этих датчиков обрабатываются разными аналогово-цифровыми преобразователями. Активное воздействие на температуру производилось путем управления частотой вентилятора.

Объект характеризуется определенной стохастичностью динамики, так как, несмотря на то, что воздушный теплообменник находится в помещении, но в течение даже нескольких часов нельзя

обеспечить постоянство процессов теплообмена. Перед началом эксперимента объект прогревался в течение времени, превышающего время разгона. Оценка динамики производилась во всех экспериментах путем смещения от одного и того же значения частоты питающего напряжения двигателя вентилятора ($f = 16,28$ Гц). Для идентификации были использованы три варианта:

- классический одиночный меандровый сигнал со смещением в ту и другую стороны от стационарного значения с поддержание отклонения до окончания переходного процесса;

- смесь четырех меандровых сигналов с коэффициентом скважности 0,5. Амплитуда первого сигнала $\square 0,226$ Гц питающего напряжения, частота и амплитуда второго сигнала в 2 и 1,5 больше соответственно. Третий имеет амплитуду в 4 раза больше, чем первый, а частоту в 6 больше первого. А последнего, четвертого, частота выше в 30;

- смесь четырех гармонических сигналов со значениями частот и соотношением амплитуд, как у предыдущего варианта. Амплитудное значение гармонических сигналов 2 больше у меандровых для сохранения одинакового энергетического воздействия на объект исследования.

Использование для идентификации смеси меандровых сигналов призвано повысить робастность идентификации данного подхода. Как было показано в [4], для успешной идентификации требуется актуальная информация по всему спектру частотной характеристики объекта наблюдения. Чем больше точек на АЧХ, тем адекватнее может производиться оценка динамики в реальном времени.

Как и в предыдущих вариантах, при обработке производилась компенсация долгосрочного тренда с помощью метода наименьших участков, получения квадратичной зависимости на участке компенсации. Робастность идентификации повышалась, как и ранее, существенно снижая сбойные случаи.

Для устойчивой идентификации динамики при ММИ было достаточно 1–2 периодов исходных данных. Коэффициент усиления определялся близко к первому методу. Вопросом было определение оптимального значения количества гармоник.

Следует понимать, что в численной оценке параметров динамики предложенными методами существует проблема оценки ошибки идентификации, поскольку ни один из методов не является точным. Динамические параметры данного объекта подвержены вариации.

В целом следует при формировании тестового набора гармоник использовать большее значение шага между частотами для повышения устойчивости идентификации. При необходимости определения степени нелинейности динамических характеристик метод ММИ имеет

больше перспектив, так как путем анализа мощности вторичных гармоник или амплитуды четных гармоник можно подбирать скважность меандров для из минимизации, что может служить параметром оценки степени нелинейности динамики.

Проведенные исследования показали, что использование предварительной обработки измерительных данных с объекта идентификации с целью исключения долговременных трендов позволяет повысить робастность и адекватность получаемых коэффициентов. Метод ММИ более устойчив к адекватности оценки характеристик по сравнению с ГИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Corriou JP. Process control – theory and applications. 2nd ed. — Springer, 2017. 866 p.

2. Nelles O. Nonlinear system identification: from classical approaches to neural networks. Springer Verlag Publ., 2001. 785 p.

3. Олифиревич Н. М., Гринюк Д. А., Оробей И. О. Гармоническая идентификация технологических объектов в реальном времени // Труды БГТУ. 2016. Сер. 3, Физ.-мат. науки и инфор. № 6, С. 117–121.

4. Oliferovich N., Hryniuk D., Orobei I. Harmonic identification of technological objects in real time // Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream). Vilnius, , 2016. P. 1–4.

5. Гринюк Д. А., Олифиревич Н. М., Сухорукова И. Г., Оробей И. О. Идентификация параметров динамических каналов воздушного теплообменника // Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и инфор. 2022. № 2 (260). С. 70–79.

УДК 004.431.2

**Дубиковская Е.В., Гринюк Д.А.,
Чепурко М.В., Арпентий Д.О.**

(Белорусский государственный технологический университет)

ИНСТРУМЕНТЫ РАСШИРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ

Python – мощный язык программирования общего назначения, который широко используется в интернет-приложениях, разработке программного обеспечения, науке о данных, машинном обучении и естественных науках. Он был реализован Гвидо ван Россумом в 1989 году. Python классифицируется как интерпретируемый язык программирования, автоматизирующий большинство фундаментальных операций (таких как управление памятью),

выполняемых на уровне процессора («машинный код»). Python считается языком более высокого уровня, чем, например, C++, из-за его выразительного синтаксиса (который во многих случаях близок к естественному языку) и богатого разнообразия встроенных структур данных, таких как списки, кортежи, множества и словари.

Философия Python основана на открытом исходном коде и развивающемся сообществе. Его синтаксис прост и удобен для изучения, а написанный код работает на любой платформе (ПК, серверы, кластеры, мобильные телефоны и даже устройства IoT). Среди доступных библиотек есть множество пакетов практически для любых задач, причем эти пакеты часто можно скачать бесплатно (как и сам Python). Все это увеличивает скорость развития и популярность этого языка.

Однако интенсивность разработки Python имеет и обратную сторону. Постоянное развитие создало проблемы с совместимостью версий. Python, будучи интерпретируемым языком высокого уровня, не может быть таким же быстрым и эффективным, как C++. В научных задачах это нивелируется тем, что некоторые библиотеки, используемые Python, написаны на C++ и предварительно скомпилированы. В данном случае Python выступает в роли скриптового языка, организующего эффективную работу кода, скомпилированного на C++.

С другой шло развитие микропроцессорной техники управления. Прямая концепция, которая заложена в МЭК 61131-3 уже стала тесной для решения задач управления технологическими процессами. Концепция разработки современных ПЛК, основной лошадкой реализации алгоритмов управления также поменялась. Если раньше это были закрытые от пользователей системы, то сейчас там доминирует Linux.

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) и Python – отличные инструменты для инженеров по автоматизации. ПЛК – это тип компьютера, который обычно используется в промышленных системах управления и других приложениях, требующих возможности цифрового управления электрооборудованием. ПЛК спроектированы так, чтобы быть прочными и надежными, и они программируются с использованием специализированного программного обеспечения для выполнения широкого спектра функций управления.

Совместное использование ПЛК и Python – это рай для автоматизации. У этого подхода очень много преимуществ. Во-первых, ПЛК чрезвычайно надежны и могут выдерживать суровые промышленные условия. В совокупности это позволяет нам использовать возможности Python для разработки более совершенных систем управления. Это также позволяет нам легко интегрироваться с другими системами, такими как базы данных и веб-серверы, используя Python. Добавление

Python в ваш набор навыков очень важно, потому что оно резко увеличивает ваш потенциал трудоустройства и ставит вас на более высокий уровень, чем ваши конкуренты. Python также является наиболее используемым языком программирования и используется такими крупными компаниями, как НАСА, Lockheed Martin и Университет Джона Хопкинса.

Существует также огромное количество библиотек и инструментов, доступных для использования с Python благодаря его большому и активному сообществу. Это также интерпретируемый язык, то есть его не нужно компилировать перед запуском. Это упрощает тестирование и модификацию, экономя время и снижая риск ошибок. Его также можно использовать для задач обработки высокого уровня, таких как анализ данных, визуализация и машинное обучение данных, генерируемых ПЛК.

С другой стороны, Python не всегда является наиболее подходящим языком для всех задач, связанных с ПЛК. Например, интеграция Python со специализированными аппаратными или программными системами может оказаться сложнее, чем просто использование другого языка. Также очень сложно найти программистов Python, имеющих опыт программирования ПЛК, поскольку такое сочетание навыков встречается редко.

Как правило, лучше всего использовать Python с ПЛК, когда вам необходимо выполнять задачи обработки высокого уровня, такие как анализ данных, визуализация и машинное обучение данных, сгенерированных ПЛК. Чтобы использовать Python с ПЛК, вы можете использовать библиотеку или модуль, специально разработанный для связи с ПЛК, например `pydbus` или `python-snap7`, использовать библиотеку последовательной связи общего назначения, например `pySerial`, для отправки и получения данных в и из ПЛК через последовательное соединение или используйте протокол удаленной связи, например `Modbus` или `Ethernet/IP`, для связи с ПЛК через сетевое соединение. Python часто является отличным выбором, но в некоторых обстоятельствах он не лучший. В некоторых случаях более подходящим может оказаться язык программирования, который более тесно связан с требованиями к оборудованию и реальному времени ПЛК, например, релейная логика или структурированный текст. Прежде чем начинать проект, обязательно оцените все варианты языка, но не сбрасывайте со счетов Python!

Если вы решили использовать Python для связи с ПЛК и управления им, вы можете использовать библиотеку Python под названием `pydbus`. `Pydbus` – это полная реализация протокола `Modbus`, использующая в качестве ядра асинхронной связи `Twist`. `Pydbus` включает в себя полнофункциональный сервер `Modbus` и клиентскую

библиотеку для протоколов Modbus RTU и ASCII. Чтобы использовать `pymodbus`, вам необходимо установить библиотеку, а затем использовать ее для установки соединения Modbus TCP с ПЛК. Как только соединение установлено, вы можете использовать функции `pymodbus` для чтения и записи данных в регистры и обмотки ПЛК.

Сейчас мы наблюдаем стечение факторов, которые привлекают внимание к Python. Во-первых, Индустрия 4.0 меняет парадигму того, как мы думаем о промышленной автоматизации; а именно, акцент на «умное» оборудование с улучшенной автономностью, богатую среду больших данных и полную интеграцию с технологиями следующего поколения, такими как аддитивное производство и облачные вычисления.

Еще одним последствием Индустрии 4.0 является промышленный Интернет вещей (IIoT), который объединяет промышленное оборудование в локальную сеть для межмашинной связи в реальном времени (M2M) и обеспечивает постоянный поток данных с датчиков для аналитики. В результате мы являемся свидетелями конвергенции ИТ и ОТ, разрушения разрозненности, которая долгое время отделяла профессионалов в области информационных технологий от их коллег из операционных технологий. В конце концов, устройства IIoT используют информацию для оптимизации своей работы.

Это возвращает нас к Python. Когда мы смотрим на сильные стороны самого популярного в мире языка программирования, мы видим некоторые явные преимущества IIoT. Прежде всего, Python известен своей способностью обрабатывать огромные наборы данных. Во-вторых, Гвидо Ван Россум, изобретатель Python, разработал его так, чтобы обеспечить высокую читабельность – ключевую особенность, когда несколько инженеров будут работать над одним и тем же кодом или поддерживать его, а также функцию, которая разжигает огонь инновационных итераций. И, наконец, Python имеет открытый исходный код, имеет замечательное сообщество и является идеальным выбором для многих наиболее привлекательных современных приложений.

Без сомнения, наибольшее влияние Python оказывает в сфере машинного обучения (ML), отрасли искусственного интеллекта (ИИ), где алгоритмы учатся на данных, и никто явно не кодирует какие-либо правила. Общие промышленные применения включают профилактическое обслуживание и автономную робототехнику. Большая часть современного машинного обучения написана на Python. Такие фреймворки, как PyTorch и TensorFlow с открытым исходным кодом от Google, используют Python. AWS SageMaker, облачный сервис искусственного интеллекта Amazon, поставляется со встроенным комплектом разработки программного обеспечения Python (SDK).

Запуская либо периферийные вычисления путем внедрения графических процессоров в сами производственные устройства, либо используя ресурсы локального шлюза IoT для туманных вычислений, мы можем использовать нашу обученную модель на месте. [1].

Компьютерное зрение. Чтобы роботизированная рука что-то взяла, ей сначала нужно знать, на что она смотрит. Введите компьютерное зрение (CV), область искусственного интеллекта, которая позволяет машинам использовать свои камеры в качестве глаз и, что еще более важно, распознавать объекты, которые они видят.

Ряд авторов рассматривают Python как альтернативу Matlab [2-4] и видят в этом большие преимущества.

В итоге умение использовать Python для решения задач автоматического управления является неоспоримым преимуществом инженера по автоматизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jivan S. Parab, Madhusudan Ganuji Lanjewar, Marlon Darius Sequeira, Gourish Naik, Arman Yusuf Shaikh. Python Programming Recipes for IoT Applications, – Springer Singapore 2013 192 p.

2. Kumar, R.Mathusoothana & Lakshmi, S.L. & K.V., Shiny & P., Venkadesh. (2023). Problem Solving and Python Programming. 10.59646/pythonprog/049.

3. Raja, K. (2023). Python-based fuzzy logic in automatic washer control system. Soft Computing. 27. 1-27. 10.1007/s00500-023-07979-3.

4. Shaw, Rabindra. (2021). Innovations in Electrical and Electronic Engineering. 10.1007/978-981-16-0749-3.

УДК 681.5

Барашко О.Г., Касперович А.В.

(Белорусский государственный технологический университет)

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОБЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ АГРЕГИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИИ

Оснащение производства современными системами управления приводит к оцифровке всех получаемых данных, создающую у персонала предприятия иллюзию их доступности. Но оцифровано не значит доступно. Данные есть, их, много, но нет средств, которые могут их агрегировать и увязать между собой в единое информационное пространство для всех уровней управления [1, 2]. Например, в случае

поиска причин брака и закономерностей, приводящих к его появлению, а также при решении оптимизационных задач необходимо собрать и сопоставить между собой отчеты совершенно разнородных систем. Но горизонт времени оценок поведения каждой из них зачастую составляет не более нескольких дней, при этом данные не прекращают поступать, постоянно меняя общую картину.

Объединение данных из всех процессов и систем, существующих на производстве (т.е. интеграция АСУТП: SCADA-, MES- совместно с бизнес-приложениями ERP-систем) с целью сокращения разночтений и ускорения работы, позволяет получить выгоды, зачастую скрытые от глаз: построение целостной картины промышленного предприятия с возможностью детальной визуализации реальных показателей производственных процессов: от оперативного мониторинга технологических данных до бизнес-индикаторов, в частности, KPI (Key Performance Indicators) в наглядном виде на основе информационных панелей (dashboard) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Визуальное представление бизнес-индикаторов функционирования предприятия (в частности, OEE) на основе информационных панелей

Для координации уровней производства и служб, включенных в ERP-систему, в критерии агрегирования использовался показатель измерения общей эффективности оборудования OEE (Overall Equipment Effectiveness) [2]. С его помощью можно получить информацию на важнейший для управления промышленным предприятием вопрос: каким путем можно рационально увеличить выпуск продукции, не вводя дополнительных мощностей.

Данный показатель ОЕЕ ($OEE = A * P * Q$) также позволяет агрегировать три базовых производственных фактора: готовность A (Availability) – учет потерь, связанных с простоями оборудования; производительность P (Performance) – учет потерь, связанных с уменьшением скорости производства; качество Q (Quality) – учет потерь, связанных с низким качеством продукции.

В работе рассмотрены модификации визуального представления информации в режиме on-line. Они связаны с учетом возможности ее агрегирования для оперативного динамического отслеживания трендов производственных и экономических процессов. Также проведен анализ размещения данных на информационных панелях с учетом критериев статичности, интерактивности и группирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барашко, О.Г., Касперович, А.В. Новые тенденции при проектировании пользовательского интерфейса ERP-систем // Нефтехимия-2021. Материалы IV Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке. – Минск, 2021. – С. 120.

2. Барашко, О.Г., Касперович, А.В. Агрегирование информационных потоков в ERP-системах // Нефтехимия-2019. Материалы II Международного науч.-техн. и инвестиционного форума по химическим технологиям и по нефтегазопереработке. – Минск, 2019. – С. 144–146.

Секция V

**ПОДГОТОВКА И ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ
ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСОВ НА ВСЕХ СТУПЕНЯХ ДИПЛОМНОГО
И ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

УДК 66-05

Данилова Е.А., Галанин Н.Е., Румянцева Т.А.
(ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
химико-технологический университет»)

**ПОДГОТОВКА БАКАЛАВРОВ ПО ПРОФИЛЮ
«ТЕХНОЛОГИЯ ОСНОВНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО
И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА В ИВАНОВСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ»**

В настоящее время роль университетов существенно возрастает, изменяется сам тип и вектор деятельности университета. Не секрет, что в России процессы заинтересованности организаций и предприятий различной формы собственности в сотрудничестве с вузами в сфере инновационного развития пока развиты недостаточно, спрос на научные разработки в целом невысок, университеты не в полной мере рассматриваются предприятиями реального сектора как основные партнеры для этого. Однако кадровый голод в условиях санкций и перехода на импортозамещение растет из года в год. Например, АО МХК «ЕвроХим», который открывает новые площадки и понижает средний возраст работающих, к 2026 году требуется 1000 молодых специалистов.

Взаимодействие университетов с предприятиями является быстро развивающимся трендом в современном высшем образовании. Практика взаимодействия вузов и предприятий различных секторов экономики показывает, что одной из ее самых распространенных форм является объединение ресурсов для достижения общих целей и задач при достижении максимальной академической прибыли [1].

Кафедра технологии тонкого органического синтеза открыла профиль «Технология основного органического и нефтехимического синтеза» более 10 лет назад. В то время демографическая обстановка в стране была неудовлетворительная, а планы приема в вузы на были

скорректированы, поэтому все выпускающие кафедры стали открывать профили, которые были бы интересны абитуриенту. Конечно, в Ивановской области нет добычи нефти, даже нет нефтеперерабатывающего завода, но как показало время, наши выпускники востребованы на НПЗ ближайших областей, а также в отдаленных регионах, например Нижневартовске, Сургуте, Волгограде, Киришах и др.

Высокий уровень знаний, получаемый в системе советского образования, был признан во всем мире. Ее достоинством была фундаментальность и научность. Проблема российского образования сегодня в другом: как от фундаментальных знаний перейти к инновациям и обеспечить подготовку специалиста к конкретной работе. Поэтому в современных условиях система высшего образования должна быть направлена не только на формирование теоретической базы при подготовке будущих выпускников, но и на формирование практических навыков по будущей специальности.

Как построен учебный процесс? Направление в образовательном процессе, которое мы выбираем: практико-ориентированный подход. Это слияние процесса обучения и прохождения практик, с целью знакомства студентов с профессиональной средой, требованиями, предъявляемыми реальным бизнесом к данной профессии.

Предлагаемая модель может существовать только при заинтересованности соответствующих предприятий. Учитывая их потребности в высококвалифицированных, информированных, IT-грамотных и ответственных специалистах, а также увеличение среднего возраста специалистов предприятий, который чаще всего зашкаливает «пенсионный», многие руководители предприятий сами предлагают сотрудничество с высшими образовательными учреждениями для создания образовательных модулей обучения с дальнейшим трудоустройством выпускников на своих производственных площадках; обращаются с просьбой о переподготовке инженерного состава по профилю.

Для реализации данного модуля проходит анализ учебных программ специалистами предприятия, это позволяет привлечь высококвалифицированных сотрудников предприятий к процессу обучения.

Полученный студентами объем знаний поможет студентам в прохождении практики, которая будет осуществляться на существующих локальных площадях. Для выполнения квалификационных работ студенты будут задействованы в реализации «жизненного цикла продукта», от исследований и разработок до логистики и дистрибуции.

Посещение выставок оборудования, сырья и технологий для химических производств расширяет кругозор знаний студентов, позволяет им познакомиться с представителями российских и зарубежных фирм.

Таким образом, в процессе обучения студент получает весь спектр необходимых знаний в стенах образовательного учреждения и закрепляет их на производственных площадках в режиме реального времени и ситуации, что позволит в конечном итоге подготовить квалифицированного специалиста, востребованного на рынке труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апевалова З.В. Организация деятельности Консорциума педагогических университетов (вопросы методологии) // Высшее образование в России. – 2013. – № 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-deyatelnosti-konsortsiuma-pedagogicheskikh-universitetov-voprosymetodologii>

УДК 66.0

**Усачева Т.Р., Граждан К.В., Гущина А.В., Исаева В.А.,
Кашина О.В., Кузьмина И.А., Куранова Н.Н., Тукумова Н.В.**
(Ивановский государственный химико-технологический университет)

ПОДГОТОВКА БАКАЛАВРОВ ПРОФИЛЯ «ХИМИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА И ИНЖЕНЕРИЯ» В ИВАНОВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ДЛЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В рамках осуществления образовательного процесса по направлению подготовки 04.03.01 Химия (уровень бакалавриата) на кафедре общей химической технологии ведется разработка ООП по новому профилю подготовки «Химическая экспертиза и инженерия» в соответствии с ФГОС ВО 3++. Выпускник сможет выполнять задачи научно-исследовательской и технологической направленности на предприятиях химической, нефтехимической, химико-фармацевтической и пищевой промышленности, в научно-исследовательских центрах, в аналитических, экологических, метрологических, фармацевтических лабораториях, в сфере образования. Образовательная программа готовит специалистов и руководителей подразделений по проведению химической экспертизы, работников научно-производственных подразделений реального сектора экономики, научных сотрудников и преподавателей ВУЗов и научных учреждений.

Программа предусматривает углубленное изучение дисциплин инженерной химии и физико-химических процессов, составляющих основы современных химических технологий и химической экспертизы.

Полученные в результате освоения ООП знания необходимы для оптимизации существующих и разработки новых химических технологий. Образовательная программа готовит специалистов, востребованных во всех отраслях, где необходимо совершенное владение современными физико-химическими методами идентификации и количественного анализа веществ и химической экспертизы материалов, пищевых продуктов, лекарственных препаратов и объектов окружающей среды. Среди профильных дисциплин запланированы такие дисциплины как «Физико-химические основы современных методов химической экспертизы», «Основы химической технологии», «Макрокинетика химических процессов», «Химическая инженерия химико-технологических систем», «Моделирование химико-технологических процессов», «Роль среды в управлении химическими процессами».

В ходе освоения дисциплины «Химическая инженерия химико-технологических систем» студенты изучают физико-химические основы и инженерное описание химико-технологических процессов переработки нефти, разделение смесей веществ методом ректификации, а также другие производства химической промышленности.

В структуре ООП «Химическая экспертиза и инженерия» особое место отводится экологической составляющей инженерного образования. Приобретение студентами экологических знаний и навыков по дисциплинам «Экология», «Безопасность жизнедеятельности» и «Техногенные системы и экологический риск» дает в дальнейшем умение оценить уровень воздействия действующего предприятия на окружающую среду и предусмотреть при необходимости мероприятия по его уменьшению.

Преподавание всех дисциплин проводится на кафедре общей химической технологии с максимальным привлечением ресурсов и элементов электронной информационно-образовательной среды ИГХТУ. Дисциплина «Моделирование химико-технологических процессов» для студентов бакалавриата направления «Химическая технология» профилями «Технология органического и нефтехимического синтеза» и «Химическая технология химико-фармацевтических препаратов и косметических средств» а также направления «Химия» проводится на кафедре общей химической технологии с максимальным привлечением образовательных ресурсов электронной информационно-образовательной среды ИГХТУ (ЭИОС). В ЭИОС размещены рабочая учебная программа дисциплин, список рекомендуемой литературы, презентации к лекционным курсам, тестовые задания и другие материалы, необходимые студентам для успешного освоения дисциплин. Кроме этого, образовательный портал содержит инструменты, решающие организационные вопросы проведения учебных занятий, средства асинхронного и синхронного взаимодействия

преподавателей с обучающимися, а также средства текущего и промежуточного контроля.

Подготовка высококвалифицированных специалистов для решения задач научно-исследовательской и технологической направленности невозможна без использования результатов научных исследований преподавателей в образовательном процессе. Проводимые на кафедре общей химической технологии исследования направлены на разработку научных принципов применения неводных растворителей как эффективного средства управления химико-технологическим процессом. Многие практически важные решения, основанные на использовании термодинамических параметров комплексных соединений в неводных растворах, сегодня используются в нефтехимических процессах, технологиях органического синтеза и жидкофазного катализа, в новых аналитических методиках и экстракционных процессах. Результаты исследований используются при реализации ООП бакалавриата, магистратуры и аспирантуры Ивановского государственного химико-технологического университета.

УДК 331.41

А.В. Телегин
(ОАО «Нафтан»)

ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОАО «НАФТАН»

Взаимодействие с учреждениями образования по вопросам подготовки кадров всегда было и остается одним из важнейших звеньев кадровой политики ОАО «Нафтан». Оно осуществляется по следующим основным направлениям:

организация профориентационной работы «со школьной скамьи» с целью привлечения талантливой молодежи к обучению по специальностям в области нефтепереработки и нефтехимии;

непосредственно подготовка молодых специалистов по профильным для предприятия специальностям, как на основе заключенных договоров о взаимодействии, так и в соответствии с заявками на подготовку специалистов с высшим образованием (сформированы в установленном порядке на период до 2033 года);

организация прохождения практики на базе предприятия для студентов высших учебных заведений;

реализация образовательных программ дополнительного образования взрослых в отношении работников предприятия (переподготовка, повышение квалификации, обучающие курсы, семинары и пр.).

Работа в данных направлениях организована следующим образом.

Профориентационная работа проводится на систематической основе в старших классах средних школ городов Новополоцк и Полоцк посредством проведения тематических встреч работников предприятия с учащимися, в ходе которых (в том числе и в игровой форме) доводится информация о предприятии, выпускаемой продукции, технологических процессах, социальном пакете, основных профессиях и специальностях, а также учебных заведениях, где им обучаются.

На предприятии разработано Положение о конкурсном отборе учащихся для направления на обучение в УО «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой» из числа одарённой молодёжи города на специальности нефтехимического профиля. Есть положительный опыт его применения, но в связи с изменением нормативной базы оно несколько утратило свою актуальность и в настоящее время нами разрабатывается Положение о конкурсном отборе учащихся для получения образования на условиях целевой подготовки.

Так же в рамках Новополоцкого нефтехимического кластера для учащихся профильных нефтехимических классов школ города ежегодно составляется и реализуется План совместных мероприятий УО «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», ОАО «Нафтан» и школ, которые направлены на повышение заинтересованности учащихся в поступлении на профильные для Общества специальности.

Планируется в 2023/2024 учебном году совместно с УО «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой» организовать для учащихся выпускных классов школ открытую профильную олимпиаду под эгидой ОАО «Нафтан» и университета для целевого отбора одаренных абитуриентов.

Профориентации студентов высших учебных заведений содействуют регулярное проведение ознакомительных экскурсий по территории предприятия, а также организация на его базе прохождения всех видов практик (ознакомительная, производственная (технологическая), преддипломная). При этом, кадровой службой осуществляется сбор «обратной связи» от руководителей практики от предприятия с целью выделения наиболее способных к учебе и мотивированных к работе на предприятии студентов.

Так исторически сложилось, что основным учреждением высшего образования, осуществляющим **подготовку кадров** для ОАО «Нафтан», является УО «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», с которым у предприятия заключен договор о взаимодействии. На его долю ежегодно приходится свыше 95% принимаемых на работу молодых специалистов.

В данном направлении ОАО «Нафтан» также сотрудничает и с другими ВУЗами республики, среди которых: УО «Белорусский государственный технологический университет», УО «Белорусский национальный технический университет», УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Белорусский государственный университет.

Общая картина по привлечению, распределению и закреплению молодых специалистов в Общество представлена в таблице 1.

Таблица 1 – статистика привлечения, распределения и закрепления молодых специалистов в ОАО «Нафтан»

Наименование учебного заведения	Заявлено выпускников			Прибыло для трудоустройства (процент удовлетворения)			Работают в настоящее время* (процент закрепления)		
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
УО «Полоцкий государственный университет»	52	66	51	38 (73%)	59 (89%)	42 (82,3%)	31 81%	41 70%	31 73,8%
УО «Белорусский государственный технологический университет»	4	6	1	1 (25%)	6 (100%)	0	0	2 33%	–
УО «Белорусский национальный технический университет»	–	2	–	–	1 (50%)	–	–	0	–
Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий	2	2	–	0 (0%)	0 (0%)	–	–	–	–
УО «Витебский государственный медицинский университет»	–	–	4	–	–	0 (0%)	–	–	–
Белорусский государственный университет	–	–	1	–	–	1 (100%)	–	–	1 100%
УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»	1	–	–	0 (0%)	–	–	–	–	–
ВСЕГО	59	76	57	39 (66%)	66 (87%)	43 (75,4%)	31 79%	43 65%	32 74,4%

* в том числе работники, за которыми закреплены рабочие места на период военной службы

Как видно из таблицы 1, заявки предприятия не удовлетворяются учебными заведениями в полном объеме, что вызвано растущей конкуренцией между работодателями из-за общего дефицита квалифицированных кадров на рынке труда. На выбор современных молодых специалистов оказывают влияние так же: удаленность от столицы и областных центров, вредные условия труда, режимность предприятия, не всегда оправдывает ожидания предлагаемый уровень заработной платы на первых этапах работы. Из-за формирующейся в последние годы тенденции нарастания дефицита врачебного персонала так же не удовлетворяются поданные заявки на молодых врачей-специалистов.

В ОАО «Нафтан», как и на других предприятиях отрасли, выпускники технических специальностей высших учебных заведений в подавляющем большинстве принимаются на работу по профессиям рабочих, так как для занятия инженерной или руководящей должности вчерашнему выпускнику необходимо наработать определенный опыт для успешного выполнения своих трудовых обязанностей в условиях опасного производства. Кроме того, вакансий специалистов в таком количестве просто не образуется. Это обстоятельство так же зачастую влияет на выбор выпускников при распределении и становится «камнем преткновения» для учебных заведений, которые отказывают предприятию в распределении молодых специалистов для трудоустройства по рабочим профессиям. Так, по этой причине Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий перестал удовлетворять заявки ОАО «Нафтан» на распределение молодых специалистов.

Кроме того, законодательно установленная необходимость назначения выпускникам высших учебных заведений, не имеющих присвоенной в установленном порядке профессии рабочего, образовательной программы **профессиональной подготовки рабочих** (ст. 248 Кодекса об образовании Республики Беларусь) фактически демотивирует их, так как сроки подготовки, в среднем, по большинству профессий составляют от 3 до 5 месяцев, в то время как **сроки переподготовки** практически в два раза меньше – от 1 до 3 месяцев. Это фактически приравнивает их к выпускникам средних школ, не смотря на наличие профильных знаний, полученных в ВУЗе.

Решению указанных проблемных вопросов могло бы способствовать внесение соответствующих изменений в Кодекс об образовании (и, при необходимости, в иные связанные с ним нормативные акты), разрешающих организациям – заказчикам кадров принимать на работу выпускников, имеющих высшее профильное (техническое) или среднее специальное профильное (техническое) образование, с их согласия, по профессиям рабочих с учетом направления полученной специальности,

а также назначать этим работникам **сокращенную** образовательную программу **переподготовки рабочих (служащих)**, а не подготовки, как это требуется сейчас.

В ОАО «Нафтан» наработан положительный опыт организации скорейшего включения выпускников в производственный процесс за счет налаженного взаимодействия с УО «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой» в части предоставления студентам 3-4 курса востребованных на предприятии специальностей, по их желанию и с учетом наличия вакансий, оплачиваемого рабочего места уже в период учебы (в том числе во время производственной или преддипломной практики) для получения профессии рабочего. Информация о количестве таких студентов представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Информация о количестве студентов УО «ПГУ», получивших профессии рабочего

Специальность УО «ПГУ», полученная профильная профессия рабочего в ОАО «Нафтан»	Количество студентов, чел.				
	2019	2020	2021	2022	2023
Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов (оператор технологических установок, лаборант химического анализа)	7	13	2	1	13
Машины и аппараты химических производств (слесарь-ремонтник, слесарь по ремонту технологических установок, машинист насосных установок)	6	–	6	4	1
Электроснабжение (по отраслям) (электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования)	–	–	–	1	–
Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ	–	–	–	2	2
Всего:	13	13	8	8	16

Из числа получивших таким образом рабочую профессию студентов практически все выбирают ОАО «Нафтан» своим первым рабочим местом на этапе распределения.

В связи с этим считаем целесообразным рассмотреть вопрос внесения изменений в учебные программы по ряду профильных для отрасли технических специальностей в направлении увеличения сроков прохождения производственной практики непосредственно на предприятиях до 4-6 месяцев, в том числе с возможностью трудоустройства для присвоения профильных профессий рабочих.

С целью оказания индивидуальной направленной помощи молодым работникам, направленным в Общество по распределению, в открытом акционерном обществе «Нафтан» действует программа адаптации, включающая в себя наставничество, школу молодого специалиста, Совет работающей молодёжи, заводскую организацию ПО РОО БРСМ. Созданы необходимые условия для занятия спортом, туризмом, развития творческих способностей (арт-объединение, спортивно-физкультурный клуб при первичной организации Белхимпрофсоюза).

По прибытию на работу все нуждающиеся молодые специалисты обеспечиваются жилым помещением в ведомственном общежитии. Проживающие в общежитии для одиноких граждан обеспечиваются постельными принадлежностями, инвентарем и бытовыми устройствами согласно утвержденным нормам на оборудование общежитий.

Кроме этого Коллективным договором ОАО «Нафтан» на 2023–2025 гг. для молодых специалистов предусмотрено ряд льгот:

– проживающим в общежитии для одиноких граждан, в течение первого года работы оказывается, согласно личному заявлению работника, материальная помощь в размере 50 % от полной стоимости проживания в месяц (пользование жилым помещением и основные жилищно-коммунальные услуги);

– принятым после прохождения срочной военной службы, альтернативной службы, при условии призыва на срочную военную службу или альтернативную службу во время работы в Обществе выплачивается единовременная материальная помощь в размере 2-х минимальных заработных плат.

Работниками управления персоналом Общества осуществляется персональное сопровождение каждого молодого специалиста на этапах от распределения до окончания стажировки на рабочем месте, в том числе с использованием цифровых технологий, социальных сетей, специально создаваемых Viber-чатов (позволяют значительно сократить количество однотипных обращений к руководителям и специалистам со стороны принимаемых за счет охвата – одновременно в чате может присутствовать до 150 трудоустраиваемых лиц).

Все молодые специалисты проходят через профильное собеседование и оценку (тестирование) личностно-психологических особенностей с целью выявления перспективных/мотивированных работников и сопровождения их профессионального (карьерного) роста.

Видение карьеры и перспективы развития помогает закрепить на местах молодых специалистов, сохранить общий высокий профессиональный уровень работников как отдельного подразделения, так и Общества в целом.

В рамках данной работы разработан и используется алгоритм отбора лиц в перспективный кадровый резерв, в котором учтены методологические подходы и практические возможности по выявлению наиболее способных и мотивированных лиц.

Эффективность используемых подходов и внедряемых новшеств подтверждается показателями закрепляемости молодых специалистов, которые составили по выпускникам 2021 года – 79 %, 2022 года – 65%, 2023 года – 97% (с учетом работников, за которыми закреплены рабочие места на период военной службы).

Из 7 уволившихся молодых работников, принятых в 2021 году, за истекший период уволились: по окончанию контракта сразу после отработки – 1 чел., по соглашению сторон – 3 чел., по требованию работника – 1 чел., уволены на военную службу без возвращения на прежнее место работы – 2 чел.

Из 30 уволившихся молодых работников, принятых в 2022 году, за истекший период уволились: в порядке перевода к другому нанимателю – 1 чел., на военную службу – 26 чел.

ОАО «Нафтан» выступает базой **практики** для учебных заведений как региона, так и республики по достаточно широкому кругу специальностей. В соответствии с заключенными договорами между предприятием и учреждениями высшего образования ежегодно более 350 студентов проходят производственную и преддипломную практику, что на порядок выше количества трудоустраиваемых в итоге на предприятие молодых специалистов.

Количество практикантов по учебным заведениям высшего образования представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Количество практикантов на ОАО «Нафтан» по учебным заведениям высшего образования

Учебное заведение	2021	2022	2023 (до 30.09.2023)
УО «Полоцкий государственный университет им. Е.Полоцкой» (ПГУ им. Е.П.) г. Новополоцк	438	350	322
Белорусский государственный технологический университет (БГТУ) г. Минск	58	63	26
Белорусский национальный технический университет (БНТУ) г. Минск	23	15	6
БГУ пищевых и химических технологий г. Могилёв	4	5	2
Всего:	523	433	356

В разрезе специальностей студенты проходят практику:

УО «ПГУ имени Евфросинии Полоцкой: «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»; «Машины

и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов»; «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна», «Водоснабжение, водоотведение и охрана воздушного бассейна», «Программное обеспечение информационных технологий», «Электро-снабжение», «Оборудование и технология сварочного производства», «Технология машиностроения», «Правоведение».

БГТУ: «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий», «Биотехнология», «Технология основного органического и нефтехимического синтеза», «Технология пластических масс», «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов».

БНТУ: «Вакуумная и компрессорная техника».

БГУПиХТ: «Технология химических волокон».

Не менее важным аспектом подготовки кадров является взаимодействие с ВУЗами по направлению **дополнительного образования взрослых, которое** осуществляется как в виде прохождения работниками курсов повышения квалификации и организации 1–2 дневных обучающих курсов, так и за счет переподготовки работников, в том числе по направлению и за счет Общества.

Тематика и направления обучения напрямую связаны с производственными потребностями.

Количество работников, прошедших повышение квалификации и обучающие курсы за три последних года представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Количество работников ОАО «Нафтан», прошедших повышение квалификации и обучающие курсы за три последних года

Учебное заведение	2021		2022		2023 (до 30.09.2023)	
	ПК	ОК	ПК	ОК	ПК	ОК
УО «Полоцкий государственный университет им. Е.Полоцкой», ИПК и ПК г. Новополоцк	288	39	243	31	282	1
Белорусский национальный технический университет (БНТУ), ИПК и ПК, МИПК и ПК, Витебский ф-л г. Минск	40	1	38	24	56	29
Белорусско-российский университет г. Могилёв	81	–	–	–	–	–
БГЭУ г. Минск	–	25	5	14	6	–
БГУ пищевых и химических технологий г. Могилёв	9	–	–	–	–	–
Всего:	418	65	286	69	344	30

Тематика и направления обучения напрямую связаны с производственными потребностями. Среди основных тем курсов:

«Обеспечение промышленной безопасности взрывоопасных химических производств и объектов, Техническое обслуживание (эксплуатация, ремонт, монтаж и наладка) взрывозащищённого оборудования, КИПиА, электроустановок во взрывоопасных зонах в автоматизированном производстве»;

«Производственный контроль в области промышленной безопасности»;

«Организация и обеспечение промышленной безопасности при эксплуатации опасных производственных объектов и потенциально опасных объектов»;

«Обеспечение пожарной безопасности»;

«Закупки товаров, работ, услуг: практикум для профессионалов» и др.

«Актуальные вопросы деятельности организации»;

«Новые технологические процессы глубокой переработки нефти. Установка замедленного коксования».

Информация о количестве работников Общества, прошедших переподготовку в учреждениях высшего образования в 2021–2023 гг., представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Количество работников ОАО «Нафтан», прошедших переподготовку в учреждениях высшего образования в 2021-2023 гг.

Учебное заведение	Специальности переподготовки, количество обучавшихся работников в 2021-2023 гг.
УО «Полоцкий государственный университет им. Е.Полоцкой», ИПК и ПК	68 чел., в т.ч.: Экономика во внешнеэкономической деятельности – 12 чел. (9 – по направлению); Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов – 16 чел.; Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов – 13 чел. (1 – по направлению); Технология переработки нефти и газа – 5 чел. (1 – по направлению); Электроснабжение – 5 чел. (1 по направлению); Охрана труда – 4 чел. (3 – по направлению); Программное обеспечение информационных технологий – 5 чел.; Промышленная электроника – 2 чел.; Диагностика и техническое обслуживание энергооборудования организации – 2 чел. (по направлению)
Академия управления при президенте РБ	5 чел., в т.ч.: Государственное управление и идеология – 3 чел. (по направлению); Управление персоналом – 1 чел. (по направлению); Государственное управление национальной экономикой – 1 чел. (по направлению)

Окончание таблицы 5

Учебное заведение	Специальности переподготовки, количество обучавшихся работников в 2021-2023 гг.
БГУ информатики и радиоэлектроники	2 чел., в т.ч.: Программное обеспечение информационных технологий – 1 чел.; Информационные технологии и управление в технических системах – 1 чел.
Белорусский государственный технологический университет	Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов – 1 чел.
Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»	Промышленная безопасность – 2 чел. (по направлению)
УО "Витебский государственный технологический университет"	Программное обеспечение информационных систем – 2 чел. (по направлению)

УДК 004.9

Краснянский М.Н., Мокрозуб В.Г., Тимонин А.С.
(Тамбовский государственный технический университет)

ЦИФРОВЫЕ УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОПЕРЕОРАБОТКИ, ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

В настоящее время в социальной и промышленной сферах деятельности РФ активно внедряются результаты, полученные благодаря выполнению национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», которая состоит из ряда федеральных проектов, в том числе – проекта «Кадры для цифровой экономики».

Естественно, что подготовка кадров в современных условиях должна осуществляться в цифровой среде [1]. «Цифровая среда образования» – термин охватывающий разные аспекты образования, такие, например, как использование [2]:

- электронных площадок таких, например, как Moodle, Google Classroom и др.;
- тренажерных комплексов;

- виртуальных кабинетов и лабораторий;
- цифровых учебных материалов.

Цифровые учебные материалы – это прежде всего мультимедийные материалы, позволяющие в полной мере использовать возможности современных информационных технологий.

Существуют десятки платформ как для создания цифрового образовательного контента, так и для организации и управления процессом обучения. Среди них можно отметить, например, конструктор мультимедийных учебных материалов iSpring Suite [3].

Эти платформы достаточно привлекательны, но они не могут обеспечить необходимые для изучения технологического оборудования возможности:

- просмотр, разборку и сечение 3D-моделей технических устройств;
- выполнение математических расчетов по описываемым в учебном материале методикам.

Авторы представляют технологию создания мультимедийного электронного учебника «Оборудование нефтегазопереработки, химических и нефтехимических производств».

Учебник представляет собой один файл в формате pdf. Навигация по разделам и подразделам осуществляется с помощью закладок (рисунок 1).

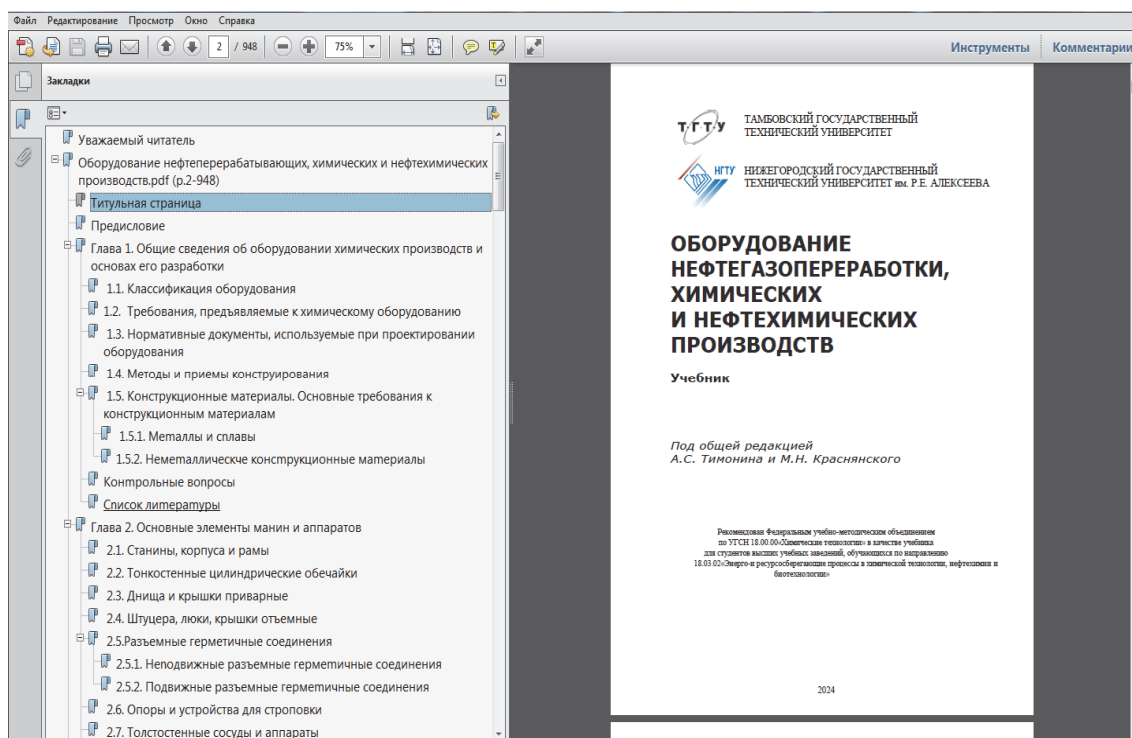


Рисунок 1 – Навигация по разделам учебника

По каждому виду оборудования имеется 3D-модель в формате easm, которая вложена в pdf. Всего в настоящей версии учебника, более пятидесяти моделей. Имеется возможность получить весь список 3D-моделей и выбрать определенную модель для визуализации (рисунок 2) или визуализировать модель, находясь в тексте учебника (рисунок 3).

3D-модели представлены в формате easm (SolidWorks), который разработан специально для представления моделей в сети Internet. Формат позволяет получать файлы небольшого размера с сохранением дерева элементов сборочного объекта. Подготовка 3D-модели осуществлялась в различных графических редакторах (SolidWorks, Компас, Inventor) и затем, через формат step, они открывались в SolidWorks и сохранялись как easm.

Просмотр 3D-моделей осуществляется с помощью свободно распространяемой программы eDrawings-2018x64., которая позволяет разбирать сборку, делать сечения и др. (рисунок 4).

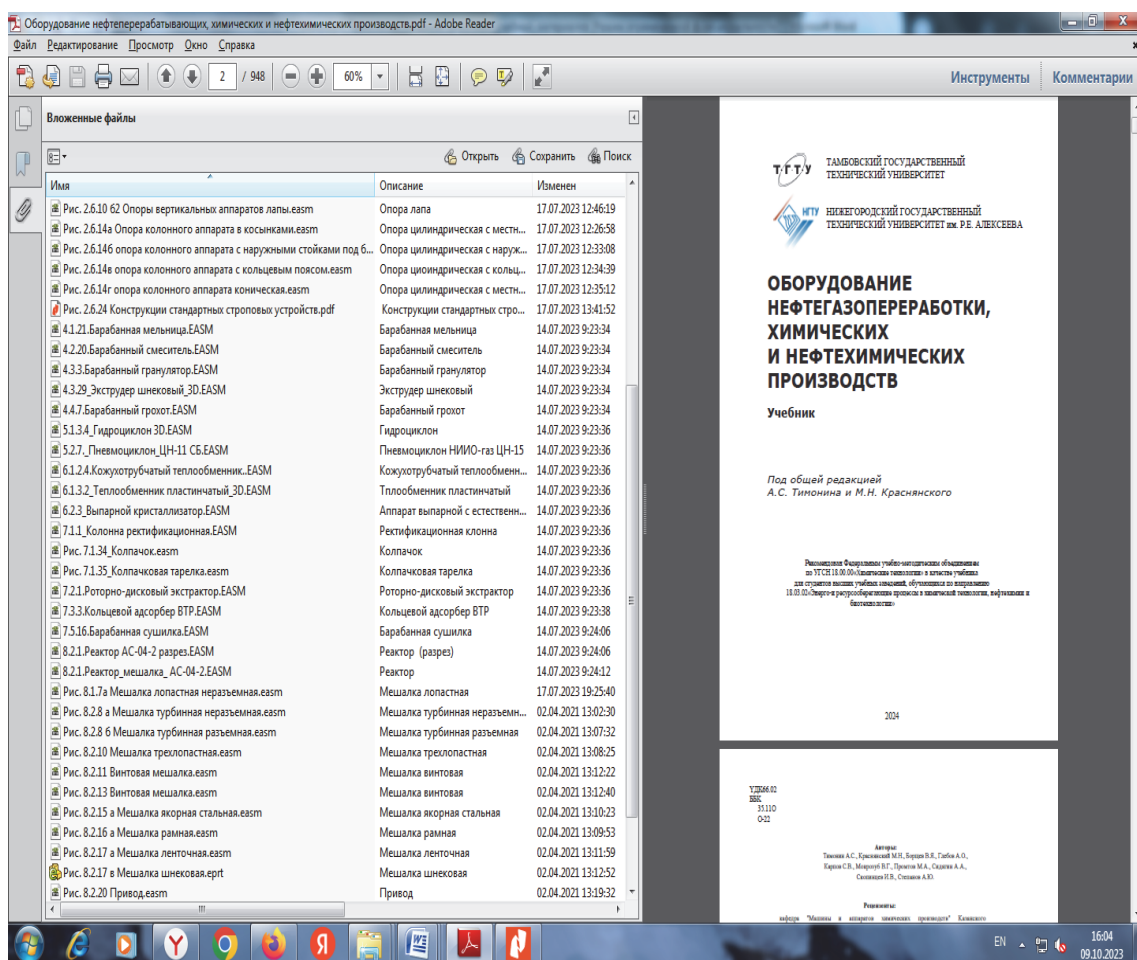


Рисунок 2 – Список 3D-моделей учебника

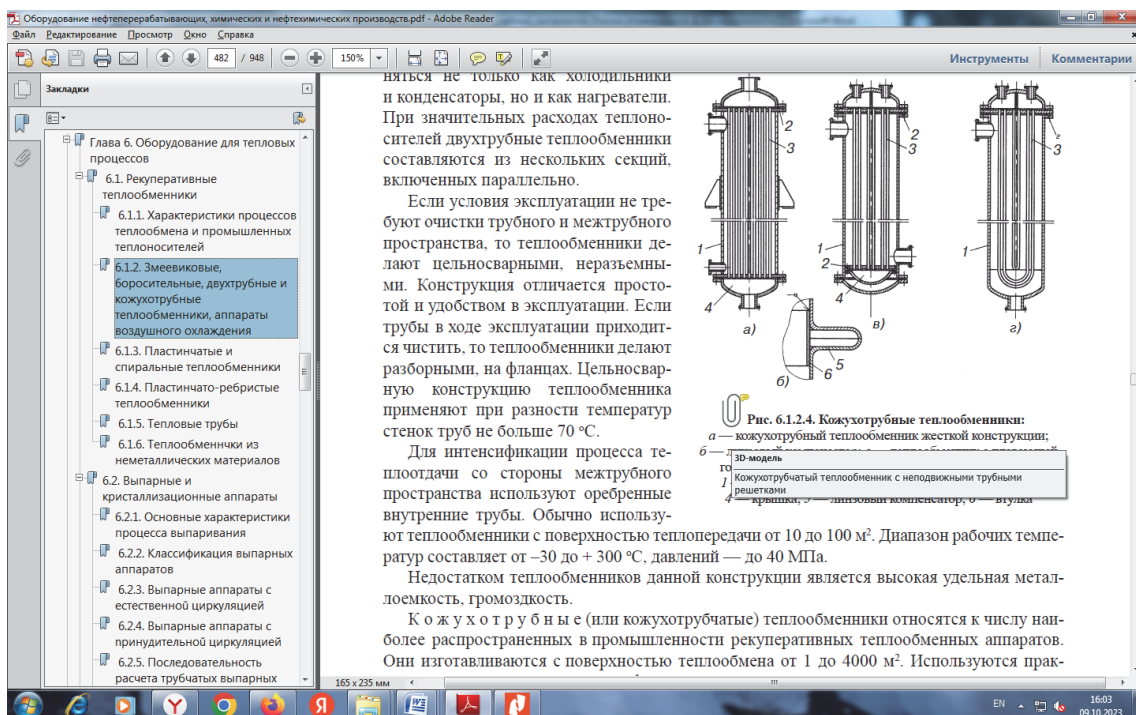


Рисунок 3 – Вызов 3D-модели в тексте учебника

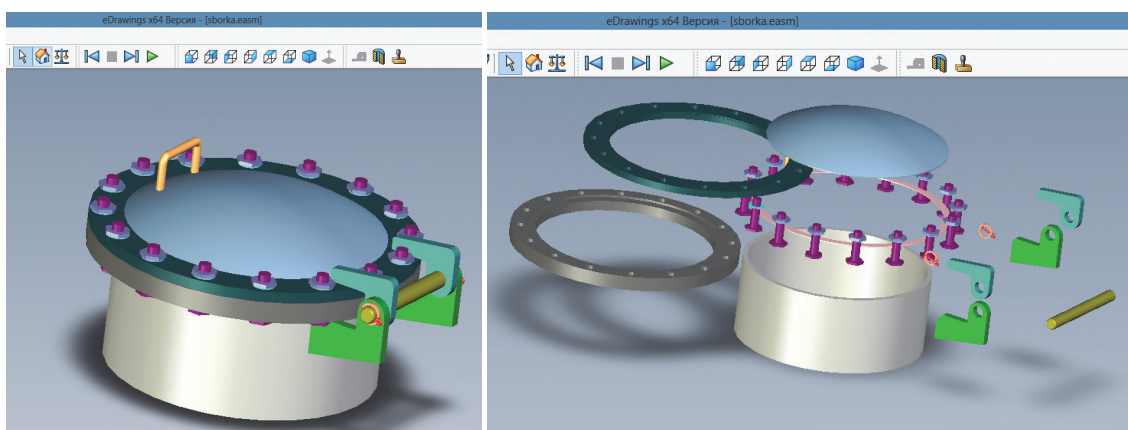


Рисунок 4 – Пример работы в программе eDrawings

Дальнейшее развития учебника, кроме увеличения числа 3D-моделей оборудования и его элементов, предполагает включение в него примеров расчетов оборудования, выполненных в программе SMath Studio – российский аналог Mathcad [4]. Интерфейс программы аналогичен интерфейсу Mathcad и легко осваивается. Имеется бесплатная версия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Russian engineering teachers as an important part of IGIP / А.Н.Соловьев, В.М.Приходько, Т.Ю.Полякова, З.С.Сазонова // Высшее образование России. 2018. № 1. С. 38–45.

2. Краснянский, М. Н. Перспективы применения систем цифровых двойников и интеллектуализации расчетов на прочность химического оборудования / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, А. С. Тимонин // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2023. – № 5. – С. 7-12. – DOI 10.36535/0548-0027-2023-05-2.

3. Ispring – Режим доступа: <https://www.ispring.ru/ispring-suite> – (Дата обращения: 09.10.2023).

4. SMath Studio – Режим доступа: <https://ru.smath.com> – (Дата обращения: 09.10.2022).

УДК 378.147.88

**Касперович А.В., Шашок Ж.С., Усс Е.П.,
Вишневский К.В., Кротова О.А., Лешкевич А.В.**
(Белорусский государственный технологический университет)

О ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕЗИНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Производственная деятельность является основой современной цивилизации, без развития которой нельзя говорить не только о развитии общества, но и о простом его существовании. Значение закономерностей и принципов осуществления традиционных и прогрессивных технологических процессов производства позволяет анализировать реальную ситуацию на предприятиях, на научной основе планировать мероприятия по их техническому развитию. В процессе обучения будущего специалиста необходимо предлагать для реализации практико-ориентированные задачи. Студент должен научиться выбирать наиболее оптимальные из различных вариантов технических и технологических решений с неодинаковыми затратами и получаемыми результатами. К реализации этих решений должны применяться варианты, оптимальные с производственной и экономической точек зрения [1].

Качество образования во всем мире признается решающим фактором развития потенциала человека, экономического прогресса общества этой страны. Повышение качества образования, вместе с его доступностью, является одним из важнейших направлений Республики Беларусь. Особое значение следует придать развитию высшего образования: повысить качество и улучшить структуру подготовки специалистов, максимально приблизить ее к требованиям рынка труда. Для решения этой задачи предполагается повышение качества образовательной деятельности учреждений, которые обеспечивают получение высшего

образования, переподготовку специалистов и повышение их квалификации, а также подготовку специалистов высшей научной квалификации. Современные методы, формы и инструменты обучения, проблемные технологии обучения и особенно нетрадиционные методы самостоятельного обучения играют важную роль в повышении качества и эффективности образования [2].

В учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре полимерных композиционных материалов (ПКМ) осуществляется подготовка бакалавров по профилю «Технология и инжиниринг эластомерных композиционных материалов» с квалификацией «Инженер. Химик-технолог».

Бакалавр в области технологии и инжиниринга эластомерных композиционных материалов учится решать различные производственные задачи: разработка дизайна изделий из эластомеров, проектирование и компьютерное моделирование технологических процессов изготовления эластомерных материалов. В процессе обучения будущие специалисты научатся создавать эластомерные композиционные материалы с требуемыми свойствами, оптимизировать режимы производства изделий на всех технологических стадиях их изготовления, осуществлять контроль за соблюдением основных операций рабочего процесса, а также получат опыт проведения научно-исследовательских работ в области технологии получения и переработки эластомерных материалов с применением современных методов исследования.

Специалисты данного профиля могут работать на производствах изделий из эластомерных композиционных материалов, в специализированных лабораториях научно-исследовательских институтов, проектных и конструкторских бюро, на кафедрах учреждений образования. Они востребованы на таких предприятиях, как ОАО «Белшина», ОАО «Беларусьрезинотехника», ОАО «Резинотехника», ЗАО «Амкодор-Эластомер», ОАО «БПА Белстройиндустрия», ОАО «МАЗ», ОАО «БелАЗ», ОАО «МТЗ», ОАО «Минский завод колёсных тягачей» и др.

Подготовка студентов начинается кафедрой ПКМ с введения в специальность на первом курсе обучения, организации встреч студентов с преподавателями кафедры и специалистами ведущих профильных предприятий, проведении экскурсий на предприятиях в период учебной ознакомительной практики.

На последующих курсах студенты приступают к изучению научно-теоретических и химико-технологических основ по специальным дисциплинам, предусмотренных учебным планом. При освоении данных дисциплин активно внедряются современные методы и формы обучения, образовательные технологии. Ежегодно преподаватели кафедры проходят курсы повышения квалификации по совершенствованию педагогического

мастерства, обмениваются опытом работы путем взаимопосещения занятий ведущих преподавателей кафедры, участвуют в проведении открытых занятий, научно-методических конференциях и др.

Для развития навыка научно-исследовательской работы студенты активно вовлекаются в научные кружки под руководством преподавателей кафедры, участвуют в выполнении научно-исследовательских тем, охватывающих современные направления резиновой промышленности. По результатам своей работы они подготавливают научные публикации и доклады для участия в ежегодных конференциях, семинарах и конкурсах.

Производственные практики дают возможность будущим специалистам познакомиться с технологическими процессами, закрепить, расширить и систематизировать знания, полученные при изучении специальных учебных дисциплин, выработать профессиональные навыки по профилю обучения.

Для подготовки востребованных кадров кафедра ПКМ стремится постоянно совершенствовать учебный процесс и делает основной акцент на взаимосвязь теоретической основы обучения и практической деятельности студентов. Ведь для успешного освоения изучаемого материала студент должен не только воспринять и запомнить полученную информацию, но и успешно самостоятельно применять полученные теоретические знания в практической деятельности. Для достижения этих целей открыт филиал кафедры ПКМ в ОАО «Белшина», позволяющий объединить усилия преподавателей кафедры и специалистов предприятия в проведении учебной, научно-методической, научно-исследовательской работы и инновационной деятельности, а также в организации идейно-патриотического воспитания среди учащихся.

На сегодняшний день со стороны предприятия ОАО «Белшина» реализуются многие формы сотрудничества с университетом:

- согласование учебных программ для подготовки специалистов;
- разработка учебно-методических рекомендаций и дидактических материалов по специальным дисциплинам для подготовки и осуществления контроля знаний студентов;
- участие специалистов предприятия в проведении всех видов производственных практик;
- организация экскурсий и ознакомление с современным оборудованием и технологическими процессами производства шин; организация встреч со студентами;
- участие в формировании тематик учебно-исследовательских работ, курсовых и дипломных проектов на основе планов производства предприятия;
- содействие реальному курсовому и дипломному проектированию;
- участие представителей предприятия в защитах дипломных проектов;

- подготовка магистрантов и соискателей, направленных предприятием на заочную форму обучения, к защите магистерских и кандидатских диссертаций;
- организация прохождения стажировки преподавателями кафедры ПКМ на предприятии;
- формирование у студентов основ научных исследований посредством включения их в выполнение совместных научно-исследовательских проектов;
- подготовка совместных научных публикаций в профильные научно-практические издания;
- формирование у студента позитивного отношения к трудовому процессу;
- развитие коммуникабельности студентов и умения адаптироваться к рабочему коллективу и т.д.

Необходимо отметить положительные аспекты участия предприятия в подготовке кадров:

- возможность подготовки специалистов под особенности своего предприятия;
- отбор наиболее перспективных кадров для работы на предприятии;
- привлечение молодых амбициозных работников, способных к дальнейшему саморазвитию и др.

Таким образом, выпускающая кафедра участвует в формировании профессиональных компетенций у студентов на протяжении всего периода обучения в вузе. Опыт работы кафедры ПКМ и ОАО «Белшина» говорит о целесообразности создания филиалов кафедры на предприятиях и подготовке высококвалифицированных специалистов в условиях реального производства. Совместная работа предприятия и университета позволит закрепить и расширить знания студентов, целенаправленно подготовить специалистов высокого уровня, ориентированных на производственные нужды предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1 Буткевич В.Г., Дубаневич Д.Т., Куландин А.С. Решение практико-ориентированных задач при подготовке специалистов в техническом вузе // Материалы X Международной научно-методической конференции «Высшее техническое образование: проблемы и пути развития». – Минск: УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2020 г. – С. 22–25.

2 Батиров, Б.Б. Технологии организации независимого обучения по специальности «Физика» / Э.А. Батыжев, С.Р. Алиев, О.О. Миркомиллов, С.К. Азимов // Проблемы современного образования в техническом вузе. – 2019. – С. 69–70.

Содержание

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ	IV
<i>Войтов И.В.</i> ПОДГОТОВКА ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ И ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛОРУССКИМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ УНИВЕРСИТЕТОМ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	IV
<i>Пархомчик П.А.</i> ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО	XXV
<i>Ермолович М.Л.</i> ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО	XXVI
<i>Рыбаков А.А.</i> ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО	XXVII
<i>Мясникович М.В.</i> ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО	XXVIII
<i>Анфимов Л.В.</i> ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО	XXIX
<i>Ковалев А.В.</i> ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО	XXX
<i>Гольмонт Е.С.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	XXXI
<i>Гордина Н.Е., Смирнова О.П., Усачева Т.Р., Данилова Е.А.</i> СОВРЕМЕННОЕ КАЧЕСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ: ОПЫТ ИВАНОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА	XXXV
<i>Иофик Б.Ш., Жойдик А.Г., Войтов И.В.</i> ВОЗДУХООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ. ВОПРОСЫ И РЕШЕНИЯ	XXXVIII
СЕКЦИЯ I. ПЕРСПЕКТИВЫ, СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ. ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ	1
<i>Гулиев Р.З.</i> ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	1
<i>Гайле А.А., Карнаух В.С., Камешков А.В.</i> ЭКСТРАКЦИОННАЯ ОЧИСТКА ЛЕГКОГО ГАЗОЙЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА СМЕСЯМИ N-МЕТИЛПИРРОЛИДОНА С ЭТИЛЕНГЛИКОЛЕМ.....	4

<i>Янушкевич В. Ф., Раскин В. И.</i> МЕТОДЫ ПОИСКА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН.....	7
<i>Аннаев Г., Советников Н.А.</i> ИЗУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ИНГБИРУЮЩИХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ НЕЙТРАЛЬНОГО СУЛЬФОНАТА КАЛЬЦИЯ.....	11
<i>Долгих А.В., Чудинов А.Н., Рябов В.Г.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОВЛЕЧЕНИЯ ГУДРОНА И ПРОДУКТОВ ЕГО ДЕАСФАЛЬТИЗАЦИИ В ПРОЦЕСС КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА	15
<i>Белов Д.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	18
<i>Белов Д.А.</i> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОЛЕФИНОВ В РФ	22
<i>Жолнеркевич В.И., Шрубок А.О.</i> СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ.....	26
<i>Кугач В.В., Жолнеркевич В.И., Шрубок А.О.</i> ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	29
<i>Осипёнок Е.М., Прищепенко Д.В., Барановская А.С., Юсевич А.И., Войтов И.В.</i> ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СМОЛ СОПОЛИМЕРИЗАЦИЕЙ ТЯЖЕЛОЙ ПИРОЛИЗНОЙ СМОЛЫ И ЖИВИЧНОГО СКИПИДАРА	32
<i>Трусов К.И., Юсевич А.И., Агабеков В.Е.</i> ОСОБЕННОСТИ ГИДРОКРЕКИНГА АСФАЛЬТА В ПРИСУТСТВИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ СУЛЬФИДОВ МОЛИБДЕНА И НИКЕЛЯ.....	36
<i>Ивановский В.В., Ивановская И.С.</i> ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	40
СЕКЦИЯ II. ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ	72
<i>Ковалева А.А., Кулевец П.С., Левданский А.Э.</i> ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ НА СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА	43

<i>Кордикова Е.И., Шалай Е.Ю.</i> МЕЖСЛОЙНЫЙ СДВИГ В ПЭТФ, ПОЛУЧЕННОМ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО НАНЕСЕНИЯ РАСПЛАВЛЕННОГО МАТЕРИАЛА	46
<i>Потапчик А.Н.</i> МОДИФИКАЦИЯ ВЫСОКОЭЛАСТИЧНЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ.....	51
<i>Карпович О.И., Наркевич А.Л., Калинин А.Л., Пышняк А.М., Подымако М.Э., Куценоленко А.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ТЯГОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СТАЛЬНЫМ КАНАТАМ	55
<i>Глевицкая Т.А., Назаров Е.А., Полин А.С., Бильдюкевич А.В.</i> ПОГРУЖНЫЕ ПОЛОВОЛОКОННЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	58
<i>Бурть Е.С., Плиско Т.В. Бильдюкевич А.В., Пенькова А.В.</i> ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕМБРАН ДЛЯ НАНОФИЛЬТРАЦИИ МЕТОДОМ МЕЖФАЗНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ.....	61
<i>Чикунская В.М., Щербина Л.А., Будкуте И.А., Огородников В.А.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОЙ ЭКСПОЗИЦИИ НА НАБУХАНИЕ ИОНИТОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОНИТРИЛА И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ	65
<i>К.М. Хайбуллова, Н.А. Сергин, Л.Ю. Закирова</i> ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИИЗОБУТИЛЕНА ДЛЯ ВРЕМЕННОЙ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	68
<i>Прокопчук Н.Р., Прищепенко Д.В.</i> НАНОВОЛОКОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ХИТОЗАНА, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ СОЛЯМИ СЕРЕБРА И ЦЕРИЯ.....	71
<i>Прокопчук Н.Р., Ленартович Л.А., Вишневецкая Т.А.</i> О МЕХАНИЗМЕ ВЛИЯНИЯ НАНОЧАСТИЦ TiO_2 И ZnO НА СВОЙСТВА ПЭТ НИТЕЙ	72
<i>Горбачев А.В., Файзуллин И.З., Вольфсон С.И., Казаков Ю.М., Касперович А.В.</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДА БИОХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ	77

<i>Шарафиев И.А., Хисамиева Д.Р., Миронова Ю.Е., Никифоров А.А., Галимзянова Р.Ю., Вольфсон С.И., Хакимуллин Ю.Н., Казаков Ю.М., Касперович О.М.</i> ВЛИЯНИЕ ТИПА ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО КРАХМАЛА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИЛИАРНЫХ СТЕНТОВ	80
<i>Хисамиева Д.Р., Назмиева А.Ф., Шарафиев И.А., Галимзянова Р.Ю., Никифоров А.А., Хакимуллин Ю.Н., Вольфсон С.И., Касперович О.М.</i> ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ДЕГРАДАЦИЮ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО КРАХМАЛА ДЛЯ МЕДИЦИНЫ	84
<i>Yunusov K.E., Sarymsakov A.A., Mirxolisov M.M., Rogachev A.A., Agabekov V.E., Ilnatovich Zh. V.</i> PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF BIOMATERIALS BASED ON CELLULOSE FIBRES COATING SODIUM-CARBOXYMETHYLCELLULOSE CONTAINING NANOPARTICLES OF SILVER	87
<i>Поспелов А.В., Касач А.А., Цыганов А.Р., Курило И.И.</i> ЗАЩИТНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА МАГНИЕВОМ СПЛАВЕ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЗАПОЛНЕННЫМИ МЕТИОНИНОМ ГАЛЛУАЗИТОВЫМИ НАНОТРУБКАМИ	90
<i>Панфилова О.А., Мухаметханов И.И., Назипов И.И., Рудницкий И.В., Вольфсон С.И., Касперович А.В.</i> МАСЛОБЕНЗОСТОЙКАЯ ЭЛАСТОМЕРНАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ	92
<i>Мирончик Я.Ч., Щербина Л.А., Будкуте И.А., Руденок Я.Ю.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПРЯДИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ	95
<i>Мирончик Я.Ч., Щербина Л.А., Будкуте И.А., Руденок Я.Ю.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРЯДИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛОНИТРИЛА, СОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦЫ	98
<i>Любимов А.Г., Полховский А.В., Наркевич А.Л., Прохорчик С.А., Шетько С.В.</i> МАТРИЧНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕПРЕГОВ	102

<i>Глоба А.И.</i> ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО СТИРОЛ-АКРИЛОВОГО СОПОЛИМЕРА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЛАКОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ.....	105
СЕКЦИЯ III. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ.....	
<i>Козловская И.Ю., Павлова А.А.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННОГО КАТАЛИЗАТОРА КРЕКИНГА.....	108
<i>Кологривко А.А., Кузьмич В.А.</i> ОТХОДЫ КАЛИЙНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ ШЛАМОХРАНИЛИЩ.....	111
<i>Беспалова Е.В., Сороко О.Л., Бареко Э.А.</i> ПУТИ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СЫРОВ С КРАСИТЕЛЯМИ И ПИЩЕВКУСОВЫМИ ДОБАВКАМИ.....	114
<i>Якубовский С.Ф., Булавка Ю.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДОБАВКИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ	120
<i>Мытько Д.В., Шибeka Л.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	124
<i>Дернович А.В., Вишневский К.В., Войтов И.В.</i> ПРОДУКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ СЫРЬЕ ХИМИЧЕСКИХ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ	128
<i>Лихачева А.В., Шниталева Х.И.</i> ПОЛУЧЕНИЕ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ИЗ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА.....	132
<i>Возняковский А.А.</i> СИНТЕЗ МАЛОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ НЕФТЕГАЗОВОГО СЕКТОРА.....	135
<i>Картинчик Е.В., Южик Л.И., Агабеков В.Е., Марукович Е.И., Груша В.П., Бевза В.Ф.</i> ОТХОДЫ КАРБИДА КРЕМНИЯ В КАЧЕСТВЕ РАСКИСЛЯЮЩЕЙ И ЛЕГИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛЕЙ	136

<i>Баранцева С.Е., Климош Ю.А., Качанко Г.Б.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВ НОВОДВОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН И СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	140
<i>Неверов А. В., Геврасёва А. П.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ.....	144
<i>Войтов И.В., Смелов В.В., Дернович А.В., Штена В.Н.</i> О ЗАДАЧАХ ЦИФРОВИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ КОММУНАЛЬНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ.....	147
<i>Морозов Н.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ В ВОДООЧИСТКЕ	151
<i>Войтов И.В., Еловик В.Л., Гудинович П.М.</i> ПРИМЕНЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ АРТЕЗИАНСКИХ ВОД ДЛЯ НУЖД ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	156
<i>Войтов И.В., Марицун В.Н., Яцук А.В., Хатько А.Н., Булак А.А.</i> РЕЦИКЛИНГ ОТХОДОВ – ВАЖНЕЙШЕЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ (ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА).....	159
<i>Войтов И.В., Булак А.А.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ.....	165
СЕКЦИЯ IV. АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ. СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ, ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	173
<i>Козловский В.И., Петров О.А., Парда С.Ю., Кульша Д.В.</i> ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ РОТОРА НА МОЩНОСТЬ ПРИВОДА ВЕРТИКАЛЬНОЙ БИСЕРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ	173
<i>Жепицкий Ю.Я., Гребенчук П.С.</i> ВЫБОР И ПРИМЕНЕНИЕ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ НА ДИНАМИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ.....	177
<i>Кляхин Г.А., Францкевич В.С.</i> ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИОННО-ЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА ТРУБОПРОВОДОВ ВОДЯНОГО ПАРА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПАРОЭЖЕКТОРНОЙ УСТАНОВКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КАПРОЛАКТАМА	181

<i>Ходневский А.В., Кузьмин В.В., Францкевич В.С.</i> АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В МЕМБРАННЫХ БИОРЕАКТОРАХ.....	184
<i>Дубок А.Е., Петров О.А., Сипливея А.А.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧИХ КЛАПАНОВ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ.....	188
<i>Гомалинский В.А., Боровский Д.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОМОЛЬНОГО БАРАБАНА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ.....	192
<i>Новиков С.Ю., Гребенчук П.С.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК В АСПИРАЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ.....	196
<i>Ланкин Р.И., Францкевич В.С., Нурмухамедов Х.С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ЭЛЕМЕНТА НАСАДКИ НА ГИДРОДИНАМИКУ В МАССООБМЕННОМ АППАРАТЕ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКО.....	199
<i>Пыкавая О.А., Боровский Д.Н.</i> ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЫ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ И МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЗАГРУЗКИ И ПОМОЛЬНОЙ КАМЕРЫ.....	203
<i>Сухоцкий А.Б.</i> ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ.....	207
<i>Прушак В.Я.</i> ЗАО «СОЛИГОРСКИЙ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ С ОПЫТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ» – ГОРДОСТЬ ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ БЕЛАРУСИ.....	211
<i>Волчек О.М.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛУФАБРИКАТА ГРАНУЛИРОВАННОГО ХЛОРИСТОГО КАЛИЯ В УСЛОВИЯХ ФЛОТАЦИОННЫХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ».....	214
<i>Высоцкая Н.А., Францкевич В.С.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРАНУЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ОКАТЫВАНИЯ НА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТИ.....	219
<i>Чекулаев А.В., Бороха Э.Л., Душкевич Д.В., Гомалинский В.А.</i> РАЗРАБОТКА ЦЕНТРОБЕЖНО-УДАРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ RDF-ТОПЛИВА.....	224
<i>Данильчик Е.С., Сухоцкий А.Б., Маршалова Г.С.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ.....	227

<i>Маршалова Г. С., Сухоцкий А. Б., Данильчик Е. С., Островская Д.В.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА	230
<i>Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Францкевич В.С.</i> АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА КОНДЕНСАЦИИ В КОНТАКТНОМ АППАРАТЕ ВИХРЕВОГО ТИПА	232
<i>Калишук Д.Г., Авазов М.Н.</i> ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ГРЕЮЩЕГО ПАРА В ОДНОКОРПУСНОЙ ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКЕ С АППАРАТОМ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ РАСТВОРА	237
<i>Федарович Е.Г., Левданский А.Э., Ковалева А.А.</i> МЕХАНИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ К ИХ ПОВТОРНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ	240
<i>Ковалева А.А., Кулевец П.С., Федарович Е.Г., Левданский А.Э.</i> ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ НА СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА	243
<i>Карпович Д.С., Фокин Т.П., Алексеюк А.М., Дубиковская Е.В.</i> НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ПЕРЕРАБОТКЕ НЕФТИ.....	247
<i>Олиферович Н.М., Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Ивашко Е.В. Старовойтов М.С.</i> ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ С НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКОЙ	250
<i>Дубиковская Е.В., Гринюк Д.А., Чепурко М.В., Арпентий Д.О.</i> ИНСТРУМЕНТЫ РАСШИРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ	254
<i>Барашко О.Г., Касперович А.В.</i> ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОБЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ АГРЕГИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИИ	258
СЕКЦИЯ V. ПОДГОТОВКА И ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ НА ВСЕХ СТУПЕНЯХ ДИПЛОМНОГО И ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ	261
<i>Данилова Е.А., Галанин Н.Е., Румянцева Т.А.</i> ПОДГОТОВКА БАКАЛАВРОВ ПО ПРОФИЛЮ «ТЕХНОЛОГИЯ ОСНОВНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА В ИВАНОВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ».....	261

<i>Усачева Т.Р., Граждан К.В., Гущина А.В., Исаева В.А., Кашина О.В., Кузьмина И.А., Куранова Н.Н., Тукумова Н.В.</i> ПОДГОТОВКА БАКАЛАВРОВ ПРОФИЛЯ «ХИМИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА И ИНЖЕНЕРИЯ» В ИВАНОВСКОМ ГОСУ- ДАРСТВЕННОМ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕР- СИТЕТЕ ДЛЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	263
<i>Телегин А.В.</i> ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОАО «НАФТАН»	265
<i>Краснянский М.Н., Мокрозуб В.Г., Тимонин А.С.</i> ЦИФРО- ВЫЕ УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕ- ГАЗОПЕРЕРАБОТКИ, ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИ- ЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ.....	274
<i>Касперович А.В., Шашок Ж.С., Усс Е.П., Вишневский К.В., Кротова О.А., Лешкевич А.В.</i> О ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИА- ЛИСТОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕЗИНОВОЙ ПРОМЫШ- ЛЕННОСТИ	278

Научное издание

НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2023

Материалы

VI 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

Подписано в печать 31.10.2023. Формат 60×84^{1/16}.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.

Усл. печ. л. 19,3. Уч.-изд. л. 20,6.

Тираж 100 экз. Заказ 381.

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