



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ГКНТ
ПО НАУКЕ И ТЕХНОЛОГИЯМ



НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2025

МАТЕРИАЛЫ

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

3–5 декабря 2025 г.
Минск, Республика Беларусь



PETROGASCHEMISTRY – 2025

PROCEEDINGS

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

December 3–5, 2025
Minsk, the Republic of Belarus



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ГКНТ
ПО НАУКЕ И ТЕХНОЛОГИЯМ



АУРУМ КО
НЕФТЕБИТУМНЫЙ
ЗАВОД

Белорусский государственный
технологический университет

Министерство образования
Республики Беларусь

Белорусский государственный
концерн по нефти и химии

Государственный комитет
по науке и технологиям

Национальная академия наук Беларуси

Научный совет по нефтехимии МАН

Исполнительный комитет СНГ

Постоянный Комитет
Союзного государства

Россотрудничество

Аурум Ко

Нефтебитумный завод

НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2025

МАТЕРИАЛЫ

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

3–5 декабря 2025 г.
Минск, Республика Беларусь

УДК 665.7

Р е ц е н з е н т ы:

С.А. Касперович, ректор БГТУ, доц., канд. экон. наук;
В.Л. Флейшер, проректор по научной работе, д-р техн. наук;
Н.Р. Прокопчук, член-кор. НАНБ, проф., д-р техн. наук;
Э.Т. Крутько, проф., д-р техн. наук;
Ж.С. Шашок, проф., д-р техн. наук;
В.Н. Марцуль, доц., канд. техн. наук;
Д.В. Куземкин, зав. кафедрой НГПиНХ, доц., канд. техн. наук;
А.В. Касперович, зав. кафедрой ПКМ, доц., канд. техн. наук;
А.М. Ковхуто, директор РНПЦ НХТиП;
канд. геолого-минералогических наук;
А.В. Дернович, зам. директора РНПЦ НХТиП;
П.С. Гребенчук, доц., канд. техн. наук;
А.И. Юсевич, доц. канд. хим. наук

НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2025 : материалы VIII Междунар. науч.-техн. форума по хим. технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 3–5 декабря 2025 г. – Минск : БГТУ, 2025. – 253 с. – ISBN 978-985-897-321-6.

Сборник составлен по материалам докладов VIII Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2025».

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

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

ISBN 978-985-897-321-6

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2025

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР



Унитарное предприятие «Нефтебитумный завод» является одним из крупнейших производителей битума и битумных материалов в Республике Беларусь. Предприятие выпускает всю номенклатуру битумов в соответствии с международными и национальными стандартами. Основная специализация - производство битумных эмульсий, модифицированных битумов, мастик и других продуктов для дорожного ремонта, а также обустройства кровли и гидроизоляции.

Завод оснащён современным оборудованием и имеет собственную исследовательскую лабораторию, что позволяет поддерживать высокое качество продукции. В 2019 году предприятие разработало инновационной линейку гидроизоляционных и герметизирующих материалов линейки «ELEMENTUM», которые применяются для защиты от влаги и создания бесшовной герметизации.

На предприятии применяются инновации в производстве битума, позволяющие создавать продукты с улучшенными свойствами. В частности, завод выпускает полимер-модифицированные битумы, использующие SBS-полимеры, что значительно повышает износостойкость и долговечность дорожного покрытия.

Таким образом, инновации выражаются в использовании полимерной модификации, разработке новых гидроизоляционных материалов и современных технологиях окисления битума, что позволяет заводу оставаться лидером в отрасли и отвечать современным требованиям качества и реконструкции дорог.

Унитарное предприятие «Нефтебитумный завод» является постоянным участником национальных и международных выставок и конференций.

Основа нашего успеха — это молодой и высококвалифицированный персонал, современное оборудование и технологии, а также контракты на поставку сырья от крупнейших российских компаний. Завод начал свою деятельность в 1997 году под названием МОУП «Вёска», а с 2012 года работает под новым именем. Изменения произошли не только в названии, тогда же начались процессы технического перевооружения и модернизации.

Объем потребления дорожных битумов в Республике Беларусь составляет порядка 300 тыс. тонн в год. Сырье для производства битумов поступает с различных нефтеперерабатывающих заводов Российской Федерации. Качественные характеристики битумов, производимых на заводе, соответствуют национальным и мировым стандартам.

Кроме производственных процессов и контроля качества производимой продукции на предприятии ведётся исследовательская работа. Для более глубокого исследования различных свойств битумных материалов в 2024 году было сформировано новое структурное подразделение - исследовательская лаборатория, оснащенная современным оборудованием. Для прогнозирования и оценки свойств битумного вяжущего применяются различные методы. Одним из методов является старение битума в тонкой пленке (RTFOT), который хорошо коррелирует с процессами, происходящими на асфальтобетонных заводах. В 2023 году было приобретено оборудование для исследования битумов по методологии Superpave, активно используемой в Российской Федерации. Метод PAV (сосуд под давлением) позволяет имитировать длительное окислительное старение битума, что важно для моделирования его поведения в условиях эксплуатации дорожных покрытий. Методы BBR и DSR позволяют оценить реологические свойства битумных вяжущих.

Благодаря современному оборудованию, позволяющему экспериментировать с составами мастик и эмульсий, предприятие разработало гидроизоляционный продукт под торговым наименованием «Elementum», который включает битумно-латексные мастики и защитные составы на водной основе, не содержащие органических растворителей.

В 2021 году предприятие было признано победителем XVIII Республиканского конкурса «Лучший строительный продукт года». Награда была вручена на торжественной церемонии в Минске 6 октября в конгресс-холле делового комплекса «Виктория Олимп». Завод получил звание в номинации «Лучший строительный материал (изделие) года» за битумно-латексные эмульсионные кровельные и гидроизоляционные мастики «Elementum». Члены жюри отметили, что данный продукт соответствует всем требованиям качества, установленным в Беларусь, и обладает высокими физико-техническими характеристиками и потребительскими свойствами, удовлетворяющими самым строгим запросам клиентов.





Минская обл., Червенский р-н, д. Колеина
Контакты: тел./факсы: +375 1714 5-14-22, 5-14-23
omts@neftebitum.by – отдел снабжения и логистики
bitum@neftebitum.by – отдел сбыта

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОАО «СВЕТЛО-ГОРСКХИМВОЛОКНО»

Об ОАО «СветлогорскХимволокно» и об инвестиционной деятельности Общества, о том, что сделано за последние годы, над чем работаем и о перспективах развития нашей организации до 2030 года.

ОАО «СветлогорскХимволокно» основано в 1964 году и является крупным многопрофильным предприятием химической отрасли, выпускающим широкий спектр продукции, в том числе уникальной.

Структура выпускаемой продукции: полиэфирные текстильные нити, трикотажные полотна, нетканые полотна (объемное полотно, иглопробивное полотно).

Нетканые материалы «СпанБел» и «АкваСпан» на основе полипропилена.

Полипропиленовая продукция (мягкая упаковочная тара) - мешки полипропиленовые продуктовые и технические, биг-беги, полипропиленовая ткань. Термостойкие арселоновые (полиоксадиазольные) волокна и нити. Медицинские перчатки из натурального и искусственного латекса.

Загрузка мощностей в целом по Обществу за 2024 год составила 85,5%.

Реализация продукции на внутренний и внешние рынки за 2024 год распределяется в соотношении 37,2% и 62,8% соответственно.

До 80 % выпускаемой продукции является импортозамещающей

Стратегическое развитие ОАО «СветлогорскХимволокно» осуществляется поэтапно на основе мировых тенденций в динамике товарных направлений, определяющих производственную деятельность организации.

Техническое перевооружение, модернизация действующих производств и организация новых производств, проводятся в рамках Программ и Стратегий развития Общества на пятилетие и более долгосрочную перспективу, актуализация которых осуществляется ежегодно.

Стратегической целью развития ОАО «СветлогорскХимволокно» постоянное усиление экономического потенциала Общества, повышение его конкурентоспособности путем реализации стратегии развития, за счёт эффективного тактического управления его деятельностью.

Основные направления стратегического развития Общества:

– диверсификация производства на переориентацию товарных потоков предприятия в более прибыльные направления.

- сохранение лидерства по обеспечению текстильной и легкой промышленности полиэфирными текстильными нитями в странах СНГ и обеспечение их потребности в новых ассортиментах с более высокой добавленной стоимостью, сохранение доли рынка в странах ЕС;
- увеличение доли продаж мягкой упаковочной тары на внутреннем и близлежащих рынках;
- дальнейшее развитие высокотехнологичных и наукоемких производств: нетканых материалов, углеродных волокнистых материалов;
- обновление производственных мощностей действующих производств на базе энерго- и ресурсосберегающих технологий;
- наращивание выпуска и расширение ассортимента производимой продукции, повышение ее конкурентоспособности в соответствии с мировыми стандартами;
- освоение новых видов продукции (новых ассортиментов углеродных волокнистых материалов, полиэфирных текстильных нитей с функциональными свойствами);
- участие в НИОКР, направленных на разработку технологий и опытных установок, позволяющих наладить выпуск конкурентоспособной на мировых рынках продукции с высокой добавленной стоимостью.

Реализованные инвестиционные проекты.

В 2022 году завершен знаковый в масштабах страны инвестиционный проект «Организация производства медицинских перчаток». Во исполнение поручений Главы государства, с целью обеспечения внутреннего рынка средствами индивидуальной защиты, организовано импортозамещающее производство медицинских перчаток из синтетического и натурального латекса производственной мощностью 170 млн. штук в год. В рамках реализации проекта создано 271 новое рабочее место.

Освоены технологии производства нескольких видов перчаток: латексные медицинские (стерильные и нестерильные), в том числе хирургические, ортопедические медицинские перчатки из натурального латекса, нитриловые медицинские – для проведения диагностических манипуляций, нитриловые перчатки для бытовых целей и контакта с пищевой продукцией, работы в сфере быти-индустрии.

В январе 2024 г. реализован инвестиционный проект «Расширение производства полипропиленовой пленки».

Реализация проекта позволила повысить эффективность производства полипропиленовой упаковочной тары за счет снижения материальных затрат на выпуск продукции для собственного потребления, расширить ассортимент и улучшить качество выпускаемой продукции. В рамках реализации проекта создано 18 новых рабочих мест.

Проекты, реализуемые в настоящее время:

«Увеличение производства полипропиленовой упаковочной тары».

Цель проекта – удовлетворение спроса потребителей, в основном, внутреннего рынка, обеспечение прироста прибыли за счет дополнительного объема производства полипропиленовой продукции.

Планируемый выпуск проектной продукции в год составит: мягкие разовые контейнеры «биг-бег» - 1,200 млн. штук, нить пленочная - 900 тонн, шпагат - 840 тонн.

Проект входит в целевой план социально-экономического развития Республики Беларусь на 2025 год и в Перечень производственных импортозамещающих инвестиционных проектов.

При реализации проекта создано 195 новых рабочих мест.

1-ая очередь объекта (оборудование ф «Lohia Corp Limited» (Индия) принята в эксплуатацию в июне 2025 года. Проведены процедуры закупки швейного и иного вспомогательного оборудования (2-ая очередь проекта), заключены контракты с китайской компанией. Оборудование изготовлено, произведена его отгрузка, прибытие ожидается в начале декабря 2025 г. Проект планируется завершить в 2025 г.

«Модернизация с установкой технологического оборудования для производства мешков коробчатого типа».

Цель проекта - увеличение производства полипропиленовых мешков коробчатого типа на 18 млн. штук в год, часть из которых планируется поставлять для отечественных производителей цемента.

По проекту планируется закупка автоматической конверсионной линии по производству мешков коробчатого типа, круглоткацких станков по выпуску рукавных и плоских тканей и иного оборудования. Завершить проект планируется в марте 2027 году.

Проект включен в целевой план социально-экономического развития Республики Беларусь на 2025 год в Перечень производственных импортозамещающих инвестиционных проектов.

Разработаны обоснование инвестиций и бизнес-план проекта. В августе текущего года ОАО «ГИАП» разработан строительный проект 1-й очереди строительства. Получено положительное заключение государственной экспертизы РУП «Главстройэкспертиза», также получено положительное заключение экологической экспертизы.

Первая очередь строительства объекта предусматривает строительство участка по переработке полипропиленовых отходов и строительство склада готовой продукции. Заключен контракт на поставку оборудования. Ведутся строительные работы.

По второй очереди проекта планируется приобретение и монтаж конверсионной линии по производству мешков коробчатого типа,

тубоформирующей машины, линии ламинации, машины флексографической печати, линии резки ткани и иного вспомогательного оборудования:

Проводятся процедуры конкурсных торгов на приобретение технологического оборудования, осуществляется заключение контрактов. В рамках реализации проекта планируется создание 65 новых рабочих мест.

«Техническая модернизация с установкой технологического оборудования для производства дублированных нетканых материалов в здании корпуса Корда»

Цель проекта - увеличение производства дублированных нетканых материалов мощностью 1500 т/год, используемых для изготовления изделий санитарно-гигиенического назначения.

Состав проекта: машина флексографической печати (6 цветов), машина для термоклеевого соединения (дублирования) нетканых материалов и «дышащей» полиэтиленовой пленки, перемоточно – резательная машина. Завершить проект планируется в 2026 году.

По проекту разработано обоснование инвестиций. Завершено проведение конкурсных торгов на приобретение перемоточно – резательной машины и линии дублирования, осуществляется заключение контрактов. В собственных средствах Общества. Планируется создание 12 новых рабочих мест.

Ушак С.М.
(ОАО «СветлогорскХимволокно»)

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ШТАПЕЛЬНОГО ВОЛОКНА
С ВОЗВЕДЕНИЕМ КАПИТАЛЬНЫХ СТРОЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ
ОАО «СВЕТЛОГОРСК - ХИМВОЛОКНО»**

В настоящее время специалисты Общества завершают разработку обоснования инвестиций по данному проекту, что позволит оценить перспективы реализации проекта. Технология Lyocell имеет короткий производственный цикл (в сравнении с классической сероуглеродной технологией) и практически не имеет выбросов вредных веществ, что снижает экологическую нагрузку и способствует ее популярности на мировом рынке. Lyocell является самым экологически чистым искусственным волокном на сегодняшний день.

Технологический процесс производства штапельного волокна Lyocell включает дозировку и смешивание целлюлозы и растворителя (NMMO) высокой концентрации, используется «сухой» процесс растворения целлюлозы, фильтрация раствора полимера, сухо-мокрое прядение, промывка

волокна, резка и финишная отделка, а также процесс MVR (механическая рекомпрессия пара) для регенерации растворителя, более 98 % которого, возвращается в техпроцесс.

Основной проблемой для организации производств гидратцеллюлозных штапельных волокон и технических нитей является наличие сырья – растворимой целлюлозы для химической переработки с содержанием α-целлюлозы более 92.

С учетом принятых в настоящее время решений о строительстве второго в республике целлюлозно-бумажного завода, на котором планируется выпуск на одной из производственных линий вискозной растворимой целлюлозы, актуальность реализации данного проекта будет достаточно высокой.

В целях разработки новых технологических процессов и сырья, создания новых конкурентоспособных готовых продуктов химической технологии ОАО «СветлогорскХимволокно» заинтересовано в проведении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ по следующим темам:

- поиск решений по переработке (рециклингу) образующихся отходов при производстве одноразовых перчаток медицинских нитриловых и латексных в конечные товарные продукты;
- оптимизация процесса изготовления перчаток медицинских хирургических одноразовых из натурального латекса;
- возможность разработки технологии улучшения показателей целлюлозы, выпускаемой ОАО «Светлогорский ЦКК», до характеристик необходимых для производства вискозного штапельного волокна методом прямого растворения в N-метилформолин N-оксиде (по технологии «Лиоцелл»);
- развитие потенциала применения углеродных материалов, в том числе марки АРУМ, в гражданском секторе экономики.

Спасибо за внимание.

Яворский А.С., Сенчук Н.В., Гутикова Н.В.
(ОАО «Завод горного воска»)

**ОАО «ЗАВОД ГОРНОГО ВОСКА»:
ПОСТАНОВКА И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ
ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ**

ОАО «Завод горного воска» – неотъемлемая часть химической отрасли страны. Свои первые шаги в производстве предприятие делало на заре шестидесятых годов прошлого века как производитель торфяного

воска. В истории завода были периоды бурного роста и некоторого спада, но в поиске выхода из сложных ситуаций находился единственно верный путь – принципиальная модернизация производства и расширение фирменной линейки. Сегодня Общество выпускает высококачественную продукцию, востребованную в разных отраслях экономики, и сумело стать единственным в Республике Беларусь, производителем парафина нефтяного твердого.

ОАО «Завод горного воска» ведет работу по разработке и внедрению новых видов продукции в рамках импортозамещения. Данные вопросы решаются как силами специалистов исследовательской лаборатории Общества, так и научных учреждений Республики Беларусь.

Осознавая важность интеграции научных достижений в производственную практику, ОАО «Завод горного воска» активно развивает партнерские отношения с ведущими научными учреждениями страны. Одним из ярких примеров успешного сотрудничества является взаимодействие с Полоцким государственным университетом имени Евфросинии Полоцкой.

Так, Полоцким государственным университетом имени Евфросинии Полоцкой разработана технология, рецептура получения воска защитный ПГУ-14, как аналога импортного воска Okerin, включая способы получения компонентов воска. ОАО «Завод горного воска» подтвердил готовность выступить в качестве дополнительной организации-изготовителя защитного воска ПГУ-14 по заданию 1-7 «Разработать технологию получения защитного воска для резин из сырья ОАО «Наftан» подпрограммы «Малотоннажная химия» государственной научно-технической программы «Перспективные химические и биологические технологии», 2021 – 2025 годы. Защитный воск, обладает уникальными свойствами, обеспечивающими надежную защиту от озонового старения, что открывает новые возможности для продления срока службы изделий, снижения эксплуатационных расходов.

С целью расширения перерабатываемой сырьевой базы (взамен гача нефтяного марки 1) с получением востребованной конкурентоспособной продукции в цехе производства парафина (установка гидроочистки) прорабатывается вопрос с Научным центром «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по задействованию имеющихся производств (или в т.ч. их модернизация) с представлением для рассмотрения инвестиционного проекта.

Основной вклад в разработку и постановку продукции, выпускаемой в Обществе вносит исследовательская лаборатория ОАО «Завод горного воска», которая является аккредитованным субъектом. В оснащении лаборатории находится современное оборудование и средства измерений,

необходимые для выполнения данной деятельности. Персонал лаборатории - опытные и высококвалифицированные специалисты, которые ежегодно осуществляют разработку новых видов продукции согласно установленным планам, а также ведут усовершенствование настоящей с учетом запросов потребителей.

Результаты многолетней работы лаборатории ОАО «Завод горного воска» наглядно демонстрируют многовекторность их инновационной деятельности. Предприятие успешно разработало и внедрило ряд востребованных продуктов.

Антислеживатели для удобрений. В условиях современного сельского хозяйства, где эффективность и сохранность удобрений имеют первостепенное значение, разработка антислеживателей стала настоящим прорывом. Эти добавки предотвращают комкование удобрений, обеспечивая их равномерное распределение и максимальную усвоемость растениями. Это напрямую влияет на урожайность и экономическую эффективность сельскохозяйственного производства. Также данная разработка позволила заменить продукты, импортируемые в ОАО «Гомельский химический завод» на отечественный продукт.

Работа по разработке новых антислеживателей продолжается, так в рамках Дорожной карты с ОАО «Гомельский химический завод» осуществляется разработка безаминных антислеживателей, а также универсального антислеживателя как для карбамидных и бескарбамидных удобрений. В 4м квартале 2025 года завершатся лабораторные испытания образцов указанных антислеживателей.

Гидравлические масла. В машиностроении и различных отраслях промышленности, где гидравлические системы играют критически важную роль, надежность и долговечность гидравлических масел являются залогом бесперебойной работы оборудования. Лаборатория "Завода горного воска" внесла вклад в создание отечественных гидравлических масел, отвечающих самым строгим требованиям эксплуатации.

Так в настоящее время из последних разработок поставлены на производстве и успешно отгружаются потребителям масла гидравлические МГЕ-10А, масла гидравлические hlp, hvlp. Идет разработка нового гидравлического масла ВМГЗ.

Реагенты для бурения. Сотрудничество с ведущей нефтедобывающей компанией страны, РУП «ПО «Беларуснефть», позволило разработать и успешно внедрить специализированные реагенты для бурения. Так в результате достаточно долгих лабораторных испытаний в лаборатории Общества, а также лаборатории БелНИПИнефть, неоднократно-опытно-промышленных на буровых установках Общество сегодня успешно поставляет смазочную добавку Belwax-205. Реагент играют важнейшую

роль в оптимизации процессов бурения, обеспечивая удовлетворительные антиприхватные и смазывающие свойства.

Антиадгезионные (разделительные) средства для опалубки для изготавления железобетонных изделий (ЖБИ). В строительной индустрии, особенно в производстве ЖБИ, остро стоит вопрос обеспечения высокого качества поверхности. Так на ряду с ранее разработанными антиадгезионными продуктами, а именно: Бетол-01 марок А, Б, которые успешно применяются на предприятиях РБ (Березовский КСИ, Минский КСИ и др.) разработан принципиально новый продукт данного назначения на основе эмульсии: средство антиадгезионное «Belwax А-1». Данный продукт решает поставленные задачи, обеспечивая легкое снятие опалубки и безупречную поверхность изделий, соответствующую уровню А1.

Консервирующий гидрофобный заполнитель для атомной станции. Безопасность и долговечность критически важных объектов требуют применения самых передовых материалов. Завод горного воска разработал консервирующий гидрофобный заполнитель, предназначенный для применения в качестве защитной оболочки от коррозии элементов системы преднатяжения. Получено положительное заключение от РУП «Белорусская атомная электростанция» по результатам двухгодичных испытаний продукта «Консервирующий гидрофобный заполнитель «Belwax ГЗ». Продукт успешно прошел испытания и подтвердил надежную защиту от коррозии и внешних воздействий, гарантируя долгосрочную эксплуатацию.

Свечи для обогрева садов, теплиц и виноградников. В сфере сельского хозяйства и садоводства, где важна защита растений от заморозков и обеспечение оптимальных условий для роста, завод горного воска предлагает свечи для обогрева. Эти продукты являются экономичным и эффективным решением для поддержания необходимой температуры в теплицах, виноградниках и садах.

Антислеживающая добавка для карбамида. С предприятиями Республики Беларусь ведется работа по разработке, испытаниям новых востребованных продуктов в рамках импортозамещения. Так со специалистами ОАО «ГродноАзот» проводится работа в рамках дорожной карты по разработке и одобрению антислеживающей добавки для карбамида. По результатам совместной работы в 2024-2025 г. полученный продукт прошел успешные лабораторные испытания и в настоящее время подготовлен образец для расширенных лабораторных испытаний.

Специалистами Общества в исследовательской лаборатории в 2025 году планируется поставить на производство новые пластичные смазки, микрокристаллический воск, масло компрессорное КП-8 С, новые марки гидравлических масел, добавку антислеживающую и другие продукты.

Предприятие также постоянно самостоятельно ведет работу по повышению конкурентоспособности продукции предприятия посредством повышения ее качества, достижения показателей качества, регламентированных потребителями, уменьшения расходов на ее производство, в частности изучая и исследуя альтернативные источники сырья, внедряя мероприятия по снижению затрат.

Деятельность ОАО «Завод горного воска» по разработке и внедрению новых видов продукции имеет неоспоримый вклад в экономическое и технологическое развитие Республики Беларусь.

Силивоник С.Л.

(Первый заместитель генерального директора – главного инженера
ОАО «Гродно Азот»)

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ОАО «ГРОДНО АЗОТ» ДО 2030 ГОДА. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ С НАУЧНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Целями развития ОАО «Гродно Азот» являются полное удовлетворение потребностей отечественного агропромышленного комплекса в азотных минеральных удобрениях, а химической отрасли страны - в метаноле, полиамидной и других видах продукции, выпуск конкурентоспособной продукции соответствующего требованиям потребителей качества, обновление основных производственных фондов и внедрение новых перспективных технологий.

Для достижения указанных целей приоритетным направлением для ОАО «Гродно Азот» является реализация «Карты модернизации действующего производства ОАО «Гродно Азот».

На этапе реализации инвестиционной программы предприятие столкнулось с ухудшением условий хозяйствования, изменением конъюнктуры рынка, а также с нестабильностью условий кредитования в банковском секторе. Определяющими факторами стали:

– рост стоимости природного газа – основного вида сырья для предприятия, удельный вес которого в себестоимости продукции составляет 50%;

– отсутствие у белорусских банков долгосрочных ресурсов в белорусских рублях, в то время как предложения российских банков под коммерческую ставку превышают 17%;

– введение европейских пошлин в текущем году и прогнозируемый их рост на экспортные товары, что привело к необходимости

переориентации рынков поставки в страны «далней дуги» через порты Российской Федерации, что в свою очередь увеличило логистические затраты в 2,5-3 раза.

Совокупность вышеизложенных факторов позволяют реализовать только 1 этап «Карты модернизации», предполагающий:

в период 2025-2030 гг.:

- реконструкцию цеха аммиак-4 (до 1750 тонн в сутки 1 этап);
- реконструкцию цеха аммиак-3 (до 1750 тонн в сутки 1 этап);
- строительство агрегата производства нитрата аммония;
- реконструкцию цеха карбамид-2 (до 1200 тонн в сутки с приведением качества продукта к требуемым показателям).

Реализация данной стратегии позволит повысить уровень надежности эксплуатируемого оборудования, обеспечить удовлетворение потребностей агропромышленного комплекса, нарастить объем промышленного производства до 117,5% к 2030 году, при этом иметь положительный баланс по потоку денежных ресурсов на протяжении всего периода реализации проектов.

Реализация 2 этапа «Карты модернизации», включающую в себя реконструкцию цехов аммиак-3 и аммиак-4 (с увеличением мощности до 2100 тонн в сутки), строительство агрегата производства карбамида мощностью 1500 тонн в сутки, возможна при улучшении условий хозяйствования и поддержки государства.

В части развития филиала «Завод Химволокно» планируется реализовать следующие проекты:

1. Техническая модернизация производства суперконцентратов красителей в цехе по производству пластических масс.

Проект направлен на снижение импортной составляющей при производстве продукции. Полученный суперконцентрат красителя будет использоваться для наработки цветной полиамидной технической и ВСФ нити, а также окрашенных композиционных материалов, производимых в филиале «Завод Химволокно». Срок реализации – 2026 год.

2. Техническая модернизация цеха по производству пластических масс. Установка комплектной линии по производству полимерных композиционных материалов для производства ПКС.

Новое оборудование позволит производить полимерный концентрат стабилизатора с более высокими качественными показателями, что в дальнейшем положительно скажется на показателях нити и кордной ткани, производимых в филиале «Завод Химволокно». Срок реализации – 2026 год.

3. Модернизация производственных помещений здания цеха по производству пластических масс. Установка комплектной линии по переработке волокнистых отходов.

Новое оборудование позволит исключить из производственного цикла две физически и морально устаревшие установки без потери производительности, а также переработку отходов во вторичный гранулят методом плавления. Срок реализации – 2026 год.

4. Техническая модернизация цеха по производству пластических масс. Установка комплектной линии по производству полимерных композиционных материалов с использованием волокнистых отходов.

Новое оборудование планируется оснастить группой дополнительных дозирующих устройств с целью возможности переработки волокнистых отходов с одновременным вводом добавок и получением за один технологический цикл гранулята полимерных композиционных материалов.

Планируемый срок реализации проекта – 2026 год.

5. Внедрение робототехнического комплекса транспортировки и упаковки продукции.

Проектом предусматривается роботизация технологических процессов транспортировки и упаковки продукции, что позволит оптимизировать рутинные операции ручного труда, снизить воздействие на работников вредных производственных факторов (шум, вибрация), освободить трудовые ресурсы от погрузочно-разгрузочных работ. Срок реализации – 2030 год.

В ОАО «Гродно Азот» научно-исследовательские работы выполняются силами сторонних научных организаций, учреждений образования либо силами научно-исследовательского сектора центральной лаборатории филиала «Завод Химволокно» на основании потребности производственных подразделений в их выполнении за счет собственных средств предприятия.

В рамках взаимодействия ОАО «Гродно Азот» проводит совместную работу со следующими научными организациями Республики Беларусь:

1. УО «Гродненский государственный аграрный университет» (ГГАУ).

Выполнение НИР «Определение возможности применения избыточного активного ила цеха ОПСВ в качестве почвогрунта» позволит применить накопленные за много лет отходы 4 класса опасности, которые хранятся на данный момент на иловых площадках и не задействованы в производственно-хозяйственной деятельности предприятия с целью дальнейшего производства нового вида продукта, а также на определение оценки влияния избыточного активного ила на санитарно-гигиенические,

химические показатели почвы и оценку характера влияния избыточного активного ила на состояние почвенного биоценоза.

2. ГНУ «Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларусь».

В рамках выполнения ОКР «Установка разведочно-эксплуатационной скважины на площадке речного водозабора ОАО «Гродно Азот» планируется повысить показатель качества технического (речного) водоснабжения ОАО «Гродно Азот» путем разбавления исходной речной воды из подземного русла реки Неман с целью гарантированного обеспечения предприятия техническим водоснабжением, в том числе в период чрезвычайных ситуаций.

3. УО «Белорусский государственный технологический университет» (БГТУ).

Согласно Рабочей программе по разработке добавок для придания нити полиамидной технической трудногорючих свойств на текущий момент разработаны лабораторные рецептуры и получены образцы полимерного концентрата полиамида 6 с наночастицами оксидов кремния, алюминия, цинка и титана в разных концентрациях. Проведено тестирование образцов в лабораториях БГТУ и филиала «Завод Химволокно». Специалистами БГТУ нарабатываются образцы полимерного концентрата с использованием наночастиц оксида цинка.

4. ГНУ «Институт химии новых материалов НАН Беларусь».

Между ГНУ «Институт химии новых материалов НАН Беларусь» и филиалом «Завод Химволокно» ОАО «Гродно Азот» заключен договор о научно-техническом сотрудничестве в области реализации совместной программы научных исследований в целях разработки образцов композиционных материалов на базе ПА6 с наполнителями для 3D печати.

5. «Институт механики металлополимерных систем им. В.А.Белого (ИММС)».

Проводятся работы по разработке аналога модификатора ударной вязкости. Модификатор «МУВ-ПА» рекомендован к расширенным производственным испытаниям при наработке полимерных композиционных материалов.

Филиалом «Завод Химволокно» ОАО «Гродно Азот» ведутся работы по оценке возможности разработки в Республике Беларусь замасливателей для нитей полиамидных и полиэфирных технических, пеногасителя для устранения пенообразования в пропиточных ваннах при пропитке кордных тканей. Отправлены запросы в Витебский государственный технологический университет, Институт порошковой металлургии имени академика О.В.Романа, Институт общей и неорганической химии НАН Беларусь

С целью расширения ассортимента выпускаемой продукции, увеличения доли производства инновационной продукции проводятся научно-исследовательские работы по получению нити полиамидной антибактериальной, устойчивой к УФ излучению.

В 2026 году ОАО «Гродно Азот» планирует дальнейшее взаимодействие с институтами НАН Беларуси в рамках проработки следующих тем:

«Способ очистки водных растворов карбамида и жидкых азотных удобрений от нефтепродуктов» с БГТУ и ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси»;

«Работа по изучению влияния химических веществ на состояние активного ила».

Сиротин К. Н.

(Главный инженер-первый заместитель генерального директора
ОАО «Могилевхимволокно»)

ВЗАИМОСВЯЗЬ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА ПРИМЕНЕНИТЕЛЬНО КОАО «МОГИЛЕВХИМВОЛОКНО»

С момента своего основания ОАО «Могилевхимволокно» служило опытно-технологической площадкой для апробации и внедрения новых технологических решений, обеспечивающих развитие полиэфирной промышленности Советского Союза, а позже стран СНГ. Поколениями специалистов по крупицам сформирован парк уникального опытно-технологического и производственного оборудования, пригодный для реализации и апробации всей технологической цепочки. Это позволило апробировать технологические решения по переработке опытного полиэфирного сырья с получением готовой потребительской продукции на его основе. В результате накоплен огромный опыт в области производства и переработки полиэфирных материалов.

Совместно с Могилевским технологическим институтом (сегодня – Белорусским государственным университетом пищевых и химических технологий, БГУТ) реализована система практико-ориентированной подготовки и повышения квалификации кадров для химической промышленности. С 1985 г. на базе ОАО «Могилевхимволокно» (центральная исследовательская лаборатория (ЦИЛ) функционирует филиал кафедры химической технологии высокомолекулярных соединений (ХТВМС). Филиал кафедры ХТВМС, расположенный в помещениях ЦИЛ ОАО «Могилевхимволокно», является учебным, научным и методическим центром

по исследованиям в области технологии химических волокон. Имеются оснащенные лаборатории, лекционные аудитории и ряд дополнительных помещений. На филиале реализуется учебный процесс по всему циклу специальных и ряду общеинженерных дисциплин по всем формам обучения. Такое приближение обучения к промышленности дает существенный эффект в повышении качества подготовки специалистов, поскольку учебный процесс протекает на фоне реально действующего производства. При этом более эффективным становится участие работников промышленности в учебном процессе, а сотрудников кафедры – в научно-производственной деятельности, выполнении совместных научно-исследовательских работ, совместном пользовании приборным парком и т.д.

В настоящее время главным стратегическим направлением развития ОАО «Могилевхимволокно» является наиболее полное использование имеющихся мощностей, повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции за счет улучшения качества и снижения издержек, осуществление модернизации и получения новых видов продукции. Общество активно реализуются мероприятия по реконструкции и освоению новых производств, инвестиционные проекты, направленные на энергосбережение и углубление переработки основного сырья. Приоритетными стали инвестиционные проекты, направленные на стабилизацию хозяйственной деятельности, завоевание новых рынков сбыта, сохранение социальной стабильности.

В 2024-2025 годах Обществом реализованы инвестиционные проекты:

- Организация производства полиэфирных нетканых полотен гидроструйным способом. Мощность линии – 9700 тонн в год;
- Производство ленты обвязочной. Мощность линии – 1200 тонн в год.
- Производство пакетов для упаковки памперсов. Мощность линии – 32 млн. штук в год.

Завершение реализации инвестиционных проектов, запланированных на 2026 год, которые находятся в активной инвестиционной стадии по организации производства:

- полиэфирных иглопробивных нетканых материалов мощностью 4,5 тыс. тонн в год;
- преформ мощностью 135 млн. штук в год;
- соэкструзионных пленок мощностью 3,0 тыс. тонн в год;
- флексографской печати мощностью – 2,0 тыс. тонн в год.

В рамках диверсификации продуктового портфеля ОАО «Могилевхимволокно» ведется работа по реализации инвестиционного проекта неполиэфирного профиля - «Возведение комплекса непрерывного производства хлората натрия и перекиси водорода».

Цель проекта – организация производства хлората натрия и перекиси водорода, необходимых при производстве целлюлозно-бумажной промышленности. Проект направлен на выпуск импортозамещающей продукции, реализация проекта позволит обеспечить потребности предприятий Республики Беларусь в полном объеме.

В соответствии со Стратегией развития ОАО «Могилевхимволокно» до 2030 года планируется научно-техническое сопровождение по следующим направлениям:

- отработка технологических процессов получения новой продукции по инвестиционным проектам;
- испытания аналогов сырья и технологических добавок в процессе получения полиэфирной продукции и полимерных пленок;
- испытания компонентов замасливателей при производстве полиэфирных волокон и нетканых полотен;
- подбор и отработка технологических режимов при производстве полиэфирных волокон и нетканых полотен с заданными потребительскими свойствами.

Указанные работы проводятся силами работников предприятия, в частности, центральной исследовательской лаборатории. Следует отметить, что организация выполняет доведенное концерном «Белнефтехим» индикативное задание по соотношению затрат на исследования и разработки новых продуктов, услуг и методов их производства (передачи), новых производственных процессов к объему отгруженной продукции (работ, услуг). В текущем 2025 году значение этого показателя ожидается на уровне 0,223 при задании для ОАО «Могилевхимволокно» - 0,164, для концерна «Белнефтехим» - 0,093. В 2026 году также ожидается выполнение данного показателя.

В 2022 году на предприятии создан научно-производственный кластер в соответствии с распоряжением Президента Республики Беларусь «О развитии ОАО «Могилевхимволокно». Целесообразность образования такого кластера обусловлена тем, что здесь сформирована школа химиков — учебные заведения, которые готовят профильных специалистов для предприятия. Разработаны предложения по следующим направлениям:

- выпуск полиэфирной продукции с высоким экспортным потенциалом;
- производство полиэфирной продукции из вторичного сырья;
- научно – промышленные исследования технологических процессов;
- разработка технологии получения полимерных материалов на основе альтернативного сырья.

Основные задачи, которые ставит перед собой коллектив ОАО «Могилевхимволокно» в рамках сотрудничества с белорусской наукой — развитие и новаторские идеи, которые должны воплощаться в разработках новых технологий и расширении нового ассортимента выпускаемой продукции, замещение импортной составляющей.

Войтов И.В., Ковхуто А.М.

(Белорусский государственный технологический университет)

О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА БЕЛАРУСИ ОТ РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА ДО ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

Вопросы поисков, разведки и разработки месторождений нефти и газа не теряют своей актуальности, несмотря на активное развитие и совершенствование технологий получения и использования альтернативных видов топлива и энергии, широкое внедрение электромобилей взамен транспорта с двигателями внутреннего сгорания.

В последние годы во всем мире активизировалась поиски новых месторождений нефти и газа с целью увеличения прироста промышленных запасов углеводородов. Особенно остро эта проблема стоит перед странами запада, в которые после 2022 года значительно уменьшился объем экспорта нефти из Российской Федерации. С целью импортозамещения за последние годы открыты новые месторождения нефти в Норвегии, Дании, Польше. В России также большое внимание уделяется поискам и разведке новых месторождений, в том числе и в шельфовых зонах.

По объемам добычи нефти Беларусь находится на 72 месте в мире из 195 стран. По строению осадочного чехла, в котором выявлено подавляющее большинство месторождений нефти и газа, территория Беларуси схожа с другими странами Западной и Восточной Европы. При этом наша страна, при планируемой в 2025 году добыче в 2 млн. т/год, занимает по добыче нефти 10 место в Европе из 44 стран, уступая России (541,7 млн. т/год) (23% территории находится в Европе и 77% в Азии), Казахстану 96,2 млн. т/год (15% территории находится в Европе и 85% в Азии), Норвегии (94,7 млн. т/год), Великобритании (34,4 млн. т/год), Азербайджану (29,1 млн. т/год) (10% территории находится в Европе и 90% в Азии), Турции (5,4 млн. т/год) (3% территории находится в Европе и 97% в Азии), Италии (4,2 млн. т/год), Дании (3,8 млн. т/год), Румынии (2,6 млн. т/год), а по добыче на континентальной части Европы – 6 место. Попутно с нефтью Беларусь ежегодно добывает около 200 млн. м³ в год, что составляет лишь около 1% от внутренних потребностей страны в газе.

В настоящее время построенная Белорусская АЭС обеспечивает 40% объема производства электроэнергии Беларуси, что позволило сэкономить за весь период ее работы 13,6 млрд. м³ природного газа, который в недрах нашей страны пока не выявлен (кроме попутного газа), но

притоки свободного газа присутствовали в скважинах, пробуренных во внутрисолевых и соленосных девонских отложениях прикупольных и межкупольных зон Северной и Центральной частей Припятского прогиба.

Несмотря на перспективы увеличения производства электроэнергии на атомной станции, для обеспечения экономической безопасности необходимо развивать и совершенствовать нефтехимический комплекс Беларуси, постоянно наращивать собственные запасы нефти и газа, увеличивая объемы их переработки. Рост добычи нефти в Беларуси обеспечивается за счет применения новых технологий, увеличения объемов сейсморазведки и бурения, а также разведки новых месторождений в Припятском прогибе, который остается основным источником добычи углеводородного сырья. Гипотетически нефть может быть в Оршанской и Подлясско-Брестской впадинах, однако, очередная скважина, пробуренная Научно-производственным центром по геологии в Оршанской впадине в 2024 году, не дала положительного результата. Поиски нефтеперспективных объектов в Припятском прогибе и за его пределами продолжаются.

Основной организацией, ведущей разведку и обеспечивающей весь прирост запасов и добычу нефти в нашей стране, является РУП «ПО «Белоруснефть». Применение современных технологий разведки месторождений (трехмерная (3D) и четырехмерная (4D) геофизическая съемка, компьютерное моделирование строения нефтеперспективных пластов и процессов извлечения нефти и газа и другие) позволяют повысить точность прогнозов и рекомендаций на заложение поисково-разведочных скважин, увеличить скорость проходки разведочных, добывающих и нагнетательных скважин. Благодаря применению этих технологий геологам нефтяникам в 2023 году удалось добиться прироста промышленных запасов нефти 2,5 млн. т, что стало рекордом за последние 40 лет. За период 2016-2023 годы промышленные запасы нефти в Беларуси увеличились на 14 млн. т, достигнув 46,2 млн. т, что составляет 23 года эксплуатации месторождений при современных объемах добычи.

Освоенные специалистами РУП «ПО «Белоруснефть» технологии горизонтального бурения (колтюбинговые технологии) и многостадийного гидроразрыва пласта (фрекинга), разжижение высоковязких нефлей позволили увеличить коэффициент извлечения нефти не только на разрабатываемых месторождениях, но и добывать нефть и газ из низко-проницаемых пород. Ежегодная добыча нефти увеличилась с 1,68 млн. т в 2015 году до планируемых 2 млн. т в 2025 году. В этом определенную роль сыграла и передача в 2016 году скважин с притоками нефти,

пробуренных в предыдущие годы РУП «Белгеология» и его преемником – Государственным предприятием «Научно-производственный центр по геологии».

В настоящее время на территории Республики Беларусь выявлено 96 месторождений нефти, из них разрабатывается 62. Большинство из неразрабатываемых месторождений имеют небольшие запасы и расположены на удалении от существующей нефтепроводной инфраструктуры РУП «ПО «Белоруснефть». По каждому из них выполнена оценка себестоимости добычи с учетом объема затрат на их разработку и мировой цены на нефть. С 2016 года мониторинг экономической целесообразности освоения неразрабатываемых месторождений проводится постоянно, и они не оставлены без внимания.

Актуальной остается задача расчета экономической и технической целесообразности доразведки выявленных и открываемых месторождений нефти на территориях Припятского прогиба, удаленных от нефтепроводной инфраструктуры РУП «ПО «Белоруснефть». В случаях небольших по объемам запасов открываемых месторождений нефти (а таких в настоящее время в Припятском прогибе большинство) вложения средств в их доразведку и разработку не оправдываются объемами извлекаемой нефти при добыче современными способами и при современной мировой цене на нефть. Поэтому требуются поиски новых нефтеперспективных площадей и участков, на которых будут выявлены крупные месторождения нефти или ряд мелких в непосредственной близости друг от друга, добыча нефти на которых сделает целесообразной проложение к ним коммуникаций, связывающих их с основной существующей инфраструктурой РУП «ПО «Белоруснефть».

Переработка нефти в Беларуси представлена двумя нефтеперерабатывающими заводами: Новополоцким (ОАО «НАФТАН») и Мозырским (ОАО «Мозырский НПЗ»), которые перерабатывают в основном нефть, поступающую из Российской Федерации, а РУП «ПО «Белоруснефть» перерабатывает добываемый попутный газ на Белорусском газоперерабатывающем заводе в Речице. Кроме того, именно РУП «ПО «Белоруснефть» внедряет и расширяет сеть электрозарядочных станций для электромобилей, число которых уже превысило 1700.

Тенденциями последних лет на рынке нефтепродуктов являются: ужесточение к качеству моторных топлив; замедление роста потребления моторных топлив; запрет движения автомобилей с дизельными двигателями в некоторых крупных городах Европы; перевод автомобилей с двигателей внутреннего сгорания на электрические; развитие сетей электрозаправок.

Исходя из этих тенденций, требуется повышение рентабельности производства нефтехимической продукции, диверсификация продукции и расширение ее ассортимента. Поэтому на белорусских нефтеперерабатывающих заводах постоянно внедряют инновационные технологии используя самое современное оборудование.

Перспективы развития ОАО «НАФТАН» связаны с завершением крупной программы инвестиционного развития, включая запуск комплекса замедленного коксования, а также модернизация других технологических процессов. Комплекс замедленного коксования относится к процессам глубокой переработки нефти и позволяет перерабатывать больше остатков нефти, в частности, гудрон, до более ценных светлых нефтепродуктов. С введением его в эксплуатацию глубина переработки нефти достигла 92%, а выход светлых нефтепродуктов – 73%.

Долгосрочная стратегия развития ОАО «НАФТАН» ориентирована на нефтехимический сценарий, основой которого является получение мономеров этилена и пропилена через пиролиз нефтяных фракций. В структуру единого нефтехимического комплекса ОАО «НАФТАН» входит и ОАО «Полимир», которое более 50 лет успешно работает на рынках разнообразных химических продуктов, пользующихся спросом более чем в 40 странах мира. В 2016 году на производстве синтетического волокна была получена миллионная тонна готовой продукции. Основой технологии ОАО «Полимир» является пиролиз углеводородного сырья – бензина и легких углеводородных фракций, нефте- и газоперерабатывающих заводов. Технология включает многочисленные стадии переработки углеводородных фракций пиролиза с получением конечных продуктов.

В рамках развития нефтехимического сегмента планируется строительство на заводе ОАО «Полимир» этиленпропиленовой установки. Это позволит производить мономеры, являющиеся основой для выпуска широкого спектра химической продукции. Эти шаги направлены на повышение эффективности, снижение энерго- и материалоемкости, а также на диверсификацию выпускаемой продукции.

Глубина переработки нефти на ОАО «Мозырский НПЗ» при годовой производительности 10 млн. т достигает 88%, а выход светлых нефтепродуктов – 75%. Кроме выпуска моторных топлив улучшенного качества, в планах развития ОАО «Мозырский НПЗ» реализация следующих проектов создания:

- до 2026 года блока концентрирования пропилена для производства полипропилена, спиртов, гликолов и другой нефтехимической продукции;

- до 2028 года комплекса производства полипропилена для применения в здравоохранении, приборостроении, автомобилестроении, электронике, строительстве и многих других отраслях, включая производство товаров народного потребления;

- до 2030 года комплекса алкилирования бензола для получения линейного алкинбензола и линейной алкинбензолсульфокислоты, которые являются основными компонентами в производстве синтетических моющих средств, компонентами поверхностно-активных веществ для повышения нефтеотдачи нефтяных месторождений, что замкнет круг всех стадий нефтехимических производств – от добычи до переработки.

Причем потребителями вышеуказанной продукции будут не только белорусские предприятия, но и зарубежные, в первую очередь – Российской Федерации и стран Евразийского союза.

Описанные выше проекты диверсификации производства нефтеперерабатывающих заводов нацелены на их стабильную работу в условиях изменения потребностей промышленности и сельского хозяйства, снижение уязвимости предприятий к колебаниям цен на энергоносители и нефтехимическое сырье.

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (БГТУ) принимает непосредственное участие в совершенствовании нефтехимического производства путем подготовки кадров, разработки и внедрения инновационных технологий и продуктов. В производственный процесс ОАО «Мозырский НПЗ» синтеза изогексенов – высокооктановых экологически чистых компонентов автомобильных бензинов внедрен катализатор жидкофазной димеризации пропилена «Димеркат», разработанный в БГТУ. В этом же университете разработан метод получения высокоплавких нефтяных пеков, пригодных для карбонизации и графитизации методом резистивного нагрева в электротермическом кипящем слое, из тяжелой смолы пиролиза и асфальта пропановой деасфальтизации гудрона; способ получения полимерно-битумного материала, предназначенного для применения в качестве вяжущих в асфальтобетонных смесях, гидроизоляционных покрытий, компонентов строительных материалов при осуществлении строительных и кровельных работ.

Таким образом, перспективы развития нефтехимического комплекса Беларуси связаны с необходимостью учета тенденций мирового развития экономики; адаптацией этих тенденций для всего промышленного комплекса Республики Беларусь; укреплением материально-технической базы предприятий; внедрением новых современных технологий, разработанных в тесном сотрудничестве ученых и производственников; совершенствованием качества подготовки кадров и повышением квалификации рабочих и специалистов.

Кадушко А.И., Насковец И.В.
(ОАО «Гомельский химический завод»)

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД»**

Основными целями инвестиционного развития ОАО «Гомельский химический завод» являются:

- ✓ удовлетворение потребности сельского хозяйства Республики Беларусь в фосфорных удобрениях отечественного производства с высокими потребительскими свойствами и качеством;
- ✓ расширение технологических возможностей действующих производств по выпуску различных составов NP и NPK удобрений, что в свою очередь, даст возможность предложить внутреннему и внешнему рынкам продукцию, удовлетворяющую потребителя;
- ✓ поддержание качества продукта;
- ✓ получение положительных результатов финансово-хозяйственной деятельности предприятия.

Для достижения поставленных целей предусматривается решение следующих задач:

- ✓ наращивание мощностей по производству фосфорных удобрений до 1 300 тыс. тонн в натуральном выражении;
- ✓ возможность переработки фосфатного сырья различных видов и качества;
- ✓ повышение конкурентоспособности завода за счет выпуска новых марок удобрений, определяемых спросом потребителя;
- ✓ расширение ассортимента выпускаемой продукции (выпуск удобрений с различными микро и макроэлементами);
- ✓ улучшение физических свойств выпускаемых удобрений с применением различных антиследжиков, обеспыливателей, ввода веществ, улучшающих грануляцию;
- ✓ обновление основных производственных фондов.

Решение вышеизложенных задач планируется достичь за счет реконструкции основных производств – сернокислотного цеха, цехов по производству минеральных удобрений, цеха фосфорной кислоты, путем реализации инвестиционных проектов.

Реализация инвестиционных проектов не представляется возможной без непосредственного участия научных организаций.

В настоящее время реализуется проект по реконструкции цеха серной кислоты с увеличением мощности производства до 1 млн. тонн H₂SO₄ в год, основные технологические решения в котором приняты согласно

опытно-технологической работе, выполненной в 2022 году АО «НИУИФ» (Российская Федерация), также в качестве исходных данных при разработке предпроектной (прединвестиционной) документации по реконструкции цеха сложно-смешанных минеральных удобрений использованы результаты научно-исследовательской работы, выполненной в 2023 году УО «Белорусский государственный технологический университет».

Для реализации проекта «Реконструкция ЦФК-2 с целью переработки дополнительного объема фосфатного сырья с низким содержанием Р₂O₅» перед БГТУ поставлена задача по разработке технологической схемы разложения фосфатного сырья с включением дополнительного существующего экстрактора, которая позволит сохранить действующие мощности по производству фосфорных удобрений при переработке фосфатного сырья с более низким содержанием Р₂O₅ (около 30%) при условии снижения или полного отсутствия поставок апатитового концентрата. В настоящее время заключен договор на выполнение научно-исследовательской работы по указанной теме, ведется её разработка.

Также АО «НИУИФ» (Российская Федерация) ведется разработка исходных данных для проведения реконструкции цеха гранулированного аммофоса, в результате которой планируется увеличение мощности цеха до 600 тыс. тонн удобрений в год.

В качестве одного из перспективных направлений развития Общества в настоящее время рассматривается вопрос организации производства водорастворимых удобрений – монокалийфосфата,monoаммонийфосфата.

Для оценки возможности получения монокалийфосфата из упаренной фосфорной кислоты, производимой ОАО «Гомельский химический завод», БГТУ выполняется соответствующая научно-исследовательская работа.

При положительных результатах указанной работы, полученные данные будут являться основой для постановки на производство новой продукции.

Секция I

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКИХ
И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ.
ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА. НЕФТЕДОБЫЧА.
БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА. ПОДГОТОВКА
И ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ»**

УДК 665.6.097.3

Некрасов Д.В.
(ОАО «Мозырский НПЗ»)

**ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ
НА ОАО «МОЗЫРСКИЙ НПЗ», ПЕРВЫЕ УСПЕХИ
В ПРИМЕНЕНИИ КАТАЛИЗАТОРА БЕЛОРУССКОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

Сегодня на установках ОАО «Мозырский НПЗ» эксплуатируется (ориентировочно) 56 катализаторных систем. В производственном процессе применяются катализаторы как из дружественных стран, так и западного производства. В последние годы усилилась тенденция к импортозамещению применяемых катализаторов как на нашем предприятии, так и по республике в целом.

Что касается катализаторов: учитывая их специфику для нефтеперерабатывающей отрасли, речь идет об увеличении доли поставок из дружественных стран.

В середине 2023 года картина по импортозамещению катализаторов в разрезе процессов выглядела следующим образом (Рисунок 1):

наш завод продолжал успешно эксплуатировать катализатор производства ООО «Стерлитамакский завод катализаторов» (далее – СЗК) с 2018 года на установке каталитического крекинга, в апреле 2023 года на установке изомеризации заменили катализатор предгидроочистки (ТНК-2004 марка А производства АО «Промкатализ»),

для установки «Димерсол» комбинированной установки производства высокооктановых компонентов бензина (далее – КУПВКБ) была организована поставка катализатора Этилдиалюминийхлорида китайского производства от «РеагентПРО».

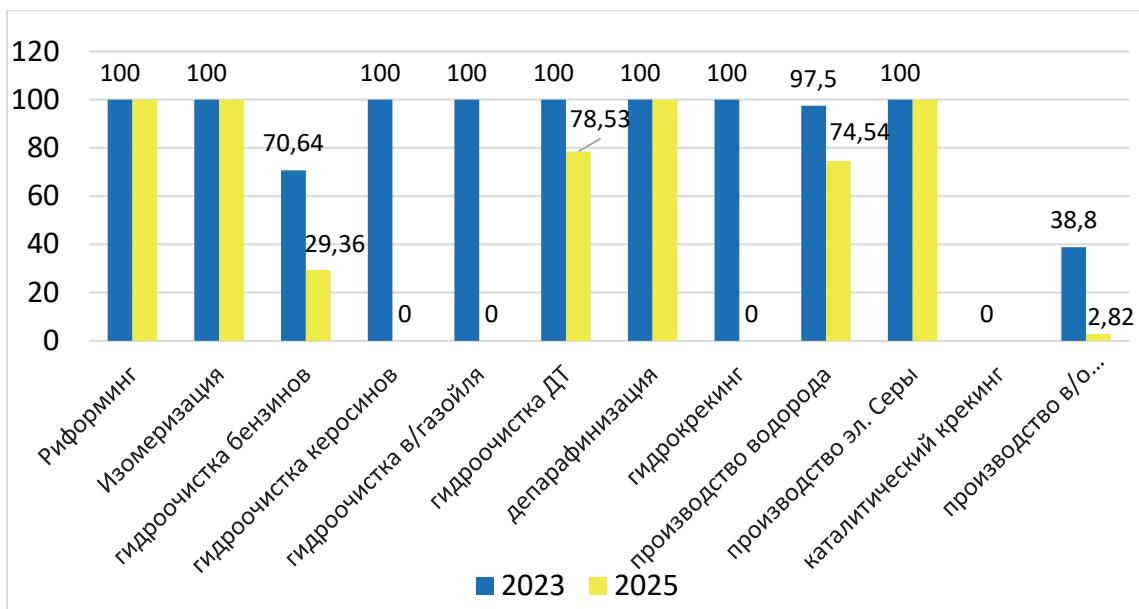


Рисунок 1 – Доля используемых катализаторов западного производства по процессам на текущий момент в сравнении с июлем 2023 года

На текущий момент заменено более 70% катализаторов гидроочистки бензина. ТопТех, МЭЗ являются поставщиками катализаторов китайского производства.

В настоящий момент на установках гидроочистки керосина эксплуатируются китайские катализаторы (поставщик «ХЭХУА»). На установках гидроочистки вакуумного газоля используется на одной установке китайский катализатор, на другой - катализатор СЗК (российское производство).

На одной секции установки гидроочистки дизельного топлива в этом году заменили катализатор на катализатор СЗК. В сентябре 2025 года проведен успешный тестовый пробег в режиме депарафинизации.

С конца 2023 года начал вовлекаться в производство китайский катализатор от ХЭХУА на установке гидрокрекинга.

Сейчас на предприятии утверждены планы по работе с катализаторами на 2026-2027 годы. С учетом этой информации в динамике картина замены будет выглядеть как на графике (Рисунок 2). Как видно, около половины процессов, с 2027 года будут работать на катализаторах из дружественных стран, однако некоторые процессы останутся без изменений.

Не планирующиеся к замене катализаторы в 2026-2027 годах представлены в таблице 1.

Катализаторы риформинга были заменены на установках ЛК-6У №2 в 2017 и на установках ЛК-6У №1 в 2021 годах. Межрегенерационный период катализатора ЛК-6У №2 составляет сейчас 4 года. За 8 лет эксплуатации только 2 регенерации. На ЛК-6У №1 катализатор проработал только 4 года.

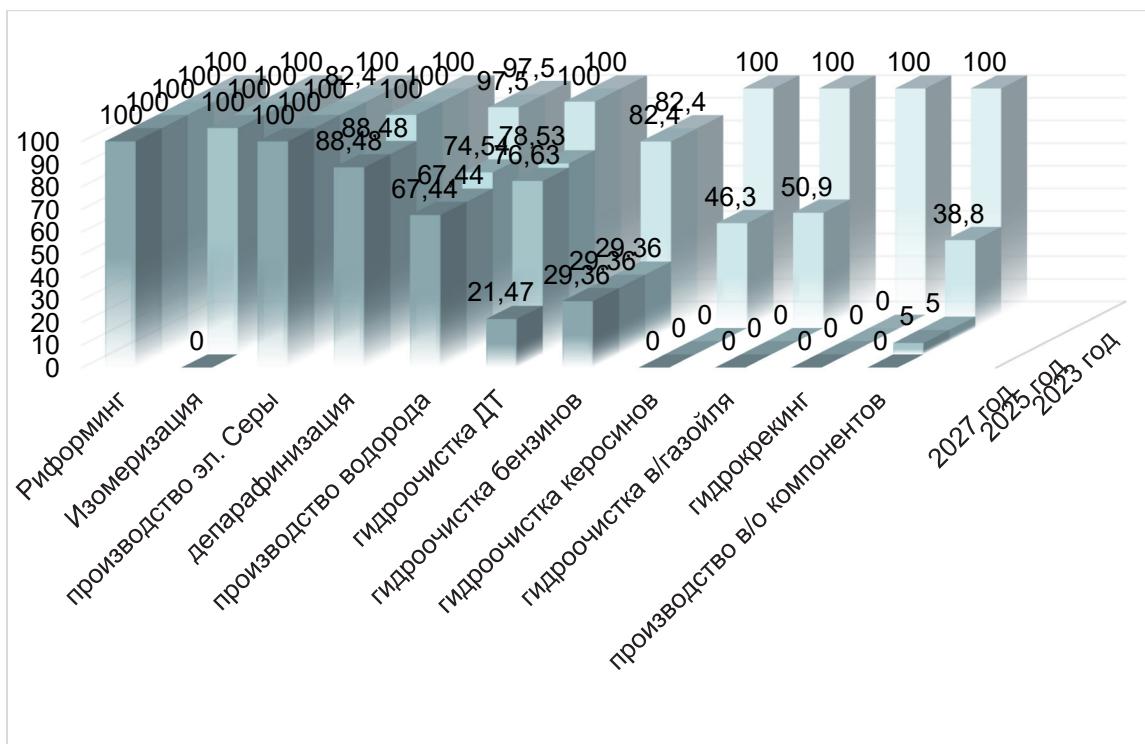


Рисунок 2 – Планируемое Снижение доли импортных катализаторов, применяемых на процессах ОАО «Мозырский НПЗ» до 2027 года

На установке гидроочистки дизельного топлива с 2017 года используется катализатор депарафинизации, который включается в работу только в периоды работы завода на получение зимнего дизельного топлива.

Катализатор КУПВКБ установки «Димерсол» LD-2773 и катализатор комбинированной установки алкилирования загружены в 2016 году и продолжают успешно эксплуатироваться.

Таблица 1 – Катализаторы западного производства, которые не планируются к замене в 2026-2027 годах

Наименование объекта	Катализатор	Наименование производителей
Комплексная установка алкилирования	селективного гидрирования бутан-бутиленовой фракции Н-15	UOP (США)
Комплекс производства высококооктановых компонентов бензинов	гидрирования (Pd) LD-2773	Axens, Франция
Установка гидроочистки дизельного топлива	депарафинизации Hydex G	
Установка каталитического риформинга и установка каталитического риформинга с технологией дуалформинг	каталитического риформинга RG-682A(1,6), CR-201, PR-157	

При рассмотрении вопросов импортозамещения катализаторов сравнение проводилось в рамках: это катализатор из дружественных стран или западного производства. Понятие отечественный катализатор до недавнего времени на нашем предприятии не употреблялось. Однако, в середине 2023 года известный европейский производитель принял решение о прекращении поставок катализатора димеризации пропилена на наш завод. Задачу по импортозамещению заводу пришлось решать в сжатые сроки. В течение нескольких месяцев мы обсудили возможность замещения катализатора с более чем 40 компаниями. Положительной информации не поступало. В сентябре, при общении со специалистами БГТУ, родилась идея изучить возможность получения катализатора на территории РБ. До конца года была подтверждена возможность производства катализатора. В январе 2024 года разработана и утверждена программа испытаний, а в феврале провели успешные испытания. В апреле заключили контракт с компанией «БАУ синтез», а с 08.05.2024 была поставлена первая промышленная партия. Хронология представлена на Рисунке 3.

В настоящий момент в РБ производится катализатор димеризации пропилена «Димеркат», который поставляется на установку «Димерсол» КУПВКБ вместо импортного катализатора с наименованием LC 1252. Эксплуатация и поставки катализатора продолжаются и в настоящий момент. В октябре этого года был заключен второй контракт на поставку катализатора, а в ноябре запланирована сама поставка. Даные по катализаторам установки димеризации пропилена представлены в таблице 2.



Рисунок 3 – Хронология импортозамещения катализатора димеризации пропилена

Наименование	Ед. изм	Кол-во	Производитель	Страна
Катализатор ЕADC 50% в н-гексане	т	240	Leap Chem	Китай
Катализатор никель-содержащий жидкостной димеризации пропилена "ДИ-МЕРКАТ"	т	40	БАУ-Синтез	Республика Беларусь

Таким образом, в ОАО «Мозырский НПЗ» впервые был применен отечественный катализатор взамен импортного. Это наглядно показало, что у Белорусской науки есть компетенции и потенциал. Такие разработки наиболее эффективны для малотоннажных производств, позволяют развиваться предприятиям малотоннажной химии. Наше предприятие и в дальнейшем планирует взаимодействовать с БГТУ для выполнения производственных задач с привлечением научных исследований.

УДК 661

Климовец А.Н., Шматков А.Л.
(ПТУП «АзотХимФортис»)

ЛУЧШИЕ ПРОДУКТЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ УП «АЗОТХИМФОРТИС»

Унитарное предприятие «АзотХимФортис», учрежденное в 2015 году ОАО «Гродно Азот», является предприятием малотоннажной химии, ориентированной на производство специализированной продукции в относительно небольших объёмах (до нескольких десятков тысяч тонн в год).

Структура предприятия включает два технологических цеха: цех химических продуктов на площадке ОАО «Гродно Азот» и цех катанто-веревочных изделий на площадке филиала «Завод Химволокно».

Химическая продукция.

Предприятие производит как продукцию массового спроса для розничной продажи населению, так и продукцию промышленного назначения.

Широко известны и пользуются спросом удобрения линейки «Белвито», смеси удобрительные «Аммофоскамид», фунгицид «Азофос», фасованные удобрения карбамид, сульфат аммония производства ОАО «Гродно Азот», а также калий хлористый – ОАО «Беларуськалий». Сельскохозяйственным предприятиям республики, особенно специализирующемся на выращивании сахарной свеклы, хорошо известно микроудобрение «Полибор».

Относительно новая разработка – удобрения «Карбамид жидкий» и «Карбамид жидкий с микроэлементами», которые защищены евразийским патентом на изобретение № 043729 «Жидкое азотное удобрение (варианты)».

Создание и постановка на производство новых видов и марок удобрений – результат сотрудничества с научными учреждениями НАН Беларуси: институтами почвоведения и агрохимии, общей и неорганической химии, защиты растений.

Другим приоритетным направлением работы цеха химических продуктов является автохимия. Линейка включает:

- охлаждающие жидкости, начиная с тосолов и заканчивая карбоксилатными, лобридными, HD (heavy duty) антифризами;
- летние и зимние стеклоомывающие жидкости;
- средство для снижения выбросов оксидов азота AUS 32 (аналог AdBlue);
- тормозные жидкости (фасованные).



Рисунок 1 – Образцы химической продукции

Помимо выпуска товаров массового спроса малотоннажные производства должны выпускать те продукты, которые необходимы как компоненты крупнотоннажным предприятиям [1]. Это инновационный драйвер развития и появления новых видов продукции крупнотоннажных производств.

В качестве примера можно привести ингибитор уреазы СтабилиНорм, разработанный белорусскими учеными ООО «Бионорм» для УП «АзотХимФортис». Ингибитор уреазы предназначен для получения инновационного минерального удобрения – карбамида пролонгированного действия – удобрения азотного «Уреа-лонг». Ингибитор уреазы замедляет реакцию гидролиза карбамида в почве и существенно снижает потери азота в виде аммиака. Кроме того, по предварительным результатам испытаний ингибитор уреазы дополнительно обладает антислеживающим действием.

В настоящее время ведутся работы по планированию производства опытной партии удобрения азотного «Уреа-лонг» на оборудовании ОАО «Гродно Азот» и интеграции ингибитора в технологический процесс.

Продолжая тему новых видов продукции на основе карбамида, собственными силами предприятия был разработан новый вид кормовой добавки для крупного рогатого скота – «РумиФорт», которая представляет собой карбамид марки Б, покрытый липидной (жировой) оболочкой. Благодаря липидной оболочке замедляется процесс гидролиза карбамида и высвобождения аммиака в рубце жвачных животных, обеспечивается его безопасное применение.

Канатно-веревочная продукция.

За последние годы разработаны и поставлены на производство новые ассортименты продукции: веревки высокопрочные страховочные статические FORTIS — static, GroVer — static, GroVer — static Military, GIGANT. Они незаменимы при страховочных работах в промышленном альпинизме, беспарашютном десантировании и эвакуационных мероприятиях, аварийно-спасательных работах и штурмовом альпинизме.

Производство и качество веревок FORTIS-static, GroVer-static, GroVer-static Military, GIGANT подтверждены обязательным сертификатом ЕАЭС на соответствие требованиям ТР ТС 019/2011 «О безопасности СИЗ».

Кроме того, освоено производство шнуров вспомогательных, необходимых в альпинизме, скалолазании и спелеологии.

Еще одно достижение УП «АзотХимФортис» — изготовление анкерных устройств An-Line, которые представляют собой компоненты системы обеспечения безопасности от падения с высоты (СИЗ). Это неотъемлемая часть экипировки альпинистов. Качество анкерных устройств An-Line подтверждено обязательным сертификатом соответствия ЕАЭС.

Проводятся эксплуатационные испытания веревки FORTIS — SPORT. Сейчас разрабатывается новая линейка веревок для арбористики (работы с деревьями, в том числе на высоте).

Кроме того, в июне 2023 года вся канатно-веревочная продукция УП «АзотХимФортис» включена в евразийский реестр промышленных товаров, что дает допуск к процедурам государственных (муниципальных) закупок в странах ЕАЭС.

Заключение.

Для динамичного развития отечественного производства химической продукции необходимо более активное вовлечение научно-технических и информационных ресурсов как академической, так и вузовской науки.

Перспективными и востребованными химическими продуктами могут стать ингибиторы коррозии для жидких азотных удобрений, в том числе карбамидоаммиачной смеси производства ОАО «Гродно Азот», инновационные средства защиты растений.

Не менее актуальная задача, к решению которой необходимо привлечь ученых, – это вопросы новых способов применения полиамидного штапельного волокна, а также поиск путей утилизации отходов производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большой вес малотоннажной химии: инновационные изделия и решение проблем крупнотоннажных производств // Режим доступа: <https://belchemoil.by/news/tehnologii-i-trendy/bolshoj-ves-malotonnazhnoj-himii>

УДК 338.4

Турко В.А.

(Белорусский государственный концерн по нефти и химии)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЖОТРАСЛЕВОГО БАЛАНСА В НЕФТЕХИМИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ

Сегодня как никогда важно определиться с методологической базой и инструментарием оценки эффективности реализации государственных программ на экономику Республики Беларусь. Современные методы, наиболее часто применяемые для определения критерия оптимальности функционирования экономики негибкие и не позволяют проводить итеративный процесс оптимизации экономики, заменяя его статичными данными, на основании которых строится прогноз (план). Нефтехимический сектор, будучи одним из ключевых в экономике Беларуси, не исключение. Для более точного определения эффектов изменения компонентов этого сектора на экономику в рамках исследования разработана модель оценки изменений межотраслевого баланса «Производство – Потребление», позволяющая оптимизировать эффективность нефтехимического сектора в целом. Считается, что выбор точек роста (нефтехимический сектор – одна из таких точек) позволяет стабилизировать экономику и в рамках одной отрасли убрать дисбалансы и гармонизировать производственную цепочку от сырья до готового продукта по объему и времени выпуска. При этом общественная полезность такой оптимизации ненулевая и гармонизируется с экологической и социальной повесткой развития страны.

Актуальность исследования определяется отсутствием реальных альтернатив современным подходам к планированию и развитию экономики, большинство из которых носят во многом субъективный характер, тогда как предложенные наработки способствуют объективизации планирования и переходу от прогнозирования к управлению развитием отрасли и экономики в целом. Выявленная проблема нереlevантности существующих подходов в сфере экономического развития и его оценки, и распределения ресурсов и выпуска продукции во времени, а также отсутствие на международном уровне достаточно надежной системы долгосрочного стратегического планирования, в том числе в нефтехимическом секторе. На рисунке 1 представлена методология оптимизации и построения межотраслевого баланса «Производство – Потребление».

Где X_{ij} – объём продукции отрасли i , расходуемой в отрасли j ; X_i – объём производства продукции i -й отрасли; X_j – объём потребностей j -й отрасли в продукции i -х отраслей; Y_i – объём конечного использования продукта отрасли i ; Z_j – условно чистая продукция; $\sum_{j=1}^n X_{kj}^*$ – суммарная потребность в объемах производства промежуточной продукции k -ой отрасли, с учетом изменения услуг финансового посредничества; $\sum_{i=1}^n X_{ik}^*$ – суммарный объём производства продукции k -ой отраслью для промежуточного потребления, с учетом изменения услуг финансового посредничества: происходит перераспределение инвестиционно-финансовых потоков за счет компонента «Косвенно-измеряемые услуги финансового посредничества».

Наиважнейшей задачей для сохранения национального суверенитета должна стать разработка собственных рекомендаций по исчислению показателей экономической деятельности в рамках международных стандартов по составлению национальных счетов – Систему национальных счетов [1].

На примере расчетных значений 2020 года (таблица 1) наблюдается значительное перепроизводство продуктов нефтехимии в Республике Беларусь, тогда как в России в отрасли нефтехимии как раз наблюдалось (и наблюдается) недопроизводство. Таким образом, можно получить синергетический эффект для обеих стран при помощи перераспределения ресурсно-производственной базы нефтегазового комплекса.

Согласно полученным результатам расчетов, объем вышеописанного синергетического эффекта Союзного государства России и Беларуси может составить более 3,5 % ВВП (без учета мультипликативного эффекта сокращения кредиторской и дебиторской задолженности за счет предлагаемого механизма управления финансовыми потоками между отраслями).

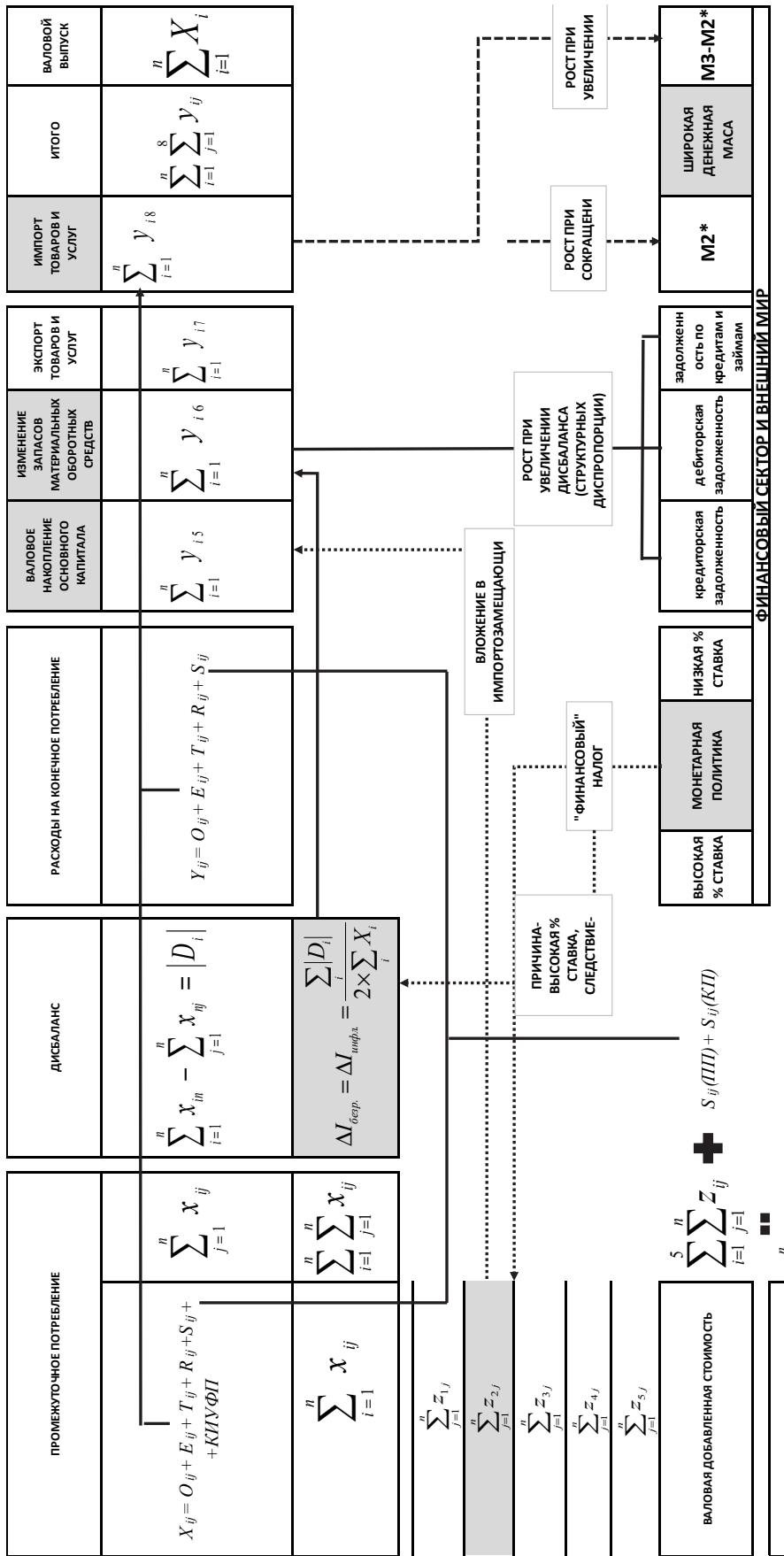


Рисунок 1 – Методология оптимизации межотраслевого баланса «Производство – Потребление»

Таблица 1 – Диспропорции отраслевого производства Республики Беларусь (млн.руб) в 2020 г.

Наименование товара	Промежуточное производство	Промежуточное потребление	Сальдо	Валовая добавленная стоимость	Конечное потребление
Сырая нефть и природный газ	290,8	15 781,4	-15 490,6	507,5	758,3
Кокс и нефтепродукты	11 379,9	6 138,0	5 241,9	2 098,1	8 139,0
Вещества химические и продукция химическая	5 199,2	7 058,8	-1 859,6	4 279,8	9 479,0
Изделия резиновые и пластмассовые	2 664,4	3 948,8	-1 284,4	1 227,5	2 961,4

Необходимо разработать единый механизм сбалансированного развития всех отраслей экономики, который должен стать основой для формирования общих рынков нефти и нефтепродуктов. Опорой в этом вопросе должен стать нефтехимический сектор, так как он имеет самые тесные кооперационные связи.

Республика Беларусь актуализировало законодательство в сфере государственного планирования Законом Республики Беларусь от 12.07.2023 № 279-З «Об изменении Закона Республики Беларусь «О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития Республики Беларусь», в основе которого заложены механизмы мониторинга различных отраслей экономики. Однако действенных инструментариев для реализации данных задач до сих пор не было предложено (использование таблиц «Затраты-Выпуск» для планирования народохозяйственного комплекса). При прочих равных модель имеет существенный недостаток, который усугубляется при прогнозировании (планировании) динамически развивающейся экономики. Модель демонстрирует формулу экономического развития на базе уже сложившихся технологических коэффициентов. При экспансивном развитии этот вариант возможен, но в условиях интенсификации производства технологические коэффициенты становятся подвижными, поэтому делать прогнозы на основе старых пропорций не вполне обоснованно.

Российская Федерация сделала ряд шагов в направлении использования таблиц «Затраты – Выпуск». Распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.10.2021 №2998-р «Об утверждении

стратегического направления в области цифровой трансформации государственного управления» приоритетным проектом было определено «Создание единой автоматизированной системы сбора, обработки и анализа данных отраслей экономики и социальной сферы» на основе динамической оптимизационной модели межотраслевого (межсекторного) баланса. На период до 2030 года было актуализировано стратегическое направление в области цифровой трансформации государственного управления Распоряжением Правительства Российской Федерации от 16.03.2024 № 637-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации государственного управления», где в рамках государственной автоматизированной информационной системы «Управление» необходимо создать единое централизованное решение для организации мониторинга различных отраслей экономики для создания системы межотраслевых производственных связей.

Выбор стратегии поддержки точек роста высокотехнологичных производств может оказаться менее эффективен, чем оптимизация распределения инвестиционных ресурсов между всеми отраслями экономики. Политика развития нефтехимической сферы должна быть подчинена задачам системной модернизации индустриального базиса и выступать элементом отраслевой трансформации. Центральным остается вопрос о критерии оптимальности экономики. Таким критерием должен стать конечный интегральный результат, который выражается в суммарном снижении цен (полезность результатов производства и оценка используемых ресурсов). Результаты сценарного развития предлагаю дополнительные источники развития от перераспределения межотраслевых инвестиционно-финансовых потоков в определенных пропорциях, обеспечивающих оптимальный сбалансированный рост выпусков всех секторов за счет перераспределения в нефтехимическом секторе экономики. Внедрение данной системы [2] позволит повысить устойчивость макроэкономических процессов в рамках отраслевой трансформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. System of National Accounts 2025 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/docs/2025_SNA_Predit.pdf – Дата доступа: 07.10.25.
2. Научный прогноз экономического развития Республики Беларусь до 2030 года / В. Г. Гусаков [и др.]; под ред. акад. В. Г. Гусакова. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 243 с.

УДК 665.52.061.5

Гайле А.А., Карнаух В.С.

(Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический университет)

Камешков А.В.

(ООО «ПО «Киришинефтеоргсинтез»)

**ПОЛУЧЕНИЕ МАЛОСЕРНИСТОГО СУДОВОГО ТОПЛИВА
ЭКСТРАКЦИОННОЙ ОЧИСТКОЙ СМЕСИ ГЗОЙЛЕЙ
КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА И ВИСБРЕКИНГА
N-МЕТИЛПИРРОЛИДОНОМ**

Газойли вторичных процессов переработки нефтяных остатков – висбрекинга, замедленного коксования и каталитического крекинга – характеризуются повышенным содержанием по сравнению с прямоугонными фракциями полиароматических углеводородов и термически стабильных гетероциклических сера- и азотсодержащих компонентов ароматического характера. Гидроочистка этих газойлей при производстве дизельных топлив, к которым предъявляются строгие требования по содержанию серы (не более 10 мг/кг), полиароматических углеводородов, цетановому числу, проблематична. Требования к судовым топливам в последнее десятилетие также повышены, но они остаются менее строгими: содержание серы не более 0,5 мас. % для основной их доли, использующейся в открытых акваториях, и 0,1 мас % вдоль побережий Балтийского и Северного морей, США и Канады. Однако даже выполнение этих требований при гидрогенизационном облагораживании газойлей связано с высокими расходом водорода, давлением и температурой процесса, отравлением катализаторов азотсодержащими компонентами.

В то же время известно, что компоненты, трудно удаляемые при гидроочистке (гомологи дibenзотиофена, карбозола, полиарены) наиболее легко экстрагируются селективными растворителями [1].

Особенно эффективна экстракционная очистка газойлей замедленного коксования, при которой снижение содержания серы в рафинате в 3 – 4 раза до 0,55 мас. % обеспечивается при низких массовых соотношениях экстрагентов к сырью (N-метилпирролидона или N, N-диметилформамида) (0,5 – 1):1 [2]. Однако экстракционная очистка газойлей каталитического крекинга, характеризующихся ещё более высоким содержанием соединений ароматического характера (70 – 90 % мас.), осложнена образованием гомогенной системы с этими сравнительно низкокипящими растворителями. Необходимо использовать экстрагенты с меньшей растворяющей способностью, например, сульфолан,

но его трудно регенерировать из-за образования азеотропных смесей с компонентами сырья, или добавлять к N-метилпирролидону для образования гетерогенной системы большие количества воды или этиленгликоля [3], недостаток которых – очень высокая селективность по молекулярным массам, приводящая к низкой степени извлечения алкилпроизводных или гибридных гетероциклических компонентов, содержащих не только ароматические, но и насыщенные циклы. Снизить содержание компонентов ароматического характера в сырье можно смешением газойлей каталитического крекинга и замедленного коксования или с газойлем висбрекинга с ещё меньшим содержанием аренов.

В данной работе приведены результаты экстракционной очистки смеси газойлей висбрекинга и легкого газойля каталитического крекинга в массовом соотношении 70:30 N-метилпирролидоном с 2 мас% воды при 20°C. Опыты одноступенчатой экстракции проводили при массовом соотношении экстрагента к сырью 0,5:1, 1:1 и 1,5:1 (номера опытов 1, 2 и 3 соответственно), а четырехступенчатую противоточную экстракцию в системе делительных воронок при соотношении 1:1 (опыт №4). Характеристика сырья и полученных рафинатов экстракционной очистки приведена в таблице 1, а степень извлечения экстрагируемых компонентов – в таблице 2.

Таблица 1 – Характеристика сырья и рафинатов экстракционной очистки

Наименование	Сыре	Рафинаты опытов			
		1	2	3	4
Выход рафината, мас. %	-	64.1	53.1	44.1	38.2
Показатель преломления n_D^{20}	1.4950	1.4830	1.4710	1.4630	1.4490
Плотность при 20°C, г/см³	0.8746	0.8665	0.8448	0.8280	0.8030
Содержание серы, мас. %	2.02	1.59	1.21	0.973	0.269
Содержание азота мг/кг	630	230	120	79	6.6
Содержание аренов, мас. %	32.8	22.5	22.7	23.7	8.3
в том числе					
- моноароматические	20.0	16.8	17.3	18.0	7.9
- диароматические	10.5	5.0	4.8	5.5	0.4
- три ⁺ ароматические	2.3	0.7	0.6	0.2	0.0
Бромное число, г Br₂ / 100 г	27.3	28.7	29.3	26.8	22.4

Как следует из представленных данных, одноступенчатая экстракционная очистка смеси газойлей N-метилпирролидоном при массовом соотношении 1,5:1 позволяет снизить содержание серы лишь в два раза. Однако при четырехступенчатой противоточной экстракции при меньшем соотношении 1:1 требование по содержанию серы (0,5 мас %)

достигается с большим запасом. При многоступенчатой экстракции суммарное содержание ди- и три⁺-аренов снижается более чем в 30 раз, а азотистых соединений – на два порядка – больше, чем сернистых компонентов, так как гомологи пиррола, индола, карбазола образуют кроме π -комплексов, ещё и водородные связи с молекулами N-метилпирролидона.

Таблица 2 – Степень извлечения экстрагируемых компонентов, мас. %

Компоненты	№ опыта			
	1	2	3	4
Сернистые	49.4	68.2	78.8	94.9
Азотистые	76.6	89.9	94.5	99.6
Аrenы в том числе:	27.1	63.3	68.1	90.3
- моно-	46.2	54.1	60.3	84.9
- ди-	69.6	75.7	77.0	98.5
- три ⁺	80.5	86.1	96.2	~100
Непредельные углеводороды	32.6	43.0	56.7	68.7

Для повышения выхода рафината можно снизить расход экстрагента или смешивать полученный рафинат для производства судового топлива с нефтепродуктами, которые не подвергаются предварительной экстракционной или гидрогенизационной очистке. Экстракты с высоким содержанием аренов могут служить сырьем для производства технического углерода, ароматических масел-мягчителей при изготовлении автомобильных шин, полимерно-битумных вяжущих для дорожного строительства. Экстракты легких газойлей могут использоваться для производства реактивных топлив с повышенной плотностью и высоким содержанием полициклических для сверхзвуковой авиации гидрированием ди- и триаренов.

ЛИТЕРАТУРА

- Гайле А.А., Сомов В.Е., Камешков А.В. Процессы разделения и очистки продуктов переработки нефти и газа. – СПб.: Химиздат, 2018. – 432 с.
- 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.
- Гайле А.А., Карнаух В.С., Камешков А.В. Экстракционная очистка легкого газойля каталитического крекинга смесями N-метилпирролидона с этиленгликолем //Нефтегазохимия – 2023: Материалы VI Междунар. Научно-техн. форума по хим. технологиям и нефтегазопереработке. – Минск, 1 – 3 ноября 2023 г.- Минск: БГТУ, 2023. – с. 4 – 7

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

**РАЗРАБОТКА БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ
ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ С ПОЛУЧЕНИЕМ
КОРМОВЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ФОСФАТОВ АММОНИЯ**

Уменьшение объемов производства термической фосфорной кислоты, традиционно используемой для синтеза технических фосфатов, в сочетании с возрастающими потребностями в ортофосфатах со стороны агропромышленной и химической промышленности, обуславливает необходимость разработки технологии использования экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) для производства чистых солей. Однако ЭФК, получаемая сернокислотным разложением фосфатного сырья, содержит от 5 до 15 мас. % примесей, влияющих на ее физические и эксплуатационные свойства.

Разработанный способ получения кормовых и технических фосфатов аммония из ЭФК – предусматривает реагентную очистку от серосодержащих соединений с последующей двухстадийной аммонизацией с промежуточным химическим старением суспензии. В рамках работы было изучено влияние предварительной стадии комплексной очистки кислоты на суспензию, получаемую на стадиях аммонизации, а также влияние значения pH на первой стадии химического старения на химический состав кормовых фосфатов аммония.

Получение кормовых фосфатов аммония осуществляется путем отвода части аммонизированной суспензии после первой стадии химического старения, с последующим центрифугированием, и кристаллизацией фосфатов из фильтрата в политермическом режиме. На основании рентгенофазового анализа (рисунок 1) установлено, что основной кристаллической фазой является дигидрофосфат аммония. Результаты исследования влияния величины pH суспензии, на химический состав получаемого кормового дигидрофосфата аммония, на первой стадии аммонизации, представлены в таблице 1.

Анализ представленных в таблице 1 данных позволяет сделать вывод о значительном снижении содержания фтора в зависимости от величины pH на первой стадии аммонизации кислоты. Так, при регламентируемом, в ТУ 2148-001-48590531-02 [1], содержании P₂O₅ не менее 55 % и соотношении F:P₂O₅ не более 0,0045, содержание P₂O₅ в продукте, получаемом при величине pH равном 2,9–3, составляет более 61 %, а соотношение F:P₂O₅

почти на порядок ниже регламентируемого показателя 0,001 и 0,0005 соответственно, однако дигидрофосфат аммония полученный при рН = 2,5 не соответствует регламентируемым стандартам по соотношению F:P₂O₅.

Таблица 1 – Состав кормового дигидрофосфата аммония

Состав	Содержание, мас. %		
	pH 2,5	pH 2,9	pH 3
P ₂ O ₅	64,332	61,736	61,862
NH ₄ ⁺	13,500	13,740	13,83
F	0,357	0,062	0,031
Fe ₂ O ₃	2,598	2,869	2,931
Al ₂ O ₃	2,636	2,838	2,833
CaO	0,290	0,547	0,679
Отношение F:P ₂ O ₅	0,005	0,001	0,0005

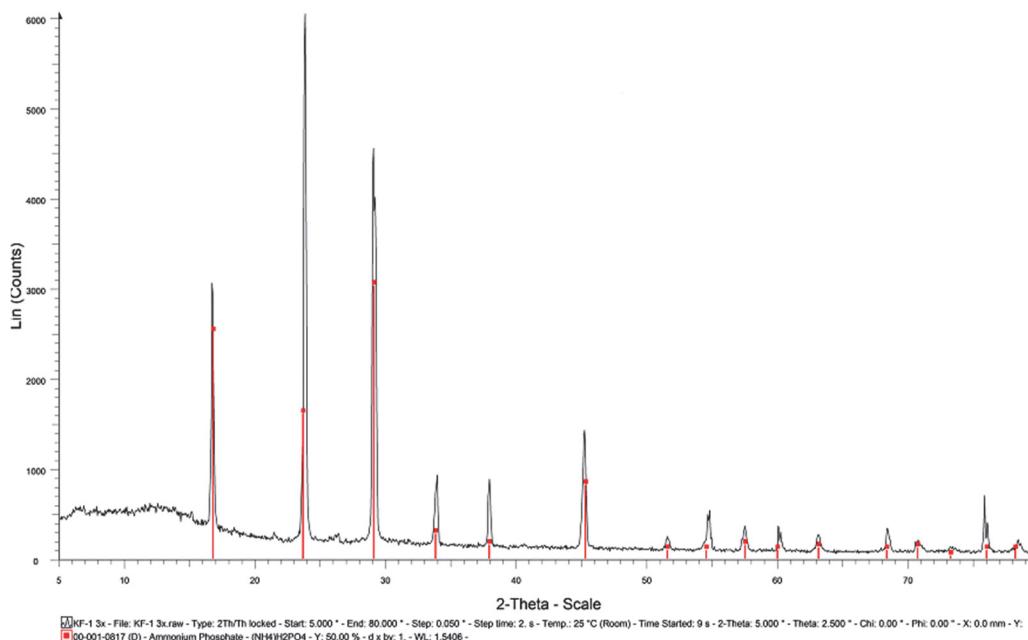


Рисунок 1 – Рентгенограмма кормового фосфата аммония

Достоинством полученных кормовых фосфатов является наличие растворимых форм железа и алюминия. Так, суточная норма железа составляет от 40 до 150 мг/кг корма для разных видов сельскохозяйственных животных [2].

Получение технических фосфатов аммония осуществляется путем разделения методом центрифугирования суспензии полученной после второй стадии химического старения, с последующей кристаллизацией фосфатов из фильтрата в полiterмическом режиме. Состав полученного технического дигидрофосфата аммония представлен в таблице 2.

На основании рентгенофазового анализа (рисунок 2) установлено, что основной кристаллической фазой является дигидрофосфат аммония.

Таблица 2 – Состав полученного технического фосфата аммония

Состав	Содержание, мас. %
P ₂ O ₅	61,656
NH ₄ ⁺	14,879
F	0,031
Fe ₂ O ₃	1,202
Al ₂ O ₃	1,185
CaO	0,115
MgO	0,098
Na ₂ O	0,032
K ₂ O	0,01

Основными требованиями для технических фосфатов является содержание оксида фосфора и азота, а также чистота продукта. Полученный фосфат аммония соответствует предъявляемым для технических солей согласно ТУ 2148–148– 05015 182–2013 [3].

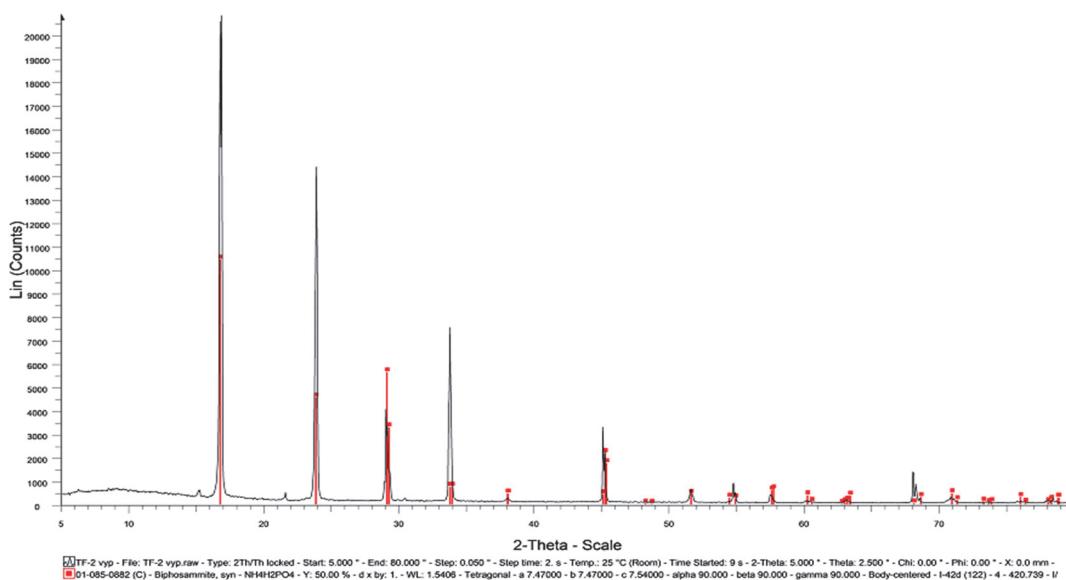


Рисунок 2 – Рентгенограмма технического фосфата аммония

Разработанная технология получения кормовых и технических фосфатов аммония из экстракционной фосфорной кислоты имеет стратегическое значение для Республики Беларусь в рамках политики импортозамещения. Данная разработка не только снижает зависимость от зарубежных поставок фосфатной продукции, но и способствует развитию отечественной агропромышленной и химической отраслей.

Проведенные исследования подтвердили высокое качество получаемых кормовых фосфатов, которые по содержанию основных питательных компонентов (фосфора и азота) превосходят действующие стандарты. Важным преимуществом является присутствие в составе продукта водорастворимых соединений железа и алюминия, их наличие в кормовых фосфатах можно рассматривать как дополнительный положительный фактор, способствующий сбалансированному минеральному питанию сельскохозяйственных животных.

Еще одним преимуществом технологии является использование неупаренной ЭФК, что позволяет снизить себестоимость конечных продуктов, за счет отсутствия затрат на ее концентрирование, а также возможность параллельного получения технических и кормовых фосфатов аммония в рамках единого производственного цикла. Это повышает экономическую эффективность процесса и расширяет возможности применения продукции в различных отраслях промышленности, включая производство специальных огнезащитных составов и других химических продуктов.

Таким образом, представленная технология соответствует современным требованиям ресурсосбережения и импортозамещения, а получаемая продукция обладает конкурентными преимуществами, что создает предпосылки для ее успешного внедрения в производство и дальнейшего развития фосfatной отрасли в Республике Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТУ 2148-001-48590531-02 «Моноаммонийфосфат на основе экстракционной фосфорной кислоты»
2. В. М. Косолапов, В. А. Чуйков, Х. К. Худякова, В. Г. Косолапов «Минеральные элементы в кормах и методы их анализа». – Москва. – 2019. – с. 273.
3. ТУ 2148-148-05015182-2013 «Моноаммонийфосфат водорастворимый технический».

УДК 502.13

Ковалева В.В.
(Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой)

СОРБЕНТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ.

Аннотация. В статье были рассмотрены сорбционные материалы, применяемые для очистки от нефтяного загрязнения почвы и воды. Дано характеристика сорбционных материалов, применяемых для очистки от нефтяного загрязнения

почвы и воды, представлена модель изменения концентрации нефти в загрязненных почвах под действием сорбентов. Приведена математическая модель фильтрации водо-нефтяной смеси в адсорбционном фильтре.

Масштабы промышленного загрязнения природных экосистем нефтью и нефтепродуктами продолжают увеличиваться во всем мире. Главным фактором, влияющим на увеличение этих масштабов, является дисбаланс между бурным ростом всех отраслей современной промышленности и совершенствованием технологий очистки почвы и воды от нефтяных загрязнений. В настоящее время для очистки почвы и воды от нефтяных загрязнений разработаны различные по технологии методы и регулярно внедряются новые. В первую очередь следует использовать для этих целей наиболее экологические и безопасные способы, не забывая об эффективности и финансовых затратах. В данной работе рассмотрены сорбционные материалы, применяемые для очистки от нефтяного загрязнения воды, представлены различные модели изменения концентрации нефти в загрязненных водах под действием сорбентов.

Сорбция представляет собой один из наиболее эффективных методов глубокой очистки от растворенных органических веществ сточных вод предприятий целлюлозно-бумажной, химической, нефтехимической, текстильной и других отраслей промышленности. Сорбционная очистка может применяться самостоятельно и совместно с биологической, как метод предварительной и глубокой очистки. Преимуществами этого метода являются возможность поглощения веществ из многокомпонентных смесей и высокая степень очистки, особенно слабо концентрированных сточных вод. Сорбционные методы весьма эффективны для извлечения из сточных вод ценных растворенных веществ с их последующей утилизацией и использования очищенных сточных вод в системе оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Условно сорбенты можно разделить на четыре группы:

1. Сорбенты на основе растительных остатков (отруби различных злаков и гречихи, торф, лузга от подсолнечных семечек, древесные опилки и т. п.).

2. Сорбенты на синтетической основе изготовлены на основе полиуретана, полиэтилена, полипропилена, карбамидоформальдегидных смол и т. д.

3. Углеродные сорбенты используются в качестве фильтра для очистки воды от нефти и нефтепродуктов.

4. Сорбенты на основе природных пористых минералов (вермикулит, перлит). Эта группа может быть поделена еще на две подгруппы: гидрофиблизированные и негидрофиблизированные.

Основные преимущества сорбента: отсутствие десорбции; возможность применения на воде и сухе; высокая степень очистки; высокая скорость и большой объем впитывания; универсальность (более 85 абсорбируемых веществ); неабразивность сорбента; изолирование летучих горючих паров (подавление паров 90 % и более); удобный при транспортировке и применении; не требует специальной подготовки и оборудования при применении и сборе; доступная цена.

При разработке требований к характеристикам фильтрующего оборудования зачастую приходится проводить многочисленные модельные эксперименты. В настоящее время реальные испытательные стенды все чаще заменяются виртуальными. Первым шагом на пути к этому является создание математической модели процесса фильтрации эмульсии сквозь слой сорбента.

Можно выделить следующие основные процессы, протекающие внутри адсорбционного фильтра:

1. Гидродинамических процесс фильтрации жидкости сквозь пористую среду;
2. Физико-химический процесс адсорбции капель дисперсной фазы на поверхности пористого материала;
3. Коалесценция микрокапель дисперсной фазы на поверхности пористого материала.

Первый из этих процессов достаточно хорошо изучен и сначала 50х годов двадцатого века для описания моделей фильтрации грунтовых вод и нефти. Фильтрация жидкости сквозь пористую среду описывается в литературе обобщенным законом Дарси:

$$u_i = \frac{K}{\mu_i} gradP,$$

где u_i - линейная скорость фильтрации i -фазы; K – проницаемость среды; μ_i – вязкость i -фазы; $gradP$ – градиент давлений по трем направлениям x,y,z .

Уравнение массопереноса в жидких средах выводится из первого закона Фика о сохранении массы. В общем случае оно выглядит так:

$$\nu \frac{\partial c}{\partial x} + \varepsilon \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial a}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_i \frac{\partial c}{\partial x} \right),$$

где $c(x,t)$ – средняя концентрация в подвижной фазе (на единицу объема этой фазы); $a(x,t)$ – средняя концентрация сорбата (на единицу объема слоя); D_i – коэффициент дифузии; ε – пористость; x – длина; t – время.

Здесь первое слагаемое учитывает влияние скорости фильтрации на концентрацию дисперсной фазы; второе – массоперенос в порах; третье –

скорость перехода массы сорбируемой компоненты из жидкой фазы на твердую поверхность; четвертое – массоперенос в результате конвективной и капиллярной диффузии.

Величина поглощенного объема нефти определяется зависимостью Лэнгмюра:

$$a = \frac{A_M bc}{1 + bc}$$

где A_M – емкость монослоя; b – константа; или Фрейндлиха: $a = \kappa c^n$, где κ и n – константы.

Данную систему уравнений следует дополнить начальными и граничными условиями: непроницаемостью стенок аппарата, пористостью среды, перепадом давлений на входе и выходе из аппарата, исходной концентрацией дисперсной фазы, исходными плотностью и вязкостью жидкости. Таким образом получим математическую модель фильтрации водо-нефтяной смеси в адсорбционном фильтре.

Своевременная очистка поверхности воды от нефтяных загрязнений позволит снизить величину экологического ущерба при аварийных разливах нефти, которые являются одним из негативных аспектов функционирования современного промышленного производства.

Применение различных сорбционных материалов для борьбы с нефтяными загрязнениями почвы и воды позволяет обеспечить их высокую степень очистки, а рассмотренные математические модели позволяют адекватно описать фильтрацию водо-нефтяной эмульсии, не стабилизированной ПАВ, и могут быть предложены для описания процессов очистки воды и нефти при ликвидации аварийных разливов нефти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савенок В. Е., Ковалевская Н. А., Марущак А. С. Технологии улавливания и сбора нефтенасыщенных сорбентов с очищаемых поверхностей // Вестник ВГТУ. 2015. №2 (29). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-ulavlivanija-i-sbora-neftenasyschennyh-sorbentov-sochischaemyh-poverhnostey> (дата обращения: 31.10.2024).
2. Игонина М. В., Васькин С. В. Математические модели фильтрации водо-нефтяной смеси сквозь слой сорбента // Научные проблемы водного транспорта. 2007. №23. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskie-modeli-filtratsii-vodo-neftyanoj-smesi-skvoz-sloy-sorbenta> (дата обращения: 31.10.2024).

УДК

Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г.,
Олиферович Н.М., Оробей И.О.,
Журавлев М.А.

(Белорусский государственный
технологический университет)

ТРАНСФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Концепция Индустрии 4.0 была предложена еще в 2011 году, однако основные ее влияния на системы управления начинает наблюдаться только в настоящее время. Все более находит применение понятие химическая инженерия, которая предполагает использование глубокую математическую обработку множества данных полученных в процессе теоретического и эмпирического исследований как технологов, механикой и специалистов по теории управления на базе искусственного интеллекта (ИИ).

На первое место выходит алгоритмический анализ кинетики реакций, прогнозирование оптимальные условия процесса и анализ вероятности выхода из строя технологического оборудования и систем контроля. Трансформация предполагает переход от чисто человеческого принятия решений к некоторому гибридному. Инженеры разных направлений вместе с системой ИИ совместно ищут лучшие решения по текущей производственной ситуации.

Идут попытки массового применения цифровых двойников, внедрение интеллектуальных датчиков и систем управления на базе искусственного интеллекта. В новой концепции инженерам-химикам отводится роль архитекторов данных и координаторов решений. Получая результаты анализа данных от одних агентов ИИ, они ориентируют других агентов ИИ для оптимизации энергопотребления, повышение качества, снижение издержек, обеспечение безопасности в режиме реального времени и т.д.

На начальном этапе это предполагает размытие границ локальной оптимизации отдельных стадий и аппаратов, которая была характерна для предыдущего технологического уклада.

Для поиска оптимальных решений очень важным является развитие аппарата математического моделирования. Уже сейчас с помощью развитого программного обеспечения инженеры моделируют сложные процессы с помощью вычислительной гидродинамики (CFD) и симуляторов процессов, таких как Aspen Plus, gPROMS, COMSOL и т.д. Это обязательный шаг в направлении цифровой эволюции. Однако это должно происходить в режиме реального времени, чтобы инженеры могли визуализировать и тестировать параметры процесса и получать прогнозы по

возможным направления протекания функционирования технологических процессов. Пока это находится в зачаточном состоянии и требует большого ручного труда. Правда следует отметить, что несколько десятилетий успешно эксплуатируются системы управления по математическим моделям, которые предполагают непрерывную и дискретно непрерывную оптимизацию настроек регуляторов технологических параметров.

На сегодняшний день, основными методами применения ИИ в химической инженерии являются: машинное обучение (МО), глубокое обучение (ГО), обучение с подкреплением (RL), обработка естественного языка (NLP). Все эти подходы связаны и являются степенью углубленности решения задач. Выбор метода часто является сложной задачей по причине количества данных, целью поиска, временных и энергетических факторов.

С помощью машинного обучения выявляются закономерности в многомерных наборах данных. Также этот метод позволяет достаточно быстро получить информацию из анализа видеообработки, которая тяжело поддается традиционными методами, например, вариация пены при флотации, спектральных состав частиц и т.д. Но часто с его помощью прогнозируют выходы реакций, состав продуктов при сложных процессах ректификации и влияние рабочим условиям на эти процессы. В системах управления есть примеры использования МО для оптимизации и поиска баланса между качеством и стоимостью путем изменения сигналов задания для каналов регулирования локальных контуров регулирования. Еще одним примером является прогнозирования надежности работы оборудования.

Глубокое обучение является углубленным развитием предыдущего метода и способна получать полезную информацию из неструктурированных данных: интерпретация микроскопических или спектроскопических изображения для обнаружения структурных дефектов; прогнозирование динамические переменные, такие как колебания температуры или дрейф pH.

RL обеспечивает адаптивность. Здесь обучение производится на данных на каком-то временном участке. Метод взаимодействует с окружающей средой, корректируя параметры и наблюдая за результатами. Они находят широкое применение для построения цифровых двойников ректификационных колонн, для их оптимизации.

Обработка естественного языка призвана анализировать результаты текущих публикаций и патентов чтобы помочь инженерам быстрее извлекать знания из текста. Модели ИИ могут извлекать пути реакций, информацию о химической совместимости или экологических нормах непосредственно из документов.

В системах управления машинное обучение и другие технологии повсеместно используется для решения настройки многопараметрических систем. Широкое применение в системах управления сейчас

находят более сложные алгоритмы чем классические ПИД-алгоритмы, как, например МРС, ПИД с нелинейными преобразованиями [4] и т.д.

Следует отметить вклад ИИ в безопасность и управление рисками. Такие большие производства как нефтепереработка сложны в анализе безопасности из-за своей многомерности. Очень часто предиктивных систем безопасности имеют значительных выигрыш по сравнению с традиционными методами.

Однако глобально существует проблема, что системы безопасности должны иметь доказанную степень надежности. С системами ПАЗ на базе ИИ математически доказанных структур или концепций пока не существует и это может вступать в противоречия с энергетической, материальной и экономической оптимизацией.

Искусственный интеллект и расширенная обработка технического языка (NLP) могут обеспечить надежность, но их эффективность напрямую зависит от качества ввода данных человеком и организационных методов. Автоматизированный анализ шаблонов не имеет смысла, если в базах данных по техническому обслуживанию отсутствуют корректно заполненные коды затрат или ясные описания сбоев и исправлений.

Искусственный интеллект и промышленная автоматизация представляют собой две стороны одной медали. Стремление внедрить ИИ в разработку платформ очевидно, но до сих пор не исследовано, как именно инструменты на основе ИИ влияют на долгосрочную надежность.

Важный вопрос заключается в том, осознают ли люди, сколько времени и усилий уходит на использование инструментов ИИ, и учитывают ли необходимость переработки данных или увеличения времени для обучения машинных моделей и интерпретации ошибок ИИ. А еще встает проблема энергетического потребления самими системами ИИ.

В последнее время наблюдается тенденция к адаптации обработки естественного языка (NLP) для анализа инженерных данных в приложениях, связанных с надежностью. Эта технология обработки технического языка (TLP) позволяет анализировать заказы на техническое обслуживание, выявлять закономерности и принимать более обоснованные решения. Однако эти методы работают только при условии, что отдел технического обслуживания корректно заполнил базу данных, указав коды и типы центров затрат, а также описав неисправности и необходимые действия по их устранению. ИИ не может решить эту задачу самостоятельно.

Суть заключается не в том, чтобы принижать значение искусственного интеллекта, а в том, чтобы подчеркнуть важность обучения сотрудников, не связанных с ИИ, передовым практикам, а затем использовать программные приложения для их поддержки. Скорее всего ИИ

как в химической инженерии так и применительно к системам управления найдет свое эффективное применение во взаимодействии с инженерным персоналом предприятий и он повторит судьбу заводов-автоматов, изначальная концепция которые трансформировалась в симбиоз автоматической и автоматизированной работы

ЛИТЕРАТУРА

1. Schweidtmann A.M., Esche, E., Fischer A., Kloft M., Repke J.-U., Sager S., Mitsos, A. Machine Learning in Chemical Engineering: A Perspective // Chemie Ingenieur Technik. – 2021, – V. 93, p. 2029-2039. <https://doi.org/10.1002/cite.202100083>.
2. Thon C., Finke B., Kwade A., Schilde C. Artificial Intelligence in Process Engineering // Advanced Intelligent Systems. – 2021, –p. 2000261. [10.1002/aisy.202000261](https://doi.org/10.1002/aisy.202000261).
3. Alqaraleh M., Al-Batah M., Alzboon M., Alzaghouli E. Automated Quantification of Vesicoureteral Reflux using Machine Learning with Advancing Diagnostic Precision // Data and Metadata. – 2025. – 25. P. 460. <https://doi.org/10.56294/dm2025460>.
4. Hryniuk D., Suhorukova I., I. Orobey, Non-linear PID controller and methods of its setting // 2017 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream), Vilnius, Lithuania, 2017, p. 1-4, doi: 10.1109/eStream.2017.7950327.
5. The double-edged sword of AI and equipment reliability. [Электронный ресурс] Время доступа 10.10.2025. <https://www.controldesign.com/connections/data-acquisition-monitoring/article/55328285/the-double-edged-sword-of-artificial-intelligence-and-equipment-reliability?oeid=7815B7031834B4R>

УДК 628.3:621.3

Войтов И.В., Штепа В.Н., Дернович А.В.
(Белорусский государственный
технологический университет)

КОГНИТИВНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И РЕСУРСНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ

В целом моделирование с помощью когнитивных карт – метод анализа и представления сложных, слабоструктурированных систем с помощью графовых моделей, где узлы представляют собой базисные

факторы, а направленные стрелки – причинно-следственные связи с указанием характера воздействия. Этот метод позволяет структурировать информацию, выявить ключевые факторы и их взаимовлияние для достижения целей управления или принятия решений. **Когнитивная карта** представляет собой графическое представление субъективных представлений о сложной системе, включая ее ключевые элементы (базисные факторы) и связи между ними [1].

Этапы создания когнитивной карты: **определение целей и границ исследования**: чётко формулируется проблема, которую будет отражать карта, что задает масштаб и детализацию модели; **сбор исходной информации**: выявляются ключевые факторы, влияющие на изучаемый процесс, учитываются мнения экспертов и заинтересованных сторон; **структуроирование данных**: элементы группируются по смыслу и значимости, формируется иерархия понятий; **установление связей**: определяются причинно-следственные отношения и взаимные влияния между элементами; каждая связь характеризуется направлением и силой воздействия (на данном этапе не использовалось).

Последовательность создания когнитивной карты анализа базировались на опыте системного анализа реальных объектов [2] и экспертных знаниях [3]. На их основе была разработана обобщённая когнитивная карта факторного анализа водоотведения и очистки сточных населённого пункта (используются только те факторы, на которые возможно воздействие в направлении достижения выполнимых целей; построена для использования при синтезе потенциальной интеллектуальной системы поддержки принятия решений (рис. 1) [4].

Основными базисными факторами выступили «Качество очистки сточных вод» и «Затраты ресурсов и расходников». Тогда проблематика когнитивного моделирования отведения и очистки сточных вод населённого пункта:

- определение основных факторов, влияющих на цели, которые можно достичь исходя из технических заданий и материально-технических возможностей реальных организаций водопроводно-канализационных хозяйств (ВКХ), без значительных финансовых вложений;
- обобщить алгоритм достижения целей модернизации (реконструкции) объектов исходя из причинно-следственных связей технологических факторов;
- выявить «тонкие» цепочки причинно-следственных связей факторов проекта, которые необходимо обязательно устраниТЬ в рамках создания аналитических модулей организаций ВКХ.

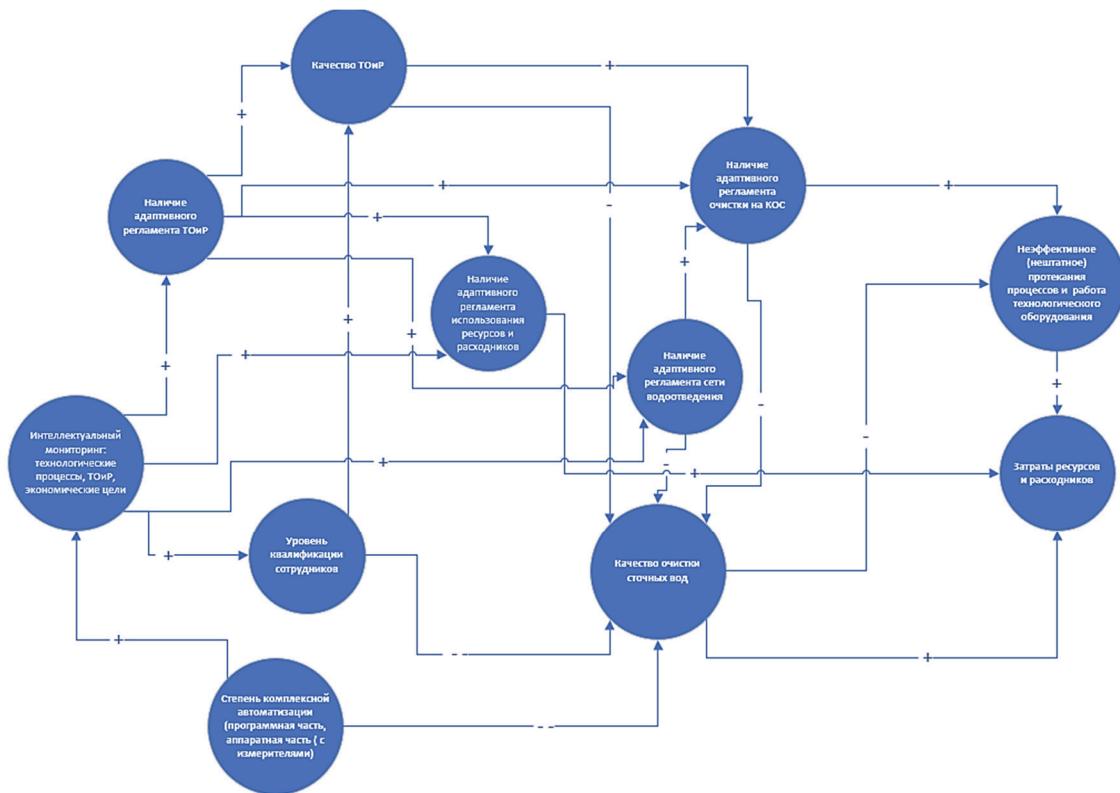


Рисунок 1 – Когнитивная карта (модель) технологических факторов,

влияющих на цели, которые можно достичь исходя из реальных материально-технических возможностей организаций ВКХ

Исходя из оценки когнитивной модели (см. рис. 1) критериями эффективности функционирования аналитического программного обеспечения выступят:

- оперативная поддержка обоснования, разработки и применения регламента очистки сточных вод (исходя из существующих и закупаемых технических средств автоматизации);
- оперативная поддержка обоснования, разработки и применения регламента отведения сточных вод;
- оперативная поддержка обоснования, разработки и применения регламента использования ресурсов и расходных материалов в технологических операциях;
- оперативная поддержка обоснования, разработки и применения регламента технического обслуживания и ремонта (ТОиР) оборудования отведения и очистки сточных вод;
- поддержка повышения квалификации сотрудников.

При этом особый акцент в рамках автоматизации необходимо сместить на превентивное устранение возможности проявления неприменимых ситуаций – обеспечив соответствующим управляющим воздействиям главный приоритет.

Строгие выражения данных критериев обосновываются на этапах системного анализа конкретных организаций ВКХ (рис. 2) [5]: при технологическом анализе и моделировании; создании базы знаний процессов отведения и очистки сточных вод с вариантами сценариев достижения поставленных экологических и экономических целей.

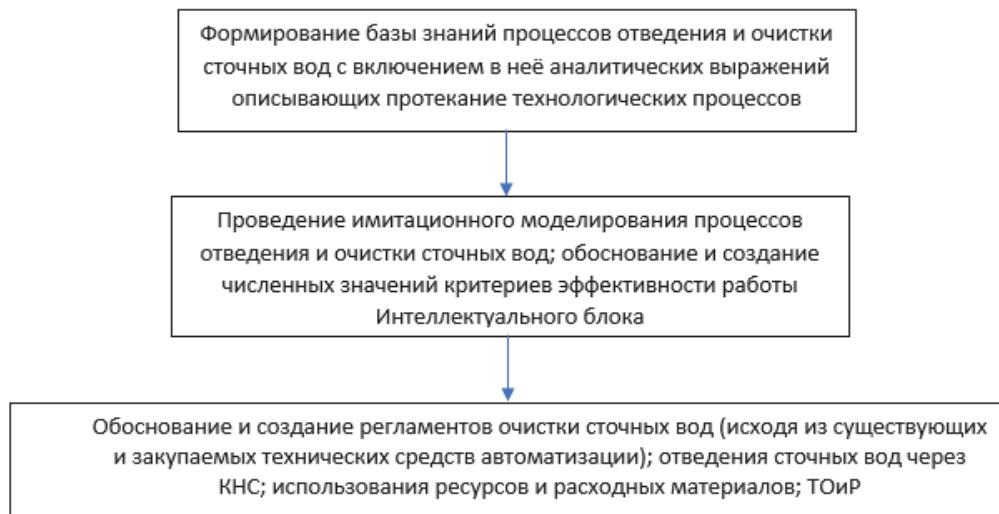


Рисунок 2 – Последовательность обоснования и детализации критериев эффективности аналитических программных продуктов, внедряемых организациями ВКХ

Заключение. В рамках ограниченных ресурсных возможностей отечественных организаций ВКХ необходимо и обосновано основной задачей программного обеспечения, прежде всего аналитического (в том числе с применением элементов математического аппарата искусственного интеллекта), определить оперативную поддержку принятия решений на основе аккумулирования в себе адаптивных цифровых регламентов технологических процессов отведения и очистки сточных вод, экономической эффективности операций и ТОиР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Штепа, В.Н. Структура и функционал интеллектуальной системы поддержки принятий решений в водоотведении / В.Н. Штепа // Информатика и кибернетика. - 2022. - №3 (29). - С.51-57.
2. О задачах цифровизации систем водоотведения коммунально-промышленных объектов / И.В. Войтов [и др.] // Нефтегазохимия - 2023: материалы VI Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 1-3 ноября 2023 г. / УО «Белорусский государственный технологический университет». - Минск: БГТУ, 2023. - С. 147-151.

3. Войтов, И.В. Использование цифровой платформы водоотведения для предупреждения технологических рисков биологической очистки сточных вод / И.В. Войтов, В.Н. Штепа // Инновационные биотехнологии для охраны окружающей среды: от теории к практике : материалы I международной научно-практической конференции, Минск, 23-25 апреля 2024 г. / Институт микробиологии НАН Беларусь; организационный комитет конференции: А.А. Шепшев (пред.) и [др.]. - Минск: ИнМи, 2024. - С. 83-84.

4. Alekseevsky, D.G. Formalization of the Task of Creating a Mathematical Model of Combined Wastewater Treatment Processes / D.G. Alekseevsky, Ye.Yu. Chernysh, V.N. Shtepa // Journal of Engineering Sciences: peer-reviewed scientific journal. - 2021. - Volume 8, Issue 2. - pp. H1-H7.

5. Штепа, В. Н. Рациональные подходы к внедрению цифровых двойников в водопроводно-канализационные хозяйства / В. Н. Штепа// Информатика и кибернетика. - 2024. - № 3. - С. 51-57

УДК 502.1

Бухтоярова Д.Д., Яблонских Д.В.

(Национальный исследовательский университет "МГСУ", г. Москва, Россия)

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРИРОДООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Аннотация: Статья анализирует взаимосвязь «экологической безопасности» и «природоохранной деятельности». Рассматриваются угрозы и методы природоохранной деятельности для минимизации антропогенного воздействия. Подчеркивается комплексный подход (правовые, экономические, технологические, образовательные меры) для устойчивого развития.

Цель: Разработка комплексной стратегии для гармонизации экологической безопасности и природоохранной деятельности, направленной на радикальное снижение антропогенного воздействия на природу.

Задачи:

Фундаментальное понимание: Углубленно исследовать суть экологической безопасности, выявив и классифицировав ключевые экологические угрозы.

Природоохранная парадигма: Проанализировать природоохранную деятельность как ключевой инструмент обеспечения экологической безопасности.

Комплексные решения: Определить и систематизировать правовые, экономические, технологические и образовательные механизмы, способствующие устойчивому развитию.

Синергия ответственности: Разработать практические рекомендации по объединению усилий государства, бизнеса и общества для эффективного преодоления экологических вызовов.

Предлагаемые решения:

Правовая основа: Усиление нормативного регулирования через внедрение строгих экологических стандартов (ПДК, ПДВ) и совершенствование природоохранного законодательства.

Экономические стимулы: Применение экономических инструментов, таких как экологические налоги и платежи за негативное воздействие, а также предоставление льгот для предприятий, инвестирующих в “зеленые” технологии.

Технологический прорыв: Масштабное внедрение передовых доступных технологий (НДТ) и развитие инновационных подходов к переработке и утилизации отходов.

Система контроля: Создание и развитие современных систем экологического мониторинга для оперативного контроля состояния окружающей среды и принятия обоснованных управленческих решений.

Культурная трансформация: Формирование экологически сознательного общества через систему образования и просвещения, популяризацию раздельного сбора отходов и осознанного потребления.

Ключевые инновации и результаты:

Циркулярная модель: Предложена интегрированная модель экономики замкнутого цикла, минимизирующая образование отходов и максимизирующая использование вторичных ресурсов.

Цифровой мониторинг: Использование передовых цифровых технологий (IoT, Big Data) для существенного повышения точности и оперативности экологического мониторинга, а также для упреждающего прогнозирования угроз.

Международная коопeração: Глобальный подход к глобальным вызовам Синергия на международной арене: Особо подчеркнута критическая важность скоординированных международных усилий для эффективного противодействия трансграничным экологическим вызовам, таким как глобальные климатические изменения и загрязнение Мирового океана, где локальные действия лишь частично решают проблему.

Опыт внедрения: Практические шаги к устойчивому будущему

1) Нормативное обеспечение:

Фундаментальная база: В России заложены основы государственной экологической политики путем принятия Федерального закона

«Об охране окружающей среды» (№7-ФЗ), который служит отправной точкой для всех дальнейших регулирующих мер.

2) Технологическая трансформация:

Внедрение передовых решений: Промышленные гиганты активно интегрируют наилучшие доступные технологии (НДТ), что приводит к существенному сокращению объемов выбросов и сбросов загрязняющих веществ.

3) Пилотные проекты в области циркулярной экономики:

Создание замкнутых систем: Инициировано создание специализированных технопарков и эко-индустриальных парков, где принцип “отходы одного производства – сырье для другого” становится реальностью, формируя основу для экономики замкнутого цикла.

4) Системное образование:

Формирование компетенций: В образовательные программы высших учебных заведений и школ активно интегрируются курсы, направленные на формирование знаний и навыков в области экологической безопасности.

Выводы. Путь к гармонии человека и природы

Неразрывная связь: Экологическая безопасность и природоохранная деятельность представляют собой единый, взаимозависимый комплекс, требующий применения всестороннего, системного подхода для достижения желаемых результатов.

Сила синергии инструментов: Эффективность всех предпринимаемых мер достигается за счет грамотного, сбалансированного сочетания правовых, экономических, технологических и образовательных рычагов воздействия.

Циркулярность как основа устойчивости: Подлинное устойчивое развитие возможно лишь при условии перехода к парадигме циркулярной экономики и активном, целенаправленном вовлечении всех ключевых субъектов – государства, бизнеса и гражданского общества (stakeholders).

Международное сотрудничество – фактор успеха: Глобальные экологические вызовы требуют единения усилий на международном уровне; без эффективного международного сотрудничества решение масштабных проблем невозможно.

Приоритеты будущего: Дальнейшее развитие должно быть сосредоточено на ускоренном внедрении прорывных инновационных технологий и целенаправленном формировании глубокой экологической культуры среди всего населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 № 7-ФЗ.
2. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации". – М.: Минприроды России, 2022.

3. Орлов Д.С., Садовникова Л.К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. – М.: Высшая школа, 2018. – 334 с.
4. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. – М.: Мысль, 2019. – 637 с.
5. Meadows D.H., Randers J., Meadows D.L.э. The Limits to Growth: The 30-Year Update. – Chelsea Green Publishing, 2020. – 338 р.

УДК 665.754:006.354

Кузьмин К.А., Рудко В.А.

(Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ

С увеличением глубины переработки нефти, а также повышением доли тяжелых нефтей в балансе НПЗ все более актуальным становится вопрос об обеспечении стабильности углеводородных систем. Использование тяжелых нефтяных остатков термических, каталитических и гидрокаталитических процессов в производстве высококачественных углеродных материалов и остаточного судового топлива сопряжено со значительными ограничениями, вызванными выпадением в осадок асфальтенов — поликонденсированных ароматических соединений, нерастворимых в н-алканах.

Для характеристики стабильности углеводородных систем на практике наиболее точным методом является определение общего осадка методом горячего фильтрования, также применяют толуольный или ксилюльный эквивалент. Однако определение стабильности УВ систем данными методами требуют значительных трудовых и временных затрат, что не позволяет оперативно изменять состав потоков на НПЗ или разрабатывать новые рецептуры сырья для процессов переработки тяжелых нефтяных остатков [1].

Существующие методы моделирования и прогнозирования стабильности углеводородных систем представляют собой либо регрессионные или нейросетевые модели, позволяющие на основе ограниченной информации прогнозировать стабильность отдельных УВ систем [2], либо молекулярные модели, способные рассчитывать структурные параметры агрегатов асфальтенов [3]. Все эти способы не лишены недостатков, регрессионные или нейросетевые модели не учитывают

структурно-групповой состав компонентов и требуют значительной обучающей выборки для достижения необходимой точности. Молекулярные модели слишком сложны и для расчета стабильности многокомпонентной системы потребуют точного определения состава и параметров взаимодействия сотен веществ.

Таким образом, целью данной работы является разработка детерминированной термодинамической модели прогнозирования стабильности УВ систем, содержащих асфальтены.

В основе термодинамической модели уравнение Шредера - Ле Шателье, модифицированное для применения к реальным системам путем ввода в него коэффициента активности γ_i . Расчет коэффициента активности производился с помощью групповой термодинамической модели UNIFAC на основе данных о составе каждого компонента УВ системы, определенного методами CHNS-анализа (W_C , W_H , W_N , W_S) ЯМР спектроскопии, криоскопии и SARA-анализа. Температура плавления (T_{fus}) асфальтенов определялась по групповой модели Джобака, а энталпия плавления (H_{fus}) рассчитывалась по растворимости асфальтенов в бензоле, таким образом достигалась высокая точность измерений и учитывались особенности строения асфальтенов различного генезиса.

После определения структурно-группового состава и термодинамических параметров каждого компонента системы, уравнение Шредера - Ле Шателье решалось итерационным методом Ньютона и находилось значение мольной растворимости асфальтена $x_{sol,i}$. Далее рассчитывалась массовая растворимость асфальтена в УВ системе и путем вычитания массовой растворимости из исходной массовой доли асфальтена находилась доля асфальтена, выпавшего в осадок. Далее путем суммирования доли осадков асфальтенов находился общий расчетный осадок (total sediment calculated — TSC), являющийся показателем стабильности углеводородной системы, аналогом TSA — общего осадка после старения. Термодинамические расчеты проводились с использованием библиотеки Thermo для языка Python [4]. Общая схема предлагаемой модели представлена на рисунке 1.

Для верификации результатов моделирования были приготовлены 15 образцов остаточных судовых топлив, включающих тяжелые газойли замедленного коксования (ТГЗК) и кат. крекинга(ТГКК), мазут (М), гудрон (Г), асфальт (асф), гидроочищенный вакуумный газойль (ГОВГ) и остаток гидрокрекинга (ОГК). Состав исследованных УВ систем, результаты расчета TSC и определения TSA представлены в таблице 1.

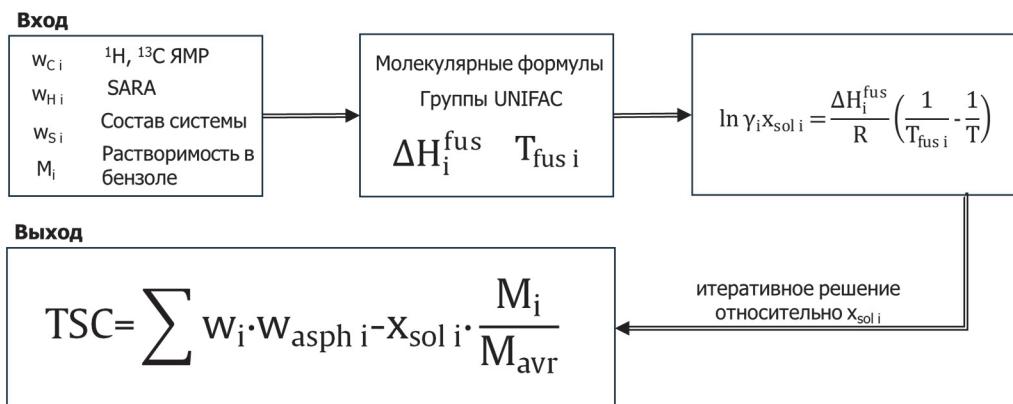


Рисунок 1 – Общая схема термодинамической модели

Таблица 1 – Результаты определения стабильности УВ систем

№	Состав образца, % масс.							TSA, % масс.	TSC, % масс.
	ТГЗК	ТГКК	М	ГОВГ	Г	Асф	ОГК		
1	15	15	5	15	0	20	30	0.377±0.004	0.423
2	15	15	5	15	20	0	30	0.492±0.015	0.432
3	15	15	5	15	10	10	30	0.382±0.027	0.327
4	15	15	5	15	0	25	25	0.138±0.011	0.112
5	15	15	5	15	25	0	25	0.246±0.004	0.269
6	5	5	5	35	10	10	30	0.350±0.027	0.395
7	10	10	5	25	10	10	30	0.354±0.025	0.373
8	20	0	5	20	15	15	25	0.034±0.001	0.072
9	0	20	5	20	15	15	25	0.023±0.003	0.049
10	5	5	5	20	20	20	25	0.584±0.030	0.502
11	9	31	0	35	10	10	5	0.064±0.003	0.086
12	9	31	0	25	5	15	15	0.057±0.003	0.046
13	10	40	5	30	0	15	0	0.058±0.002	0.041
14	14	31	0	35	5	10	5	0.038±0.002	0.029
15	0	30	15	40	0	15	0	0.039±0.001	0.048

Для оценки полученных результатов построим корреляционный график зависимости экспериментально определенного общего осадка (TSA) от расчётного (TSC), результаты представлены на рисунке 2.

По результатам верификации модели можно видеть, что в диапазоне стабильности от 0 до 0,5 % масс. TSA, разработанная модель показывает высокую степень детерминированности ($R^2=0.98$). Стоит отметить, что составы УВ систем для верификации подбирались таким образом, чтобы оценить возможности системы по прогнозированию сложных взаимодействий между компонентами. Показательным является пример с образцами 1 и 4 (табл.1), можно видеть, что несмотря на увеличение доли асфальта в составе, стабильность системы

значительно повышается из-за снижения доли ОГК: TSA уменьшается с 0,377 до 0,138 % масс., разработанная модель учитывает изменение доли насыщенных компонентов и TSC также снижается с 0,423 до 0,112 % масс.

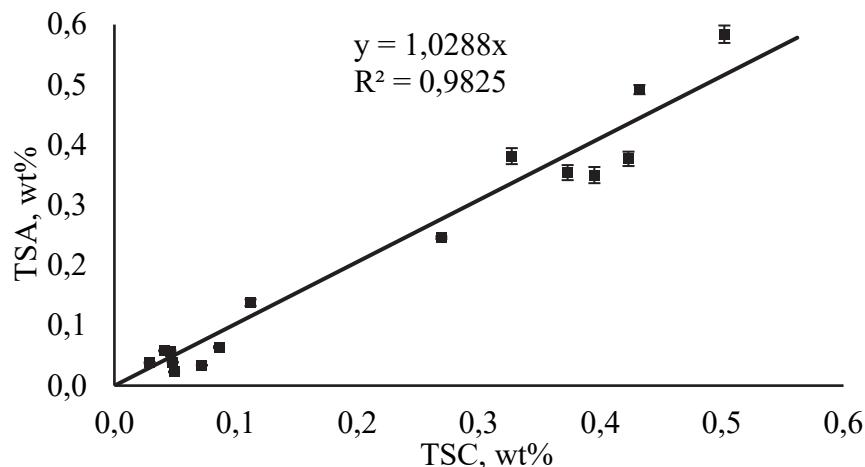


Рисунок 1 – Корреляция между TSA и TSC

Таким образом, разработанная детерминированная термодинамическая модель прогнозированная стабильности УВ систем показала высокую степень достоверности, которой удалось достичь за счет использования уравнения Шредера- Ле Шателье и групповых моделей Джобака и UNIFAC, а также точного определения структурно-группового состава и термодинамических параметров компонентов системы. Данная модель может быть использована для прогнозирования стабильности системы, содержащей углеводороды различного генезиса в том числе в условиях изменения температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mitusova T. N. и др. Influence of dispersing additives and blend composition on stability of marine high-viscosity fuels // Journal of Mining Institute. Saint-Petersburg Mining University, 2017. Т. 228. С. 722–725.
2. Sotirov S. и др. Heavy Fuel Oil Quality Dependence on Blend Composition, Hydrocracker Conversion, and Petroleum Basket // Fuels. 2025. Т. 6, № 2. С. 43.
3. Saboor A. и др. Performance of asphaltene stability predicting models in field environment and development of new stability predicting model (ANJIS) // J Pet Explor Prod Technol. 2022. Т. 12, № 5. С. 1423–1436.
4. Caleb Bell and Contributors (2016-2024). Thermo: Chemical properties component of Chemical Engineering Design Library (ChEDL) <https://github.com/CalebBell/thermo>.

УДК 665.766.4:004.942

Гринвальд Д.Е., Габдулхаков Р.Р.
(Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II,
НЦ «Проблем переработки минеральных
и техногенных ресурсов»)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УЗЛА ПЕРЕРАБОТКИ
ФЕНОЛЬНОЙ СМОЛЫ ПУТЬМ ОПТИМИЗАЦИИ
И МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ
УСТАНОВКИ**

Кумольный процесс является основным крупнотоннажным способом получения фенола и ацетона [1] и представляет собой сложный многостадийный процесс, включающий окисление кумола, выделение, концентрирование и дальнейшее разложение гидроперекиси изопропилбензола, нейтрализацию продуктов и дальнейшее разделение фенола и ацетона.

В России производится порядка 260 тыс. тонн фенола и 190 тыс. тонн ацетона в год. Многие современные предприятия функционируют уже более 50 лет и в процессе эксплуатации технологического объекта ввиду изменений экологических норм, экономических показателей и технического оформления возникает необходимость модернизации и оптимизации проводимого процесса с целью достижения соответствия современным требованиям и показателям качества получаемых продуктов, а также наращивания мощности выработки целевой продукции.

Кумольный способ получения фенола и ацетона известен уже более 80 лет и достаточно подробно освещён в литературе [2,3], однако возникающие на предприятиях проблемы часто могут носить специфический характер, зависящий от способа реализации процесса, и тем самым требовать поиска и разработки набора специализированных решений.

Ключевой целью данной работы целью является разработка научно-технических и конструкционных решений для повышения эффективности текущей работы узла переработки фенольной смолы на действующем предприятии. Для этого была разработана модель узла в среде Aspen HYSYS (рисунок 1), проведёна его верификация на соответствие проектным данным и проведён расчёт его функционирования в условиях повышенной относительно проектной нагрузки. Рассмотрены варианты технологических решений для повышения степени очистки получаемых продуктов.

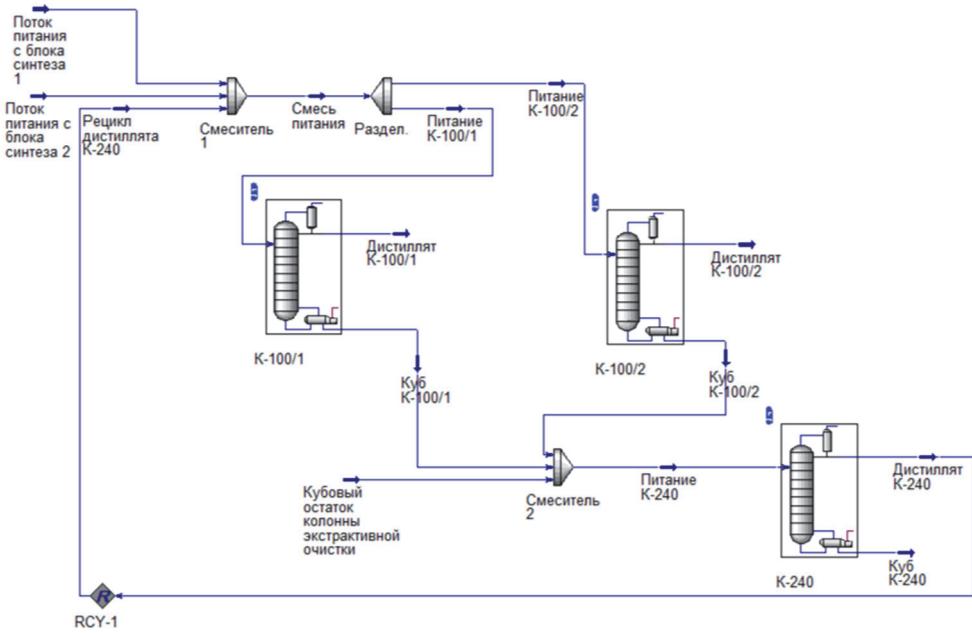


Рисунок 1 – Схема узла очистки смолы фенольной

Построение модели основывалось на регламентных данных предприятия, включая технологические режимы, конструкционные параметры аппаратуры и характеристики материальных потоков. Физико-химические свойства, фракционный и компонентный состав сырья и продуктов были установлены в ходе лабораторных анализов, а эмпирические данные компонентов и их взаимодействия были взяты из справочников и базы Aspen HYSYS.

В результате исследования методами лабораторного эксперимента и компьютерного моделирования с применением модели активности NRTL был выполнен ряд задач:

- 1) На основе изучения углеводородного состава и физико-химических свойств сырья и продуктовых потоков установки методами газовой хроматографии установлены отклонения в компонентом составе потоков установки от регламентируемых значений по содержанию примесей в виде ацетофенона и диметилфенилкарбинола в дистиллятах и фенола в смоле фенольной и выявлены причины данного загрязнения.
 - 2) Проанализированы сценарии модернизации ректификационной колонны узла переработки смолы фенольной;
 - 3) Выявлены причины, вызывающие проблемы на технологическом объекте, такие как загрязнение дистиллятов колонны переработки фенольной смолы и накопление фенола в кубовом остатке;
 - 4) Рассмотрены варианты оптимизации технологических параметров как существующей колонны, так технологического оформления

при введении в схему дополнительной колонны при различных вариантах технологического оформления.

За лимитирующие факторы были приняты текущие возможности предприятия по оптимизации работы колонны разделения фенольной смолы и внедрению нового технологического оформления, выявленные в результате проведения опытно промышленного пробега.

В результате совокупного лабораторного исследования физико-химических свойств и углеводородного состава основных потоков узла переработки фенольной смолы, а также проведения компьютерного моделирования узла удалось добиться снижения тяжёлых примесей, таких как афцетофенон и диметилфенилкабинол, в дистилляте с практических 40% до 10% масс., а содержания фенола в смоле фенольной с проектных 4% и практических 14% до 3% масс. При этом нагрузка по питанию была увеличена в более чем в 2 раза по сравнению с проектным решением с 4191,4 кг/ч до 10000 кг/ч.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьева Е.А., Егорова Е.В., Ларин Л.В. Современное состояние и перспективы развития процессов получения фенола i. Обзор рынка и современное состояние процессов получения фенола // «Вестник МИТХТ». 2007. Vol. 2, № 2. P. 27–43.
2. Закошанский, В.М. Альтернативные технологии получения фенола и ацетона/ В.М. Закошанский // Российский химический журнал – 2008. – Т. LII, №4. – С. 53 – 71.
3. Закошанский В.М. Кумольный процесс получения фенола-ацетона // Нефтехимия. 2007. Vol. 47, № 4. Р. 301–313.

УДК 665.9.061

Чебыкина А.А., Утенкова Т.Г.,

Габдулхаков Р.Р.

(Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА В СИСТЕМЕ «КАМЕННОУГОЛЬНЫЙ ПЕК-ДВУХКОМПОНЕНТНЫЙ РАСТВОРИТЕЛЬ»

Каменноугольный пек представляет собой сложную смесь высокомолекулярных полициклических ароматических соединений, содержащих также гетероатомные компоненты. Для систематизации сложного

химического состава пеков применяют метод группового анализа, основанный на различной растворимости компонентов в органических растворителях. В соответствии с этим подходом выделяют несколько фракций: α_1 -фракцию (QI - нерастворимую в хинолине), α_2 -фракцию (TI - нерастворимую в толуоле), γ -фракцию (HS - растворимую в гептане) и β -фракцию (HI-TS - растворимую в толуоле, но нерастворимую в гептане) [1]. Каменноугольный пек служит не только сырьем для связующих материалов и дорожных покрытий, но и основой для производства ценных углеродных продуктов - игольчатого кокса, углеродных волокон и композитов [2].

Согласно данным научно-технической литературы, именно соотношение указанных фракций в значительной степени определяет качество игольчатых коксов. Наиболее предпочтительным считается следующий диапазон показателей: α_1 -фракция — менее 0,8%; α_2 -фракция — 13–16%; β -фракция — 55–67%; γ -фракция — 20–32% [3, 4].

В настоящем исследовании для регулирования группового углеводородного состава каменноугольного пека с температурой размягчения 56 °C применялся метод сольвентной экстракции. В качестве экстрагента использовался двухкомпонентный растворитель, включающий ароматический и парафиновый компоненты, взятые в различных соотношениях относительно исходного пека.

При выборе растворителя учитывались такие параметры, как растворяющая способность, токсичность, летучесть, относительная стоимость и пожароопасность. В ходе исследования были проведены сравнительные эксперименты с толуолом, декалином, ортоксиолом и хинолином. Установлено, что наибольший выход экстракта достигается при использовании хинолина, который эффективно извлекает широкий спектр органических соединений. Все изученные аналоги хинолина — пиридин, N-метилпирролидон и тетрагидрофуран — обладают сопоставимой растворяющей способностью, однако опасны в той или иной степени, а в некоторых случаях представляют еще большую опасность для производства, чем хинолин. Несмотря на более высокую токсичность по сравнению с углеводородными растворителями, применение хинолина в данной системе технологически оправдано, поскольку обеспечивает необходимую селективность и эффективность экстракции. В качестве растворителя парафинового ряда был выбран керосин — наиболее доступный парафиновый компонент.

Для выявления зависимости группового углеводородного состава каменноугольного пека от соотношения пек : двухкомпонентный растворитель (1:2,5) было подготовлено 6 образцов пека при различном соотношении хинолин : керосин. Основные параметры процесса экстракции:

время экстракции – 120 минут, время отстоя 180 минут, температура экстракции – 130 °С.

По результатам экспериментов составлены материальные балансы и построены диаграммы распределения α-, β- и γ-фракций между экстрактом и остатком в зависимости от соотношения компонентов растворителя (рис.1-3).

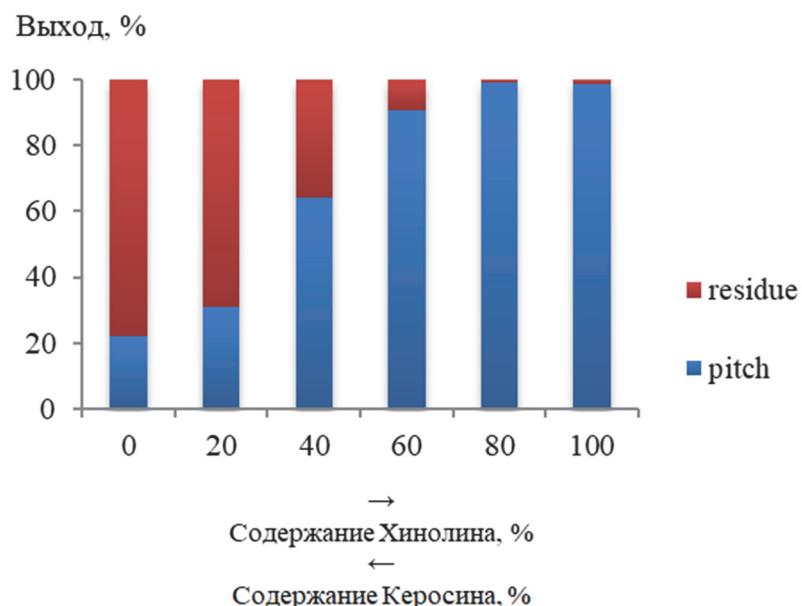


Рисунок 1 – Выход экстракта и остатка в зависимости от соотношения растворителей

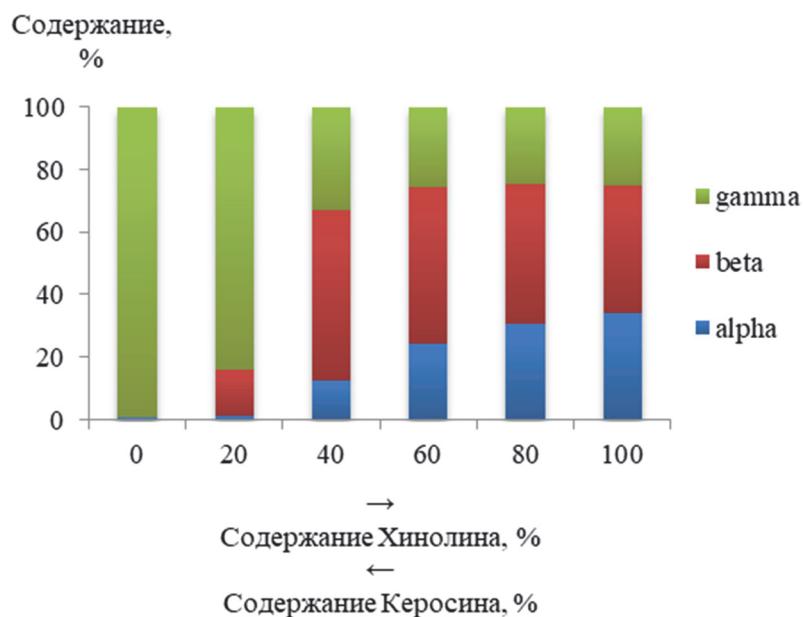


Рисунок 2 – Изменение группового углеводородного состава подготовленного пека в зависимости от соотношения растворителей

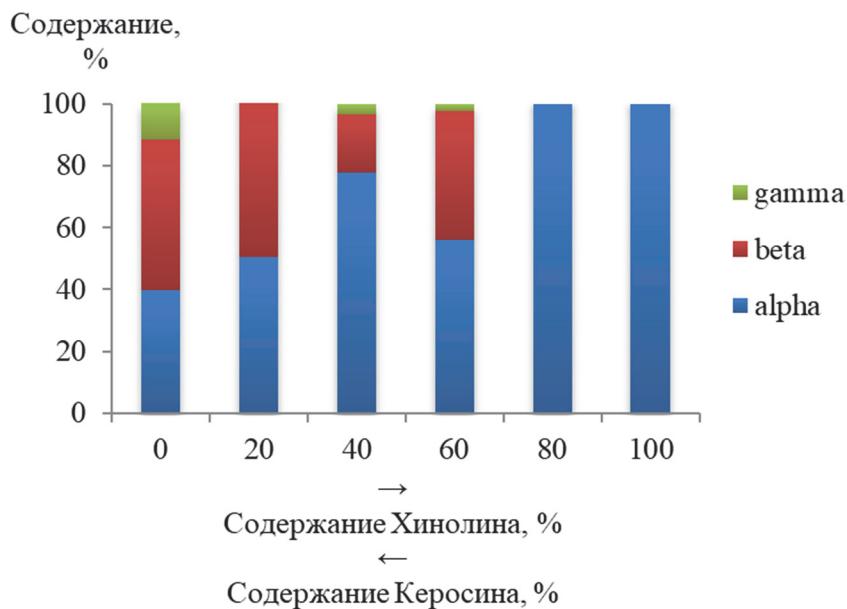


Рисунок 3 – Изменение группового углеводородного состава остатка в зависимости от соотношения растворителей

Максимальный выход экстракта для данных условий процесса экстракции наблюдается при соотношении хинолин : керосин – 80:20. Однако, первостепенно при выборе технологических параметров процесса экстракции (соотношение растворителей и исходного пека) следует ориентироваться на групповой углеводородный состав пека экстракта, так как данный параметр является определяющим при получении высококачественных углеродных материалов.

При соотношении хинолин : керосин 40:60 выход экстракта составляет 64 % масс., что меньше, чем при 80:20, но именно при 40:60 формируется оптимальный состав для получения игольчатого кокса: содержание α-фракции менее 12,4 %масс, максимальное содержание β-фракции ~ 55 %масс и γ-фракция, доля которой составляет ~32 %масс.

В остатке после экстракции преобладают карбены и карбоиды (α-фракция), а также β-фракция. При использовании чистого керосина γ-фракция извлекается практически полностью (~ 90 %). При чистом хинолине и при соотношении 80:20 остаток почти полностью состоит из α-фракции.

Несмотря на то, что хинолин действует как растворитель, его использование в чистом виде не позволяет получить требуемый групповой состав из-за низкой селективности: он переводит в экстракт практически все компоненты пека, кроме карбоидов, что приводит к избыточному содержанию α-фракции. Чтобы повысить селективность, в систему вводится керосин — преимущественно парафиновый компонент с небольшой долей ароматической части, который работает не

только как растворитель, но и как разбавитель, снижает вязкость системы «пек–хинолин–керосин» и улучшает условия массопереноса.

Для сокращения времени экстракции необходимо ускорить диффузионные процессы и улучшить растворяющую способность экстрагента путем повышения температуры или увеличения концентрации растворителя в системе. Изменение давления в этом случае не окажет существенного влияния на протекающие процессы массопереноса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang Z, Wang Z, Zhang L, Cui J, Guo S, Ji H, et al. Study on the co-carbonization behavior of high-temperature coal tar pitch and raffinate oil of low-temperature coal tar. // Fuel. 2022. Vol. 310.
2. Zhu Y, Zhao C, Xu Y, Hu C, Zhao X. Preparation and Characterization of Coal Pitch-Based Needle Coke (Part I): The Effects of Aromatic Index (fa) in Refined Coal Pitch. // Energy and Fuels. 2019. Vol. 33(4), 3456–3464. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b00160>.
3. Zhu Y, Hu C, Xu Y, Zhao C, Yin X, Zhao X. Preparation and Characterization of Coal Pitch-Based Needle Coke (Part II): The Effects of β Resin in Refined Coal Pitch. // Energy and Fuels. 2020. Vol. 34. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b03406>.
4. Zhu Y, Liu H, Xu Y, Hu C, Zhao C, Cheng J, et al. Preparation and Characterization of Coal-Pitch-Based Needle Coke (Part III): The Effects of Quinoline Insoluble in Coal Tar Pitch. // Energy and Fuels. 2020. Vol. 34. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c01049>.

УДК 622.012:331.45

Ивахнюк Г.К., Фокин Д.Р.
(Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический университет))

СИНЕРГИЗМ ВЛИЯНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА НА ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ МЕТАНОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Введение. Развитие мировой горнодобывающей отрасли характеризуется постоянным усложнением условий, вызванным ростом геомеханических и геодинамических рисков, ужесточением требований к промышленной безопасности, технологическому оснащению и квалификации персонала. Несмотря на это, в мире ежегодно фиксируется более 150 аварий на горнодобывающих объектах. Количество человеческих

жертв и экономических потерь с каждым днем увеличивает значимость промышленной безопасности. Наиболее частой причиной трагедий остаются взрывы и возгорания метана и иных взрывоопасных смесей газов, которые не были своевременно выявлены и нейтрализованы. Однако вопрос синергизма этих газов и влияния на кинетику горения не изучен в должном объеме.

Увеличение рынка сбыта природного (СПГ) и углеводородных (СУГ) газов из-за перехода на экологически чистые источники энергии и экономической выгодой является причиной обновления существующей нормативной документации по обращению с данными продуктами горной отрасли. Переход на использование СУГ, как топливо для горных машин и транспорта по аналогии с автомобильным транспортом или использование в газогенераторах и тепловых установках в горных выработках образует новые причины возникновения рисков. Нормативный состав СПГ устанавливается согласно ГОСТ 34894-2022 и регламентирует возможные показатели метана в нем, но не других горючих газов. Тем не менее, получение метановоздушной смеси с пропаном, бутаном и изобутаном для каменноугольных шахт не редкость.

Методика исследования. Исследование проводилось в теоретическом и эмпирическом формах. [1,2] Рассматривались смеси метана и СУГ в разных концентрациях с шагом 10%.

Для расчета НКПР смеси использовалось правило Ле Шателье в формуле:

$$НКПР_{смеси} = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{НКПР_i}},$$

где φ_i -Объемная доля i-го компонента в смеси, выраженная в процентах; $НКПР_i$ - Нижний концентрационный предел распространения пламени для чистого i-го компонента (в % об.).

Полученные расчеты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – НКПР смеси метана и СУГ по правилу Ле Шателье

Доля Метана в смеси, %	Доля СУГ в смеси, %	Теоретический НКПР смеси, % об.
40	60	2,38
50	50	2,57
60	40	2,81
70	30	3,09
80	20	3,43
90	10	3,85
100	0	4,4

Получение экспериментальных данных проводилось на установке по определению концентрационных пределов распространения пламени в газовоздушных смесях (Рис.1) на кафедре инженерной защиты окружающей среды Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета).

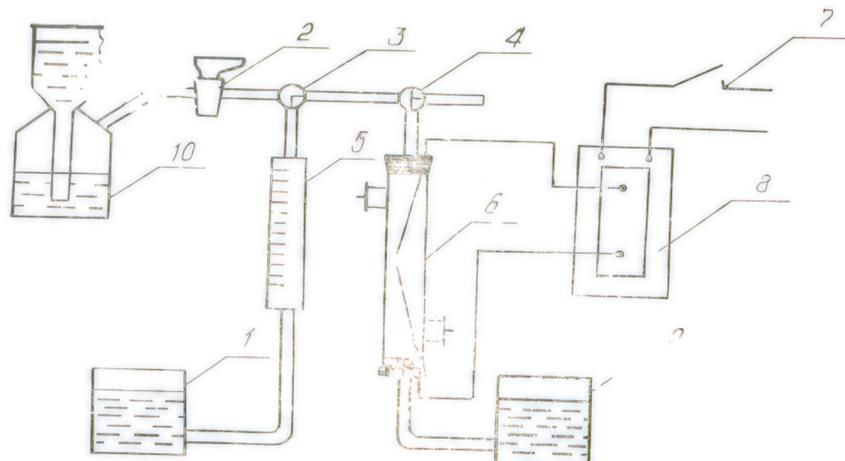


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для определения концентрационных пределов распространения пламени

Сущность метода определения концентрационных пределов распространения пламени заключается в зажигании газовоздушной смеси в объеме взрывного цилиндра и установления факта наличия или отсутствия распространения пламени. Изменяя концентрацию горючего в смеси, устанавливают ее минимальное и максимальное значения, при которых происходит распространение пламени. Установка состоит из взрывного цилиндра 6 с предохранительными клапанами, мерного цилиндра 5 для забора газа, двух аспираторов с водой 1,9 и газометра 10. Мерный цилиндр градуирован на 45 см³. сверху имеет трехходовой кран 3, а снизу резиновым шлангом соединен с аспиратором 1. Взрывной цилиндр 6 объемом 200 см³ изготовлен из пирекса, в верхней и нижней частях плотно закрыт резиновыми пробками, через которые пропущены два медных электрода, соединенных с индуктором ВИ-100 8, предназначенный для создания искрового разряда нажатием кнопки 7. Сверху взрывной цилиндр с помощью крана 4 соединен с мерным цилиндром 5 и атмосферой. Снизу взрывной цилиндр соединен резиновым шлангом с аспиратором 9, предназначенным для забора необходимого количества воздуха.

Для работы использовался СУГ из универсального газа и метан из магистрального газоснабжения. Для смешения газов в газометре за счет диффузии выделялось 5-10 минут. При заборе во взрывной цилиндр

смеси газов и воздуха устанавливалась выдержка 1-2 минуты для создания равномерной концентрации по всему объему взрывного цилиндра.

Результаты исследования и их обсуждение. Различия в геометрических формах взрывного цилиндра, состава с примесями СУГ и метана могут влиять на параметры концентрационных пределов, для их исключения получены значения НКПР газов до смешения 4,6% и 2,4% соответственно.

По результатам более 170 экспериментов были получены закономерности для определения нижнего концентрационного предела распространения пламени смеси метана и пропана, бутана, изобутана. Результаты представлены на рисунке 2. При добавлении в метановоздушную смесь СУГ общий НКПР снижается и становится меньше НКПР метана (4,4%). В смеси, где содержание метана менее 40% НКПР стремится к значению НКПР СУГ.

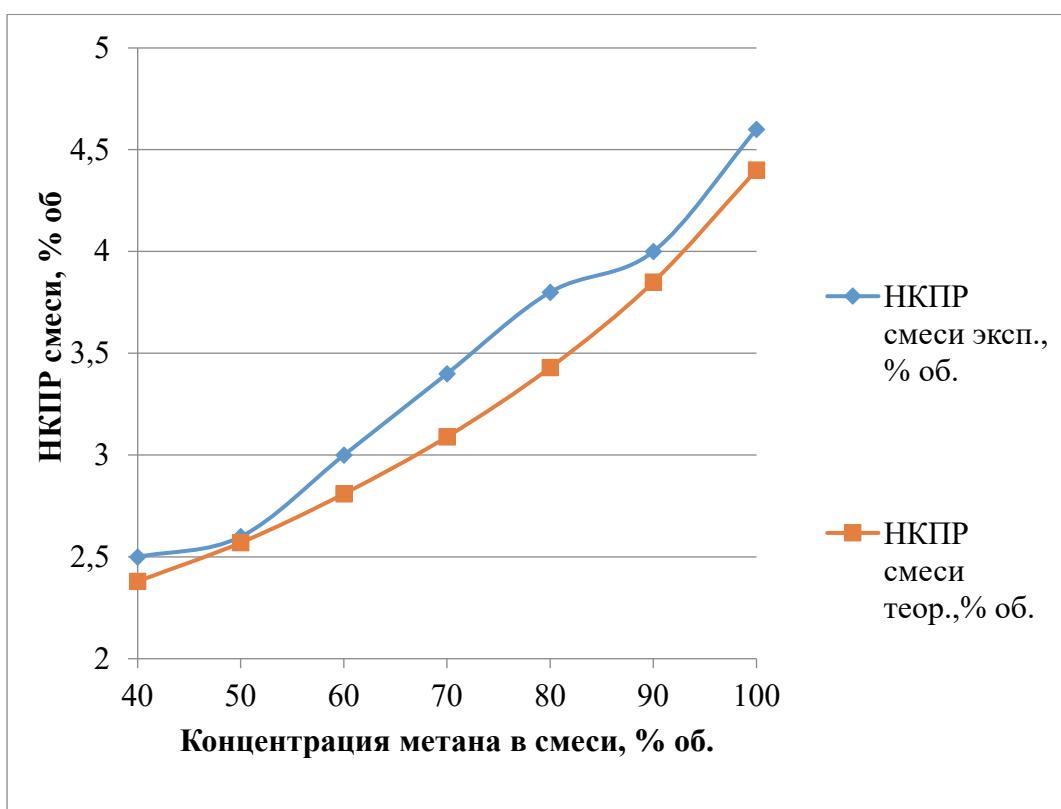


Рисунок 2 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений НКПР смеси метана и СУГ

Результаты теоретических расчетов завышают НКПР реальный. Необходимо продолжение работы в данном направлении с добавлением других газов и использованием технических газов для уменьшения погрешности. [3]

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние состава сжиженного природного газа на концентрационные пределы распространения пламени / И. А. Тетерин, В. А. Сулименко, М. А. Гудков [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2023. – № 2. – С. 26-32. – DOI 10.25257/FE.2023.2.26-32. – EDN ESBTKU.

2 Luo Z., Liang H., Wang T., Cheng F., Su B., Liu L., Liu B. Evaluating the effect of multiple flammable gases on the flammability limit of CH₄: Experimental study and theoretical calculation. Process Saf. Environ. Prot. 2021. № 146. Pp. 369-376. DOI:10.1016/j.psep.2020.09.023

3. Fokin, D. R. Synergistic effect of trace impurities on oxidative processes in methane-air mixtures / Science and Technology: 21st Century Advances : VII научно-практическая конференция аспирантов и магистрантов, Санкт-Петербург, 27 февраля 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), 2025. – Р. 44. – EDN WDPMDB.

УДК 665.6/.7

Сергеев В.А., Морозова Т.Д., Шакирова О.Г.
(Комсомольский на Амуре
государственный университет)

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩУЮ ОТРАСЛЬ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОЛЕФИНОВ

Олефины - одни из самых востребованных соединений, получаемых в ходе переработки нефти и газа. Они используются в химической промышленности для получения различных полимеров, таких как: полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), полистирол (ПС) и др., наравне с этим олефины востребованы в химическом синтезе.

В связи с этим возникает вопрос о их наиболее целесообразном получении. Переработку сжиженного природного газа (СПГ) в современном мире практически ничем нельзя улучшить в плане глубины переработки, однако мы можем усовершенствовать технологии переработки сырой нефти с целью повышения выхода не только олефинов, но и других ценных продуктов: ароматических углеводородов и легких бензиновых фракций.

На сегодняшней день проблема заключается в малой доле этилена, получаемого такими способами, как пиролиз углеводородов, крекинг

нефтепродуктов, дегидратация этилового спирта. При использовании в качестве сырья прямогонного бензина выход этилена составляет примерно 30%, при этом одновременно с этиленом образуется значительное количество жидких углеводородов, в том числе ароматических. При пиролизе газойля выход этилена ~ 15–25%. Наибольший выход этилена (до 50%) достигается при использовании в качестве сырья насыщенных углеводородов: этана, пропана и бутана, их пиролиз проводят в присутствии водяного пара (паровой крекинг при температуре 850 °C).

В общем случае использованием различных инновационных катализаторов, введением новых технологических установок, а также рециркуляцией получающихся в процессе фракций на другие установки, мы смогли бы увеличить выход олефинов. На основании анализа результатов научной деятельности коллег в нефтехимической отрасли, нами была разработана технологическая схема, объединяющая предлагаемые нововведения (рис. 1).

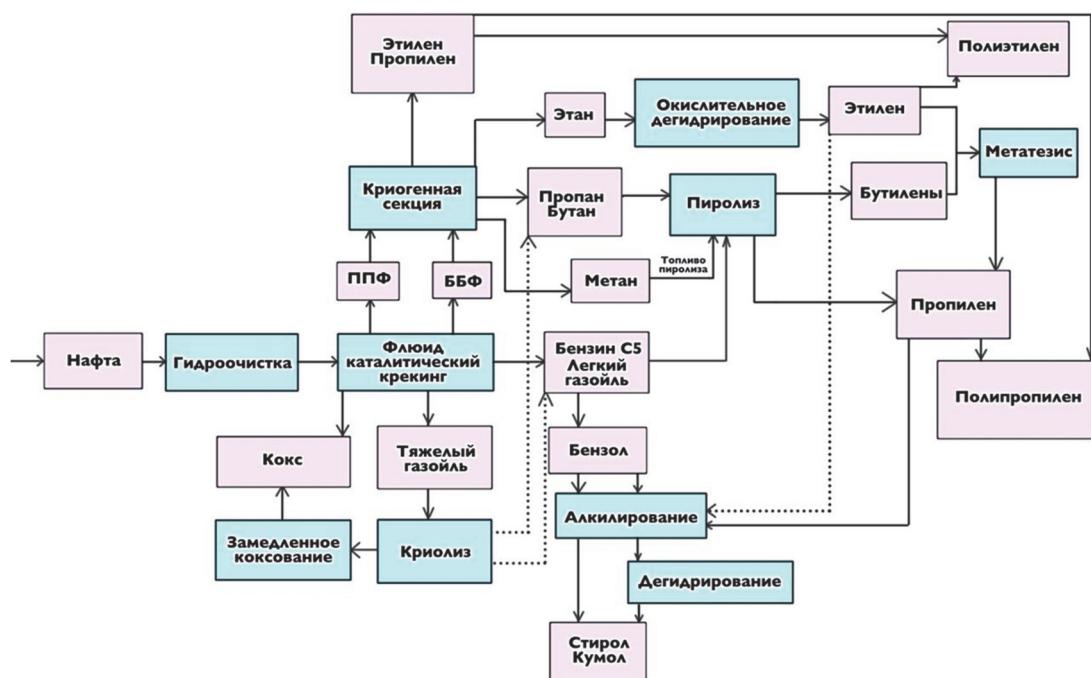


Рисунок 1 – Технологическая схема получения низших олефинов

Основным сырьем для катализитического крекинга и пиролиза в предлагаемой технологической схеме являются прямогонные бензиновые фракции, легкие газойли, нафта и насыщенные газы C1-C4, которые сразу после получения с установки первичной перегонки сырой нефти отправляются на гидроочистку, с целью избавления от вредных примесей, которые могут отравлять катализаторы.

После гидроочистки смесь углеводородов (УВ) направляется на усовершенствованную Сун Цоем и коллегами (RU2404152C2) установку

флюид каталитического крекинга (ФКК) с быстрой флюицизацией, позволяющей наиболее эффективно контролировать потоки сырья и катализатора. В самом процессе ФКК мы предложили использовать катализатор, разработанный Дорониным В. П. и коллегами (RU2709521C1). Данный катализатор представляет собой ZSM-5 с модифицированной фосфором матрицей и проявляет высокую селективность к выходу легких олефинов.

После ФКК стоит задача наиболее точечного разделения получившейся смеси на составляющие, а именно на насыщенные (С1-С4) и ненасыщенные (С2-С4) газы. С этим наиболее эффективно справится криогенная секция (КС), которая разделяет газы по температуре сжижения и основана на работах Жана-Пьера Транье (RU2761562C2) и Гаррольда М. Р. с соавтором (RU2039329C1).

Разделенные компоненты отправляются на параллельные установки. Метан используется в пиролизе как топливо для снижения издержек производства. Этан поступает на установку окислительного дегидрирования (ОД), в которой достигается его конверсия до 80% с селективностью к этилену до 98% при использовании в качестве катализатора MoVNbTeO_x, разработанного Юйсинь Чэнем и коллегами [1]. Далее после ФКК и ОД, большая часть получившегося этилена поступает на установку полимеризации для получения полиэтилена, а около 10% этилена направляется на установку метатезиса с бутиленом с целью повышения выхода более ценного пропилена по сравнению с бутиленом. Также некоторая доля этилена направляется в реакторы алкилирования ароматических УВ с целью получения стирола. Эффективность реакции метатезиса и ее продуктный выход оценены Чанцзи Ваном и другими в работе [2].

Пропан, бутан, бензин С5 и легкие газоиль далее перерабатываются на установке каталитического пиролиза. С целью снижения энергозатрат процесса к внедрению рассматривается технология по модернизации реакторов пиролиза Сундарам К. М. (RU2663622C1). А также с целью повышения выхода низших олефинов предлагается катализатор пиролиза, запатентованный Ерофеевым Е.И. и коллегами (RU2238142C2).

С целью выделения остатков легких фракций тяжелый газоиль, полученный с ФКК, отправляется на установку криолиза (вымораживанию в определенных технологических режимах с последующей отгонкой светлых топливных фракций). Способ переработки вакуумного газоиля, заключающийся в физическом разделении на фракции, где для увеличения выхода наиболее ценных светлых топливных фракций продукт вакуумной перегонки мазута (вакуумный газоиль) подвергают криолизу при температуре не выше -35°C в течение не менее 20 ч с предварительным введением в него донорной присадки (воды) не менее 0,5% к весу газоиля, описывает Копыл Н. В. с соавторами в своем патенте (RU2628508C1). Далее легкие фракции возвращаются в цикл

переработки, а тяжелый остаток поступает на установку замедленного коксования для получения товарного кокса.

Так, предложенная схема является перспективным вариантом повышения глубины переработки нефти, а также повышения выхода товарных низших олефинов - этилена и пропилена, а также снижению доли образовывающегося в процессе переработки кокса. Строительство нового комплекса мощностью 100 тыс. тонн/год (со всеми нововведениями) оценивается нами в 34 млрд.руб. Проект характеризуется высокими показателями эффективности, такими как положительное значение NPV, высокий уровень IRR и привлекательный индекс рентабельности PI. Срок окупаемости DPP находится в разумных пределах.

Расчеты эффективности и сравнение методов переработки нефти представлены в таблице 1 и 2.

Таблица 1 – Расчет эффективности проекта

Параметр	Пиролиз	Кат. пиролиз	Кат. крекинг	Флюид крекинг
Выход первичных Парафинов	0	+83,33 %	+111,84 %	+116,66 %
Выход первичных Олефинов	0	+80,55 %	-5,5 %	+77,77 %
Средняя удельная стоимость продукта	0	-3,55 %	+14,79 %	+1,34 %
Глубина переработки нефти	84,55	91,67	90,25	91,67

Таблица 2 – Сравнительная таблица предложенного и традиционного методов переработки нефти на 1 тонну нефти

Продукт	Традиционный метод (Паровой крекинг + + термический пиролиз), кг	Предложенная комплексная циркулирующая схема, кг	Прирост, %
Этилен	300-360	400-450	+30-35
Пропилен	150-180	250-300	+60-70
Бутилены	50-70	80-100	+40-50
Стирол	0	50-80	Новый продукт
Кумол	0	30-50	Новый продукт
Товарный кокс	100-150	20-30	-80

ЛИТЕРАТУРА

- Chen, Yu. State-of-the-Art Review of Oxidative Dehydrogenation of Ethane to Ethylene over MoVNbTeOx Catalysts / Yu. Chen, B. Yan, Yi. Cheng // Catalysts. – 2023. – Vol. 13, No. 1. – P. 204. – DOI 10.3390/catal13010204.
- Remarkably enhanced performance of the metathesis reaction of ethylene and 1-butene to propene using one-step prepared W-MCM-41 catalysts / C. Wang, H. Li, F. Jiang [et al.] // RSC Advances. – 2019. – Vol. 9, No. 69. – P. 40618-40627. – DOI 10.1039/c9ra08646c.

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РЕСУРСА
И ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ ХРАНЕНИЯ
НЕФТЕПРОДУКТОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Резервуары вертикальные стальные (РВС) являются критически важными объектами в инфраструктуре нефтегазовой отрасли России, обеспечивая хранение значительных объемов углеводородов. Техническая безопасность РВС прямо влияет на экологические и промышленные риски. Традиционные методы оценки технического состояния, основанные на планово-предупредительных ремонтах и периодическом неразрушающем контроле (НК), отличаются высокой стоимостью, требуют длительного вывода оборудования из эксплуатации и не позволяют получить непрерывную картину деградации [1].

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью перехода к предиктивному обслуживанию (РdМ) на основе технологий Индустрии 4.0 – Интернета вещей (IoT), больших данных (Big Data) и искусственного интеллекта (ИИ). Целью статьи является анализ современного состояния и перспектив внедрения интеллектуальных методов для диагностики и оценки остаточного ресурса РВС, а также обзор пилотных проектов и программных решений, применяемых в Российской Федерации [2].

Интеллектуальный подход представляет собой не замену, а качественное усиление традиционных методов НК за счет применения алгоритмов машинного обучения (МО) для интерпретации и прогнозирования.

Современный тренд – цифровизация мониторинга резервуаров. Классические SCADA-системы продолжают использоваться для сбора данных с уровнямеров и датчиков на НПЗ и нефтебазах, обеспечивая автоматизацию учёта объёмов. Однако сегодня всё больше внедряются легковесные ПoT-системы: беспроводные сенсоры на базе LoRaWAN, NB-IoT и 4G/5G-связи, обеспечивающие удалённый и непрерывный мониторинг параметров резервуаров.

Интеллектуальный контроль основан на обработке данных, полученных с датчиков и систем НК. Выбор метода зависит от типа дефекта и целей мониторинга (таблица 1).

Представленные интеллектуальные методы кардинально усиливают традиционную диагностику за счет автоматизации анализа данных и прогнозирования. В отличие от разрозненных замеров, они обеспечивают непрерывный или высокочастотный мониторинг ключевых процессов деградации.

Таблица 1 – Сравнение типов интеллектуальных методов диагностики [2-5]

№	Метод	Характеристика	
1.	Акустическая эмиссия (АЭ)	Физический принцип	Регистрация упругих волн от растущих дефектов
		Алгоритмы ИИ/МО	CNN, DBSCAN, Random Forest
		Ключевые преимущества	<ul style="list-style-type: none"> – Точность классификации дефектов: до 92-95% после обучения на размеченных данных. – Раннее предупреждение: обнаружение активной коррозии под напряжением на 40-60% раньше, чем визуальные методы
		Ограничения	Высокая стоимость оборудования, сложность отделения полезного сигнала от технологических шумов
2.	Геодезический контроль (лазерное сканирование)	Физический принцип	Построение 3D-модели (облака точек)
		Алгоритмы ИИ/МО	Метод наименьших квадратов, регрессионный анализ
		Ключевые преимущества	<ul style="list-style-type: none"> – Точность измерений: ±1-3 мм для крупных объектов – Экономия времени: сокращение времени обследования на 70% по сравнению с традиционной тахеометрией
		Ограничения	Проводится периодически, а не непрерывно. Чувствительность к условиям среды
3.	Обработка УЗК-данных (ультразвуковой контроль)	Физический принцип	Измерение толщины стенки ультразвуком
		Алгоритмы ИИ/МО	K-Means, Матричное разложение, U-Net (для сегментации)
		Ключевые преимущества	<ul style="list-style-type: none"> – Автоматизация: обработка до 50 000 точек измерения за одну смену. – Прогноз коррозии: LSTM-модели прогнозируют остаточную толщину с ошибкой менее 5% на горизонте 2-3 года
		Ограничения	Требует доступа к поверхности, качество данных зависит от оператора
4.	Анализ временных рядов (IoT)	Физический принцип	Регистрация Т, уровня, давления, вибрации
		Алгоритмы ИИ/МО	LSTM, ARIMA, Prophet, Ансамбли деревьев
		Ключевые преимущества	<ul style="list-style-type: none"> – Прогноз аномалий: снижение количества внеплановых остановок на 25-35%. – Оптимизация ресурса: увеличение межремонтного интервала на 15-20% за счет предиктивной модели
		Ограничения	Требует установки большого парка датчиков и надежной связи

Акустическая эмиссия в реальном времени отслеживает активность растущих дефектов. УЗК-анализ выявляет и прогнозирует развитие коррозии по тысячам точек. Геодезический контроль с высочайшей точностью фиксирует деформации, а анализ временных рядов выявляет аномальные и изнашивающие режимы эксплуатации.

Ключевое преимущество – переход от констатации текущего состояния к прогнозу остаточного ресурса. Алгоритмы ИИ (LSTM, CNN, кластеризация) не просто обрабатывают данные, а выявляют скрытые закономерности, позволяя предсказать, когда параметры выйдут за допустимые пределы. Это позволяет перейти от планово-предупредительного ремонта к предиктивной модели, оптимизируя затраты и повышая безопасность [3].

Для РВС с известной историей деградации эффективно применение цепей Маркова. Эти модели позволяют на основе матрицы вероятностей перехода дефекта из одного состояния (например, «Допустимое») в другое («Критическое») прогнозировать время, когда вероятность достижения предельного состояния превысит допустимый риск (например, 5%). Это обеспечивает коррекцию нормативного срока службы с учетом фактической скорости деградации [4].

Интегральная сравнительная оценка интеллектуальных методов диагностики резервуаров на основе экспертного балльного анализа представлена в виде диаграммы на рисунке 1.

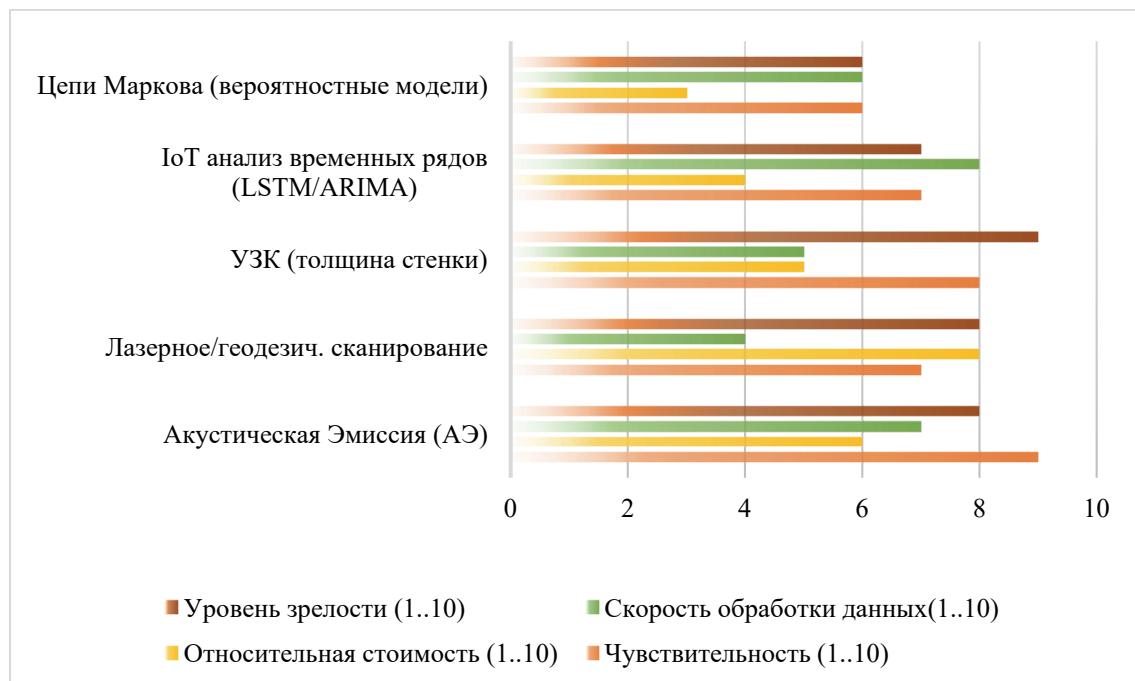


Рисунок 1 – Интегральная сравнительная оценка интеллектуальных методов диагностики резервуаров по экспертной шкале

К каждому методу присвоены оценки от 1 до 10 по четырем критериям. Такой подход позволяет визуализировать комплексное сравнение методов и определить их относительную эффективность при цифровизации диагностики РВС. Так, интеллектуальные методы мониторинга и диагностики резервуаров обеспечивают не только повышение надежности и безопасности, но и экономическую эффективность, а также соответствие трендам цифровизации нефтехимического сектора России.

Важным направлением исследований является верификация интеллектуальных методов на основе системного мониторинга показателей надежности. Адаптация нейросетевых подходов [2,5] для резервуарных парков позволяет создать унифицированную систему оценки ресурса. Особую перспективу приобретает разработка гибридных моделей, сочетающих физические законы деградации с машинным обучением, что особенно востребовано для российской нефтегазовой отрасли в условиях перехода к предиктивному обслуживанию.

Главным вызовом остается формирование единой нормативной базы, признающей результаты прогнозирования ИИ в качестве достаточного основания для принятия решений о продлении срока эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жданеев О. В. Перспективы технологий индустрии 4.0 в ТЭК России / О. В. Жданеев, В. С. Чубоксаров // Энергетическая политика. – 2020. – №. 7 (149). – С. 16-33.
2. Земенкова М. Ю. Интеллектуальный мониторинг состояний объектов трубопроводного транспорта углеводородов с применением нейросетевых технологий / М. Ю. Земенкова, Е. Л. Чижевская, Ю. Д. Земенков. // Записки Горного института. – 2022. – Т. 258. – С. 933-944.
3. Гизуллин В. И., Жданов Р. А. Диагностирование технического состояния резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов / В. И. Гизуллин, Р. А. Жданов // Инновации и инвестиции. – 2020. – №. 12. – С. 112-114.
4. Feng Y. Corrosion analysis and remaining useful life prediction for storage tank bottom / Y. Feng, Y. Yang, B. Huang // International Journal of Advanced Ro-botic Systems. – 2019. – Т. 16. – №. 5. – Р. 1-9
5. Земенкова М. Ю. Системный мониторинг показателей надежности объектов трубопроводного транспорта : 05.13.01 : дис. ... канд. техн. наук / М. Ю. Земенкова ; ТИУ. – Тюмень, 2007. – 187 с.

Стоколос О.А., Татур И.Р.,
Худойбердыева З.Д., Яковлева В.А.
(Российский государственный университет нефти
и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАФТЕНАТА МЕДИ НА ОКИСЛИТЕЛЬНУЮ СПОСОБНОСТЬ БАЗОВЫХ МАСЕЛ

При практическом использовании базовых масел одной из важных и значимых характеристик является окислительная стабильность, которая отражает способность масла противостоять или замедлять окислительный процесс. Подверженность высоким температурам на воздухе может пагубно влиять на смазочный материал. Происходящее при этом окисление ведет к загущению смазки и в конечном счете к образованию отложений и пробок, блокирующих важные смазочные каналы. С целью подавить окисление компонентов применяются деактиваторы металлов. Эти вещества эффективно защищают металлические поверхности и продлевают срок службы смазочных материалов. [1]

В работе представлены исследования каталитического действия нафтената меди на процесс окисления масел, эффективность которого проверялась известными товарными присадками на основе бензотриазола (Бетол-1) и толутриазола (Irgamet 39). В качестве объектов исследования использовали три товарных масла: базовое масло И-20А, масло базовое изопарафиновое VHVI-6, масло базовое полиальфаолефиновое ПАОМ-6 и две промышленные присадки: Бетол-1, производным бензотриазола и Irgamet 39 производное толутриазола, жидкий масло-растворимый деактиватор металлов. Нафтенат меди синтезировали на основе нафтеновых кислот, выделенных из нефти Анастасьевско-Троицкого месторождения.

Оценка окислительной стабильности проводилась по методикам оценки эксплуатационных свойств смазочных масел по СТО Газпром. Температура – 180°C, время окисления – 6 ч. Проводили оценку кинематической вязкости до окисления и после окисления и относительный прирост кинематической вязкости, а также кислотное число до окисления и после окисления и относительный прирост кислотного числа. Оценка эффективности деактиваторов исследована на образцах масел с содержанием нафтената меди 50 ppm. Деактиваторы Irgamet-39 и Бетол-1 вводились в масла в концентрациях 0,01, 0,03 и 0,05% масс. В таблице 1 представлены результаты оценки эксплуатационных свойств базовых масел.

Таблица 1 – Оценка окислительной стабильности базовых масел по кинематической вязкости и кислотному числу

Базовое масло	Кинематическая вязкость, мм ² /с		Относительный прирост вязкости, %	Прирост КЧ, мг КОН/г
	до окисления	после окисления		
И-20А	31,25	34,38	10,00	0,55
VHVI-6	29,93	34,08	13,85	0,99
ПАОМ-6	37,83	42,45	12,21	0,71

На рисунках 1-2 представлено влияние декативаторов металлов на относительный прирост кинематической вязкости и на рисунках 3-4 на прирост кислотного числа. Из графиков видно уменьшение относительного прироста вязкости, а также, уменьшение кислотного числа с увеличением концентрации присадки.

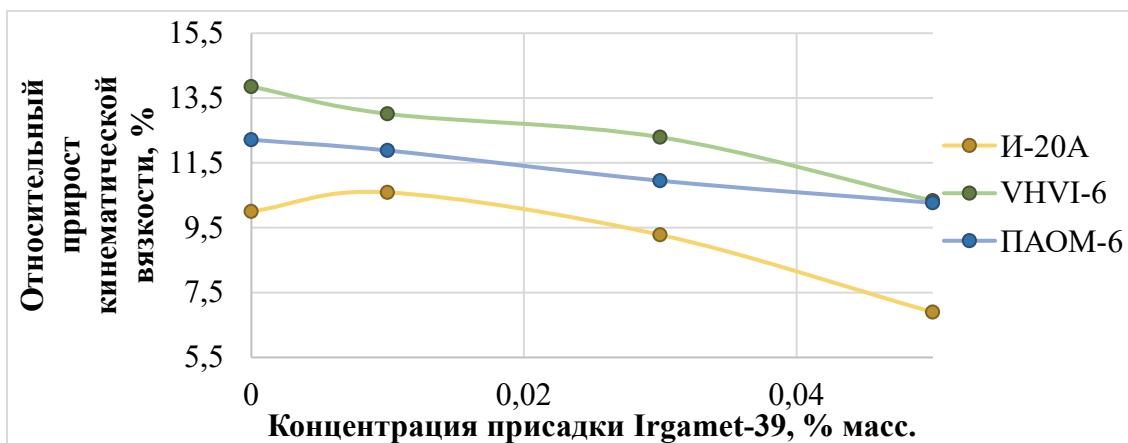


Рисунок 1 – Влияние деактиватора Irgamet-39 в концентрациях 0,01, 0,03 и 0,05% масс. на прирост кинематической вязкости трех базовых масел: И-20А, VHVI-6, ПАОМ-6 с нафтенатом меди

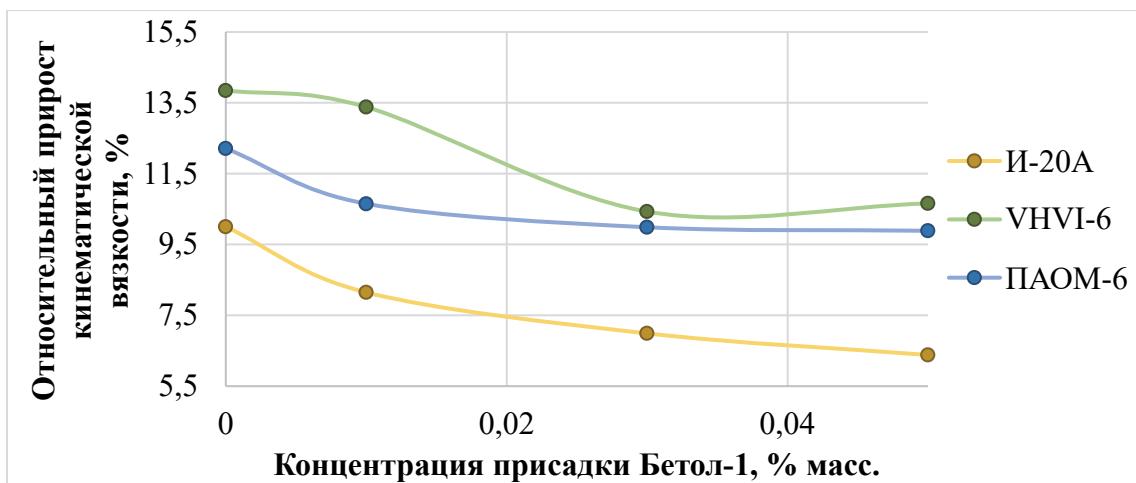


Рисунок 2 – Влияние деактиватора Бетол-1 в концентрациях 0,01, 0,03 и 0,05% масс. на прирост кинематической вязкости трех базовых масел: И-20А, VHVI-6, ПАОМ-6 с нафтенатом меди

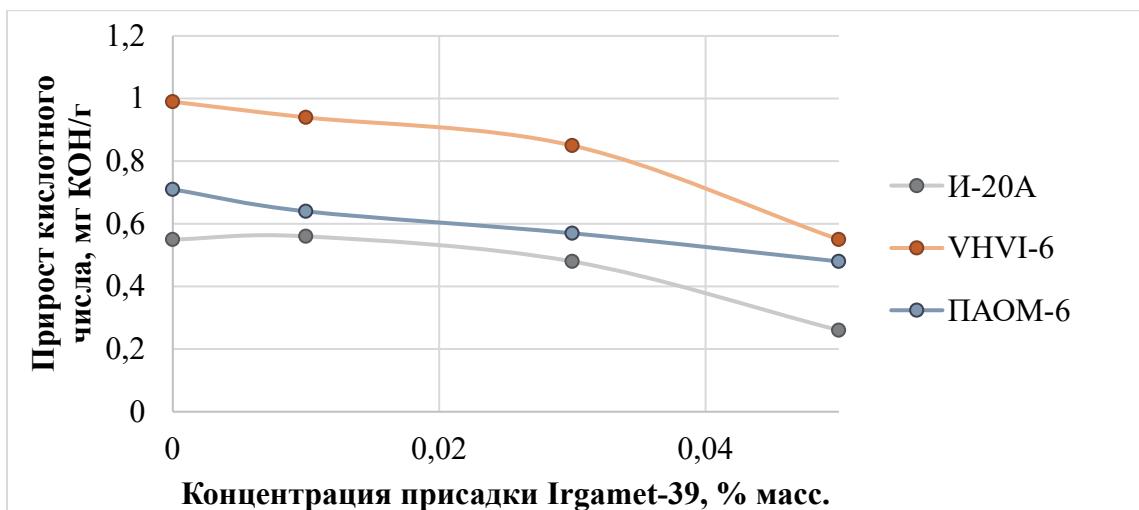


Рисунок 3 – Влияние деактиватора Irgamet-39 в концентрациях 0,01, 0,03 и 0,05% масс. на прирост кислотного числа трех базовых масел: И-20А, VHVI-6, ПАОМ-6 с нафтенатом меди

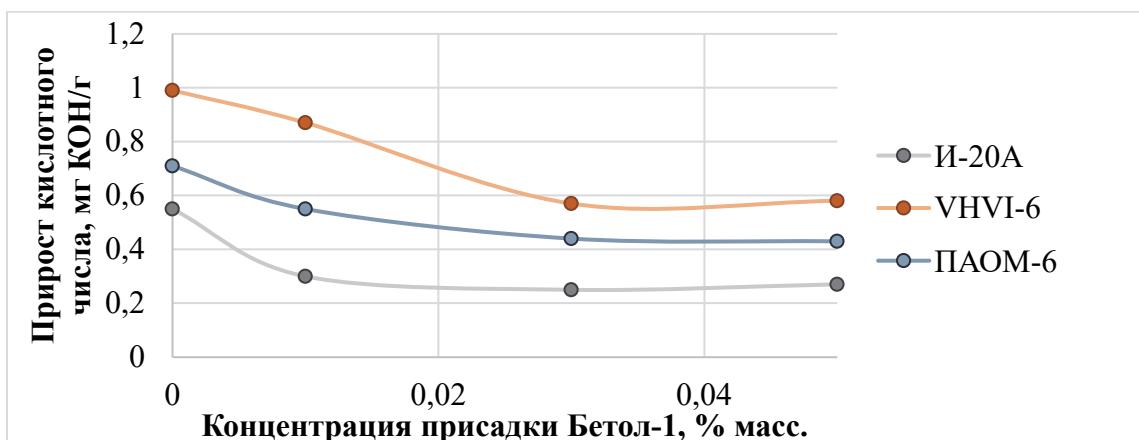


Рисунок 4 – Влияние деактиватора Бетол-1 в концентрациях 0,01, 0,03 и 0,05% масс. на прирост кислотного числа трех базовых масел: И-20А, VHVI-6, ПАОМ-6 с нафтенатом меди

По результатам оценки влияния деактиваторов металлов на окислительную стабильность масел в присутствии нафтената меди, следует отметить, что деактиватор металлов Бетол-1 эффективен при более низких концентрациях, чем деактиватор металлов Irgamet-39. При концентрации 0,03% масс. деактиватор металлов Бетол-1 проявляет максимальные деактивирующие свойства.

Определение окислительной стабильности по приросту кислотного числа окисленного масла относительно исходных базовых масел, показало наибольшие значения при наличии в базовых маслах И-20, ПАОМ-6, VHVI-6 также нафтенатов меди и составляет 0,55, 0,99 и 0,71 мг КОН/г, соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Татур И.Р. Энергетические масла: под ред. И.Р. Татура. – 2-е испр. /И.Р. Татур, И.В. Митин, Л. Н. Багдасаров, С.Б. Мишин. – М: Прoспект, 2021. – 568 с.

Удовенко Е.А., Габдулхаков Р.Р.

(Санкт-Петербургский Горный университет
Императрицы Екатерины II)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ОСТАТКА ГИРОКРЕКИНГА ГУДРОНА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ НА ЕГО ОСНОВЕ ПЕКОВОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация. В исследовании анализируется устойчивость остатка, полученного при гидрокрекинге гудрона, для оценки возможности его использования в производстве пекового материала методом термической поликонденсации.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Современная нефтеперерабатывающая промышленность активно развивается за счет внедрения процессов глубокой переработки нефти. К таким процессам относится гидрокрекинг гудрона, позволяющий получать светлые топливные фракции и тяжелый гидрокрекинг остаток (ГКО), массовая доля которого достигает 35-40% [1]. Особенности процесса и сырья обуславливают сложный химический состав ГКО, нестабильность его углеводородной системы и высокую концентрацию асфальтенов. Это создает необходимость в поиске эффективных способов дальнейшего использования и переработки данного остатка на нефтеперерабатывающих заводах [2].

Одним из перспективных направлений переработки ГКО является производство нефтяных связующих пеков. Основной задачей в получении пеков из ГКО становится корректировка их физико-химических и эксплуатационных свойств, в первую очередь - обеспечение стабильности, то есть предотвращение выделения асфальтенов в отдельную фазу на этапах хранения, транспортировки и термополиконденсации [1]. Для предотвращения расслоения требуется оптимизировать углеводородный состав, например, путем введения ароматических разбавителей, что значительно улучшает реологические характеристики ГКО.

Важным аспектом такой оптимизации является достижение такого соотношения компонентов, при котором содержание ароматических углеводородов обеспечивает необходимые эксплуатационные свойства, а уровень асфальтенов остается достаточно высоким, поскольку именно они во многом определяют свойства конечного пека.

В рамках проводимого исследования были определены физико-химические свойства остатка гидрокрекинга гудрона. Установлено, что стабильность исходного продукта не отвечает эксплуатационным требованиям и является недостаточной для получения пекового материала. Для ее повышения проводилось смешение ГКО с высокоароматическими нефтяными остатками, а именно: тяжелым газойлем каталитического крекинга, легким газойлем каталитического крекинга и тяжелой смолой пиролиза. Результаты показали, что такой подход позволяет повысить стабильность ГКО до уровня, необходимого для его применения в производстве связующих пековых материалов. В ходе термополиконденсации модифицированного ГКО было обеспечено отсутствие фазового расслоения и получен связующий пековый материал.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А., Габдулхаков Р.Р., Пягай И.Н. Научно-техническое обоснование возможности организации производства игольчатого кокса в России // Записки Горного института. 2023. Т. 263. С. 795-809. EDN: KYNHWL.
2. Newman J.W., Newman K.L., Olabi A.G. Pitch // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Elsevier, 2016. Р. DOI:10.1016/B978-0-12-803581-8.02315-8.

УДК 665.766.4-036.632(043)

Утенкова Т.Г., Габдулхаков Р.Р.
(Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II),
Кремчеев Э.А.
(Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»)

ТОНКАЯ ОЧИСТКА ФЕНОЛЬНОЙ СМОЛЫ – ТЯЖЕЛОГО ОСТАТКА КУМОЛЬНОГО ПРОЦЕССА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ

Фенольная смола — крупнотоннажный отход кумольного производства фенола, содержащий примеси солей, осложняющие переработку [1].

Перспективные направления её использования — извлечение ароматических соединений или создание новых материалов — ограничены высоким содержанием сульфата натрия, вызывающего коррозию, отравление катализаторов и ухудшение качества продукции [2].

Наиболее распространённый метод очистки — многоступенчатая водная экстракция, позволяющая достичь низкого содержания ионов, но требующая значительных водных ресурсов. В качестве альтернативы предлагается двухэтапный процесс: экстракционная подготовка с последующей тонкой очисткой с применением ионообменных смол [3].

В данном исследовании оценена возможность использования катионита для тонкой очистки предварительно подготовленной методом экстракции фенольной смолы. Проведено 7 серий экспериментальных исследований в статических и динамических условиях для оценки эффективности работы ионообменных смол в органических средах.

1 серия экспериментальных исследований была выполнена в статических условиях. Очищенную фенольную смолу смешивали с полярным растворителем (изопропиловым спиртом или метил-трет-бутиловым эфиром) в соотношении 80:20 и катионитом. Пробы перемешивали при 350-400 об/мин в течение часа: с изопропиловым спиртом при 60°C и pH 5-6; с МТБЭ при 40°C и pH 5-6.

2 - 5 серии экспериментальных исследований были выполнены в динамических условиях. Был собран лабораторный стенд, который включал в себя подогреваемую катионитную колонку высотой 74 см и диаметром 3 см, выполненную из стекла и устройство для подачи и обеспечения циркуляции фенольной смолы, которое включает в себя систему патрубков и перистальтический насос, через катионитную колонку (рис.1).

Смесь смолы с растворителем (80:20) циркулировала через катионитную колонку (250 мл) при 25°C. Исходное содержание ионов в фенольной смоле составляло: K⁺ 6.4 ppm, Na⁺ 35.4 ppm (серия 2) и K⁺ 2.6 ppm, Na⁺ 69.5 ppm (серии 3-5). После пяти часов работы катионитной колонки анализировали остаточное содержание ионов натрия и калия.

В серии 6 была оценена работа катионита в водно-органической среде (фенольная смола:вода:изопропиловый спирт - 1:0,4:0,1) в динамических условиях при 65-70°C. Пробы отбирались ежечасно для анализа содержания ионов K⁺ и Na⁺ (исходное содержание калия и натрия 10,3 и 127,6 ppm соответственно).

В серии 7 в статических условиях оценено время деактивации катионита при непрерывном перемешивании аналогичной смеси в течение 5 часов при 65-70°C с почасовым отбором проб.

Содержание ионов калия и натрия в фенольной смоле определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии.

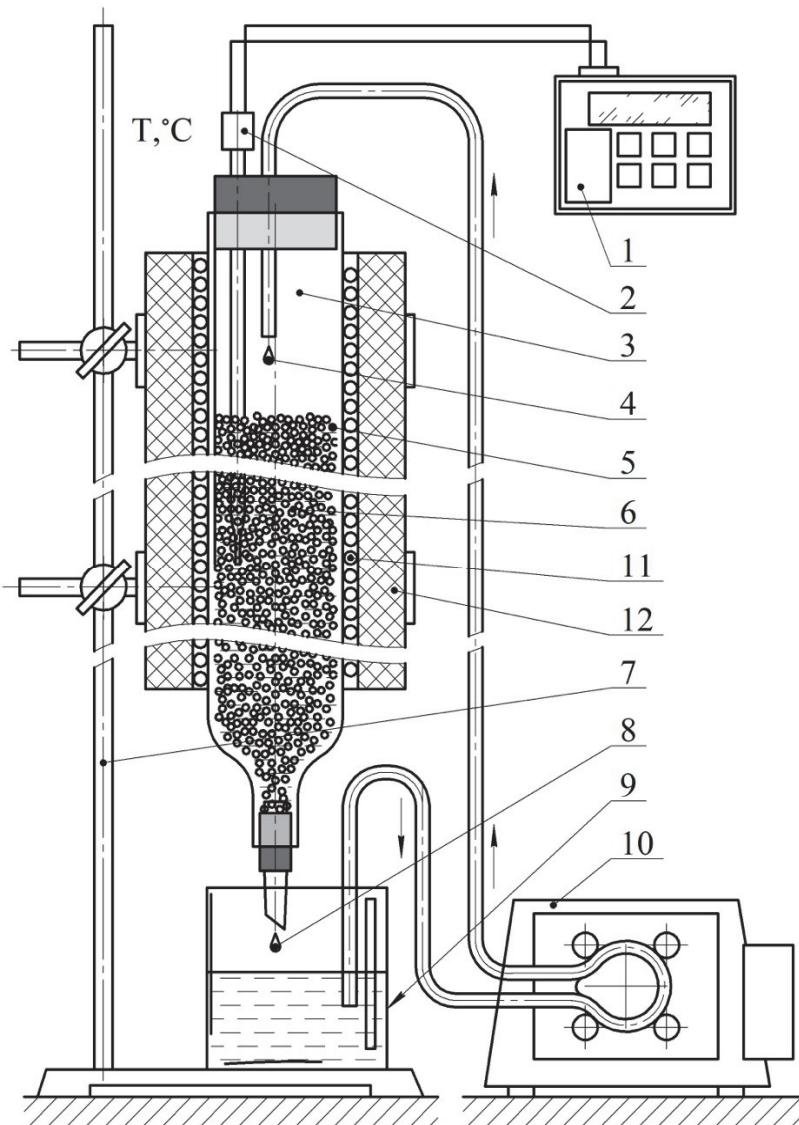


Рисунок 1 – Катионитная колонка

- 1 – Блок управления (контроль температурного режима); 2 – термопара;
- 3 – колонка; 4 – смесь (фенольная смола, растворитель); 5, 6 – слой катионита;
- 7 – штатив; 8 – очищенная смесь (фенольная смола, растворитель); 9 – приемная емкость;
- 10 – устройство для подачи смесь (фенольная смола, растворитель);
- 11 – нагревательный элемент; 12 – теплоизоляционный слой (выполнено автором)

В статических условиях (серия 1) использование изопропилового спирта и МТБЭ позволило достичь содержания ионов Na^+ 45,4/20,6 ppm и K^+ 7,64/4,7 ppm соответственно, подтвердив эффективность катионита в органических средах.

В динамических условиях (серия 2-5) наилучшие результаты показал изопропиловый спирт, тогда как ацетон и метанол оказались непригодны: ацетон – из-за высокого содержания примесей Na^+ , метанол – из-за низкой эффективности снижения вязкости.

В процессе тонкой очистки в водно-органических условиях (65-70°C, pH=1) в динамическом режиме (серия 6) минимальные концентрации ионов Na⁺ (15,0 ppm) и K⁺ (1,1 ppm) были достигнуты после 6 часов контакта. В статических условиях при аналогичных технологических параметрах (серия 7) истощение катионита наступало через 3 часа.

Проведенные исследования позволили установить, что многоступенчатая экстракция, обеспечивая глубокую очистку, характеризуется высокой ресурсоемкостью и значительными объемами сточных вод. Поэтому с точки зрения ресурсосбережения была рассмотрена возможность использования комбинированной технологии очистки фенольной смолы в два этапа: экстрактивная подготовка и тонкая очистка с применением ионообменных смол.

Экспериментально подтверждена работоспособность катионита в органических и водно-органических средах. В динамических условиях при температуре 65-70°C, соотношении смола:вода:изопропанол - 1:0,4:0,1 и времени контакта 6 часов эффективность очистки составила ~90% при исходном содержании ионов Na⁺ 128 ppm и K⁺ 10 ppm.

ЛИТЕРАТУРА

5. Dai X., Zhou W., Yang S., Sun F., Qian J., He M., Chen Q. Microchannel process for phenol production via the cleavage of cumene hydroperoxide // Chem. Eng. Sci. 2019. Т. 199. Р. 398-404. doi:10.1016/j.ces.2019.01.031
6. 26. Tang K., Zhang A., Ge T., Liu X., Tang X., Li Y. Research progress on modification of phenolic resin // Mater. Today Commun. 2021. Т. 26.
7. Selimi, J., Langschwager, F., Tunå P. Очистка липидного масла с использованием ионообменных смол. // Biomass Conv. Bioref. 2025. Т. 15. С. 5523–5531.

УДК 001.895:338.45:626

Авдейчик О.В.
(Гродненский государственный
аграрный университет)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ УСТОЙЧИВОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Экономическое функционирование Беларуси осуществляется в соответствии с государственной стратегией устойчивого социально-экономического развития на период до 2035 года [1]. Эта стратегия базируется на экономической, социальной и экологической составляющих.

Особое значение имеет экологическая составляющая, так как концепт устойчивого развития основан на снижении неблагоприятного техногенного воздействия на компоненты окружающей среды и сохранение природных составляющих для будущих поколений. Это определяет развитие энерго-материалосберегающих технологий в промышленном производстве для уменьшения количества технологических остаточных продуктов, определяемых как «отходы производства», в целях обеспечения концепта устойчивого развития [2].

При реализации основных требований концепта устойчивого социально-экономического развития основным направлением совершенствования хозяйственной деятельности считают создание технологий, обеспечивающих функционирование промышленных предприятий по замкнутому циклу. Задача реализации концепта замкнутого цикла состоит, прежде всего, в создании технологий получения товарной продукции с минимальными материальными и энергетическими затратами на субъекте хозяйствования с применением специальных технологий использования остаточных материальных и энергетических компонентов в собственном производстве. Замкнутый цикл будет сформирован только при использовании специальных технологий воздействия на остаточные продукты, что позволит их вернуть в сферу производства и использовать для получения полноценных товаров.

Для обеспечения экономики замкнутого цикла, на наш взгляд, целесообразно реализовать алгоритм производственной деятельности, основанный на использовании специальных технологических воздействий на остаточные продукты производства и амортизированные изделия (рисунок 1).

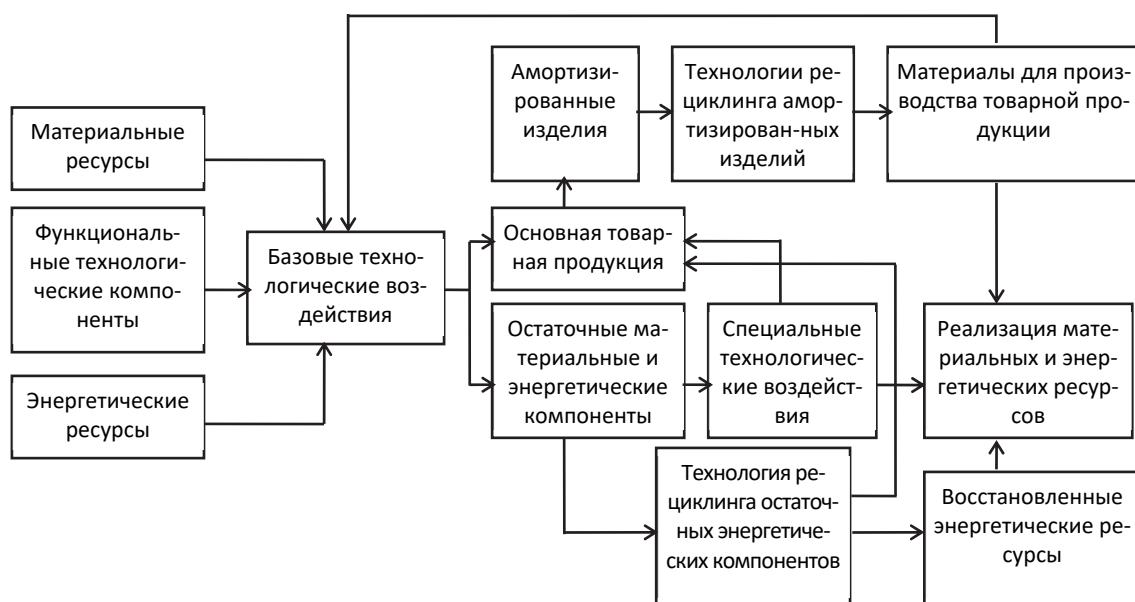


Рисунок 1 – Функциональная связь элементов замкнутого цикла

Это позволит не только вернуть в сферу производства остаточные материальные и энергетические ресурсы, сформировав экономику замкнутого цикла, но и существенно снизить негативное техногенное воздействие на компоненты окружающей среды путем рециклинга амортизованных изделий для использования полученных материалов для производства полноценных изделий различного функционального назначения.

Предложенный алгоритм находится в соответствии с концептом экологизированных предприятий, разработанным в [2], и обеспечивает решение многофакторной проблемы реализации концепта устойчивого социально-экономического развития с реализацией элементов замкнутого производственного цикла (рисунок 2).

В системе экологизированного предприятия под термином «технологическое воздействие» рассматривается комплекс мероприятий, направленных на снижение уровня остаточных материалов, образующихся в ходе изготовления основной продукции, и мероприятий, направленных на рециклинг амортизованных изделий – технологических, материаловедческих, инструментальных, организационных. Для выполнения подобного технологического воздействия необходимо проведение системных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке технологий, специального оборудования, составов композиционных материалов на основе регенерированных остаточных продуктов и оптимальной логистики. Для этого в системе промышленного предприятия целесообразно создание кластерной структуры, включающей интеллектуальные ресурсы научных, образовательных учреждений и ресурсов, имеющихся в распоряжении субъекта хозяйствования.

Формирование подобной кластерной структуры позволит интегрировать интеллектуальные ресурсы и достичь синергического эффекта в разработке новых технологий, материалов, оборудования для реализации концепта устойчивого социально-экономического развития хозяйственного комплекса Беларуси.

Анализ исследований, посвященных разработке методологии реализации стратегии устойчивого социально-экономического развития, свидетельствует о необходимости разработки технологий, формирующих замкнутый цикл в производстве изделий различного функционального назначения. Разработка технологий замкнутого (завершенного) цикла основана на системной научно-исследовательской деятельности в специализированных учреждениях и на промышленных предприятиях, направленной на снижение энерго-материалоемкости производства, разработку эффективных технологий рециклинга амортизованных изделий и получения регенерированных продуктов с заданными параметрами эксплуатационных характеристик.

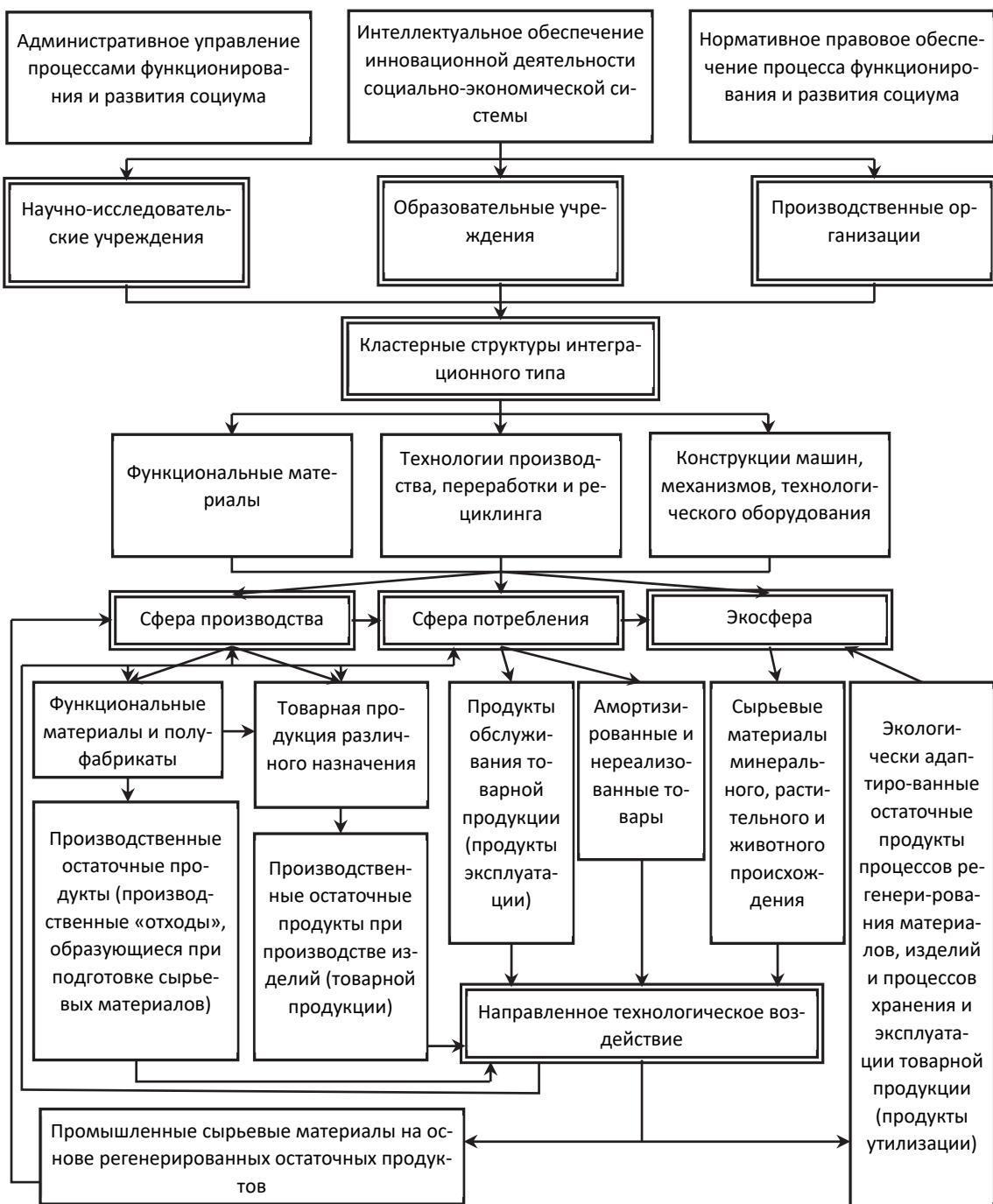


Рисунок 2 – Методология интеллектуального обеспечения национальной экономической безопасности устойчивого социально-экономического развития

Предложен методологический подход к формированию замкнутых циклов в промышленном производстве, который предполагает наличие специального технологического воздействия на остаточные продукты (отходы производства) и амортизованные изделия с целью превращения их в полноценные сырьевые полуфабрикаты. Данный методологический

подход эффективно реализуется в рамках концепта интеллектуального обеспечения инновационной деятельности промышленных предприятий путем создания кластерных структур научных, образовательных и производственных учреждений и организаций, которые обеспечивают реализацию концепта устойчивого социально-экономического развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 г. [Электронный ресурс] : 4 февраля 2020 г., протокол № 3 : одобр. Президиумом Совета Министров Респ. Беларусь // ЭТАЛОН-ONLINE / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2024.
2. Струк, А. В. Концепт «экологизации законодательства» в сфере рециклинга отходов промышленного производства / А. В. Струк, А. Г. Авдей, М. Г. Жук. – Минск : Право и экономика, 2019. – 305 с.

УДК 621.928.93

Мытько Д.Ю., Гребенчук П.С.

(Белорусский государственный
технологический университет,)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В ЦЕНТРОБЕЖНОМ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕ

Проблема защиты окружающей среды от загрязняющих газовых выбросов является крайне актуальной. Ежегодное увеличение объема пылевых выбросов из-за расширения промышленной деятельности может привести к существенному ухудшению качества атмосферного воздуха и негативным последствиям для здоровья населения. В связи с этим задачи, связанные с очисткой промышленных газовых выбросов, приобретают первостепенное значение с точки зрения санитарных, технологических и экономических аспектов.

Постоянный рост объемов пылеобразования в промышленности требует модернизации и повышения эффективности существующих систем пылеулавливания. Среди наиболее распространенных конструкций выделяются центробежные (циклонные) пылеуловители. Можно выделить 2 общих направления повышения эффективности их работы: конструкционное совершенствование, в том числе применение новых конструктивных решений, и выбор оптимальных режимных и геометрических параметров [1].

В данной работе рассмотрены результаты математического моделирования движения воздушного потока в корпусе циклона. RNG – модель была создана на основании общепринятых подходов с использованием уравнений Навье-Стокса [2] в ANSYS 2022R1, подраздел “Computational Fluid Dynamics”. Были выбраны 2 конструкции минициклонов: с цилиндрическим выходным патрубком и с выходным патрубком в форме усеченного конуса (рисунок 1). Моделирование проводилось при двух значениях средней скорости по сечению во входном патрубке: 16 и 24 м/с для обоих вариантов конструкций.

Были получены графики изменения статического давления, турбулентной кинетической энергии, полной скорости газового потока и осевой (вертикальной) составляющей скорости по диаметру циклона, а также планы распределения всех этих величин в продольном сечении аппарата. Здесь приведем результаты моделирования для циклона с цилиндрическим выходным патрубком и скоростью газа на входе 16 м/с.

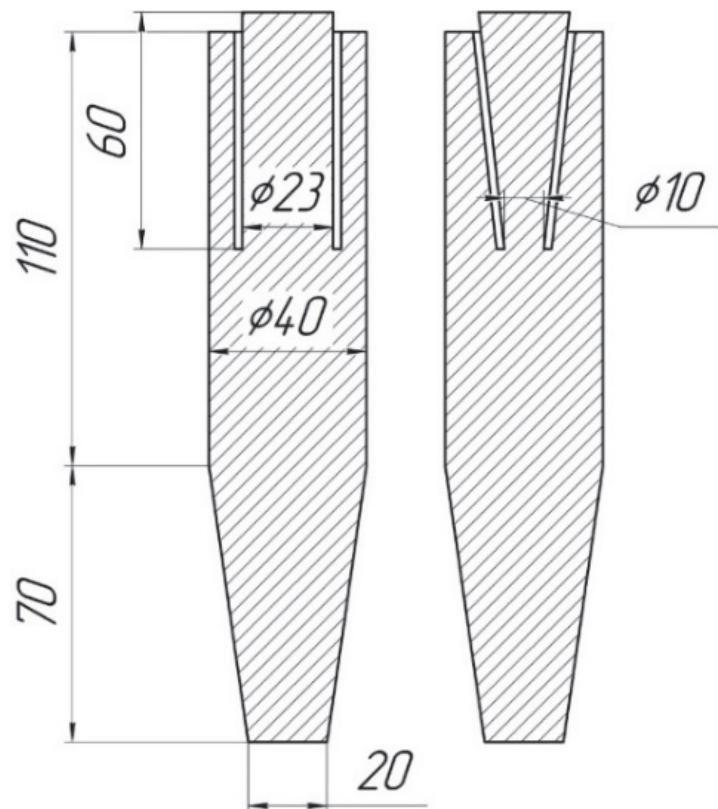


Рисунок 1 – Конструкции циклонов

На графике (рисунок 2) представлена зависимость статического давления (Static Pressure, Pa) от положения (Position, m) вдоль оси симметрии циклона. Кривые 11 – 17 обозначают положение поперечного сечения циклона по высоте, сверху вниз.

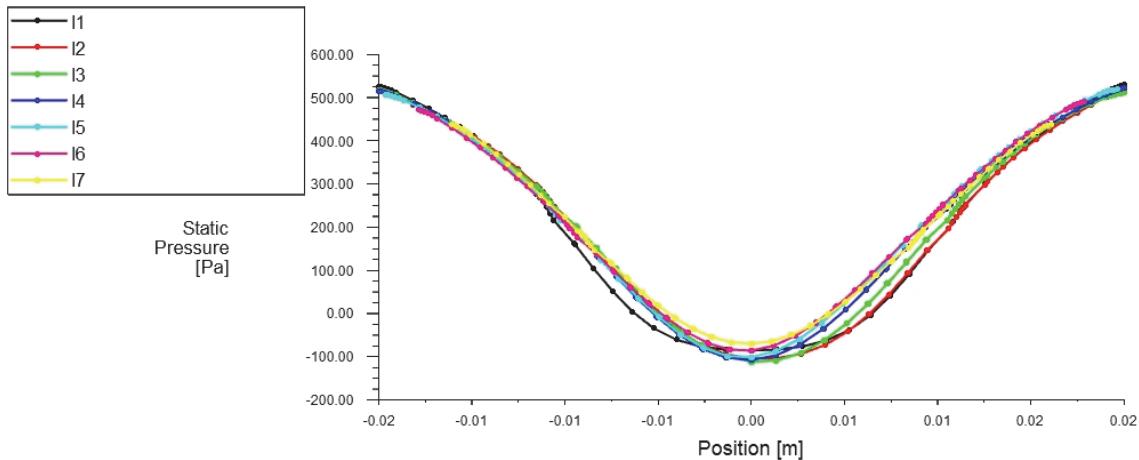


Рисунок 2 – График изменения статического давления по диаметру циклона

Из формы графика видно, что давление имеет симметричное распределение с минимальным значением в центре области и с увеличением на краях. Максимальное значение статического давления превышает 500 Па, а минимальное — около −200 Па (зона разрежения). Линии I1 – I7 имеют схожую форму, что говорит о близком поведении потока в разных сечениях.

Контурное изображение (рисунок 3) представляет распределение статического давления внутри циклона. В центральной части наблюдается область низкого давления, что соответствует минимальной точке на графике (рисунок 2). У краев области давление возрастает, что коррелирует с увеличением значений на графике. Градиент давления вдоль оси симметрии указывает на ускорение газа в узкой части аппарата.

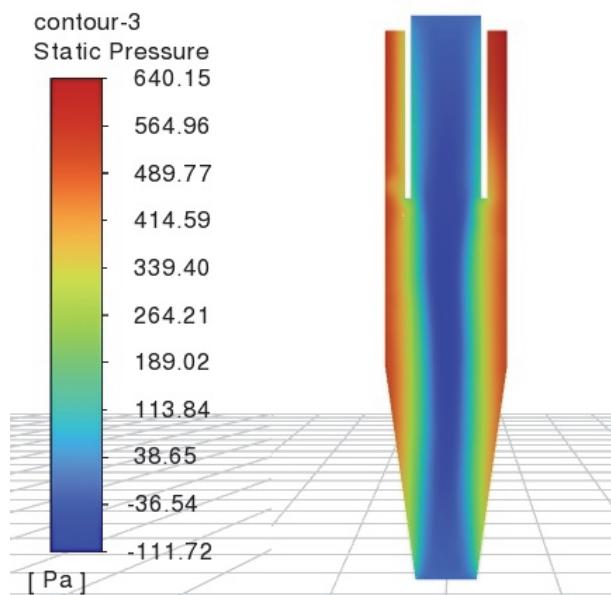


Рисунок 3 – Распределение статического давления в циклоне

На графике (рисунок 4) и на контурном изображении (рисунок 5) представлены результаты моделирования турбулентной кинетической энергии (TKE) в циклоне.

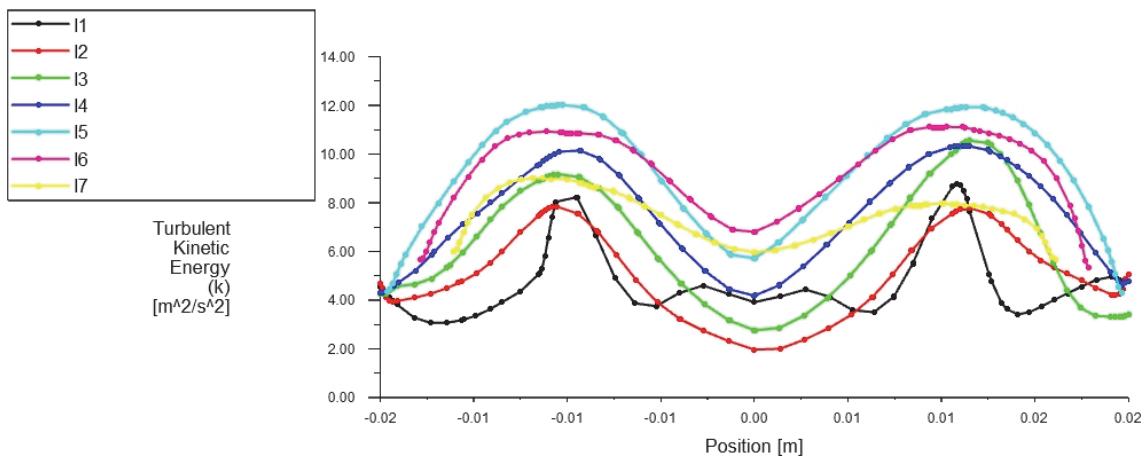


Рисунок 4 – График изменения турбулентной кинетической энергии по диаметру циклона

На изображении видны области с повышенными значениями ТКЕ, которые указывают на интенсивные турбулентные процессы. Эти зоны, как правило, связаны с резкими изменениями скорости или наличием сдвиговых слоев. Распределение ТКЕ симметрично относительно центральной оси, что указывает на правильность постановки задачи и граничных условий.

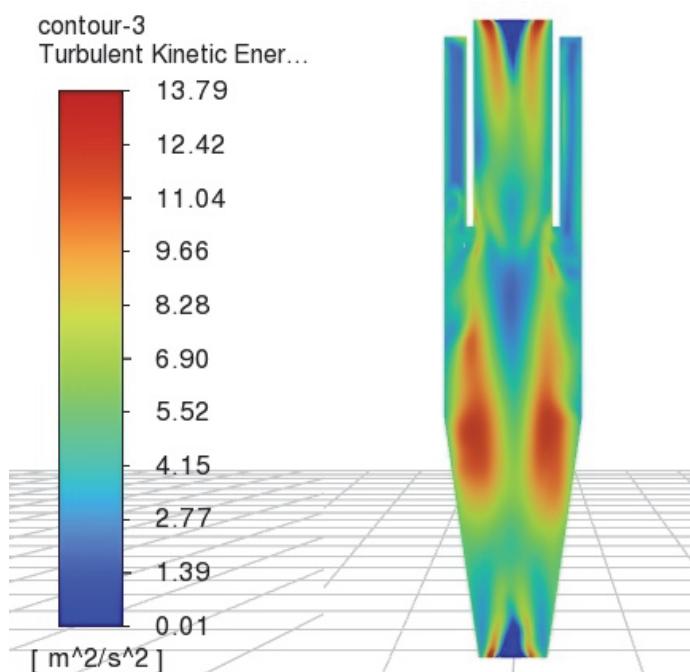


Рисунок 5 – Распределение турбулентной кинетической энергии в циклоне

Аналогичным образом ведет себя поток и в варианте конструкции с коническим выходным патрубком. Значения, полученные для полной и осевой скоростей газа, адекватны и согласуются со значениями давления в аппарате. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании циклонов различных конструкций и для выбора их оптимальных параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гребенчук, П.С. Применение рециркуляции потока для очистки газа от пыли / П.С. Гребенчук, Д.Ю. Мытько, Д.Н. Боровский // Горная механика и машиностроение. – 2022. №2: – С. 45–51.
2. Azadi, Meh. A CFD study of the effect of cyclone size on its performance parameters / Meh. Azadi, Moh. Azadi, A. Mohebbi // Journal of Hazardous Materials 182, 2010. – Р. 835–841.

УДК: 542.943.4:667.621.33

Алламырадов М.Н.

(Институт химии Академии наук Туркменистана,
Ашхабад, Туркменистан)

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОКИСЛЕННЫХ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ

Одной из основных причин досрочного вывода из эксплуатации асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог является то, что технические свойства применяемых дорожно-строительных битумов не соответствуют требованиям сегодняшнего дня. Учитывая технологии, используемые в развитых странах, эти требования могут быть адекватно выполнены за счет улучшения свойств, влияющих на качество дорожно-строительных битумов и асфальтобетонных покрытий, а также создания модификаторов, продлевающих срок их службы.

Производство модифицированного битума сегментируется по типу (стирол-бутадиен-стирол, атактический полипропилен, резиновый наполнитель, натуральный каучук и другие виды модификаторов), способу нанесения (метод холодного асфальта, метод факельного нанесения), области применения (дорожное строительство, трубопроводы и другие) и географии (Азиатско-Тихоокеанский регион, Северная Америка, Европа, Южная Америка, Ближний Восток и Африка) [1].

Согласно литературным данным, ожидается, что производство модифицированных битумов будет расти в среднем на 4% в год до 2028 года [2-4].

Одной из основных причин досрочного вывода из эксплуатации асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог является несоответствие

технических свойств используемых дорожно-строительных битумов современным требованиям. Удовлетворение этих требований может быть достигнуто путем создания модификаторов, улучшающих свойства, влияющие на качество используемых дорожно-строительных битумов и асфальтобетонных покрытий, и продлевающих срок их службы, с учетом технологий, применяемых в развитых странах.

В связи с этим в лаборатории химии и технологии нефти, газа Института химии АНТ также ведется диссертационная работа по разработке методов получения окисленных и модифицированных дорожно-строительных битумов.

В настоящее время проведены эксперименты по изучению физико-химического и группового состава образцов гудрона, привезенных из ТКНПЗ, а также по окислению гудрона и добавлению модификаторов. В результате этих экспериментов наблюдается улучшение качества гудрона. Содержание асфальтенов в гудроне составило 9,04%, смол – 19,61%, масел – 45,89%.

Из-за низкого содержания асфальтосмол в гудроне качество получаемого битума также невысокое. С этой точки зрения, необходимо правильно окислять и модифицировать битум. С увеличением содержания асфальтенов в битуме повышается его температура размягчения. С увеличением содержания асфальтенов качество битума повышается. С помощью асфальтенов повышается твёрдость битума и снижается температура разрушения (температура эластичности битума). Вязкость битума также зависит от структуры его компонентов, и увеличение этого показателя свидетельствует об улучшении его качества. Пенетрация характеризует твёрдость и эластичность битума [5].

Результаты, полученные при окислении гудрона и модификации пироисмолы – отхода производства завода полимеров – путем смешения ее с технической серой.

Таблица 1

№	Основные физико-химические свойства гудрона	Дорожно-строительный битум ГОСТ 22245-90		Окисленный битум, 1 час	Окисление и модификация гудрона $Q_{\text{воздух}} = 2 \text{ л/мин}, 240^\circ\text{C}$		
					30 мин $S_2 + \text{пиро-смола} + \text{гудрон}, 1\% + 1\% + 7\%$	30 мин $S_2 + \text{пиро-смола} + \text{гудрон}, 1\% + 1\% + 7\%$	30 мин $S_2 + \text{пиро-смола} + \text{гудрон}, 1\% + 1\% + 7\%$
		60/90	40/60	1	2,5%	4%	5%
Дуктильность, см. ГОСТ 11505-75	35,4	не менее 55	не менее 45	76	86,6	88,0	88,0

Окончание таблицы 1

№	Основные физико-химические свойства гудрона	Дорожно-строительный битум ГОСТ 22245-90	Окисленный битум, 1 час	Окисление и модификация гудрона $Q_{\text{воздух}} = 2 \text{ л/мин}, 240^\circ\text{C}$			
				30 мин S ₂ +пиросмола+гудрон, 1%+1%+7 %	30 мин S ₂ +пиросмола+гудрон, 1%+1%+7 %	30 мин S ₂ +пиросмола+гудрон, 1%+1%+7 %	
				60/90	40/60	1	
Температура размягчения Киш, °С ГОСТ 11506-73	42	не менее 47	не менее 51	51	48	47	49
Пенетрация, mm. ГОСТ 11501-78	135	не менее 61-90	не менее 40/60	55	104	112	74

В результате проведены эксперименты в соответствующих условиях по получению высококачественного битума из остаточного сырья гудрона ТКНПЗ и получены положительные результаты.

В перспективе разрабатываются благоприятные условия для производства окисленных и модифицированных дорожно-строительных битумов с использованием в качестве модификаторов ряда местных сырьевых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шрубок А.О., Грушова Е.И. Особенности жидкофазного окисления нефтяного гудрона в присутствии модификаторов // Нефтехимия. – 2017. – Т. 57. – № 5. – С. 545-550.
2. Гун Р.Б. Нефтяные битумы. – М.: Химия, 1989. –148 с.
3. Грудников И.Б. Производство нефтяных битумов. – М: Химия, 1983. – 192 с.
4. Розенталь Д.А. Нефтяные окисленные битумы. – Л.: Изд-во ЛТИ, 1973. – 47 с.
5. Shulga O., Maldonado R., Lewandowski L., Romagosa. Application of polyphosphoric acid for HMA modification.US and European experience // 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress. – Istanbul. – 13-15th June 2012. – A5EE-140.

УДК 665.63.002.68

Караханов В.А.

(Институт Химии Академии наук Туркменистана,
Ашхабад, Туркменистан)

**СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕШЛАМОВ,
ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ
ЗАВОДАХ ТУРКМЕНИСТАНА**

Изучен способ переработки нефтяных шламов Туркменбашинского комплекса нефтеперерабатывающих заводов (ТКНПЗ) и Сейдинского нефтеперерабатывающего завода (СНПЗ) газовым конденсатом и для сравнения в качестве экстрагента использовали прямогонный бензин и риформат, являющиеся полуфабрикатами предприятий. В результате проведенных исследований был сделан вывод о том, что газовый конденсат, используемый на заводе в качестве дополнительного сырья, может успешно применяться в качестве растворителя при переработке нефтяного шлама. Для более полного извлечения нефтепродуктов из нефтяных шламов, необходима их многоступенчатая переработка растворителем.

Определенное количество промышленных отходов образуется в каждой отрасли, включая производства нефтегазоперерабатывающей, химической промышленности. К таким отходам относятся нефтяные шламы, накапливаемые в амбарах, донных отложениях РВС, прудах дополнительного отстоя нефтеперерабатывающих заводов, которые представляют собой сложную многокомпонентную дисперсную смесь высокомолекулярных и окисленных углеводородов (смол, асфальтенов, парафинов), воды, солей, песка, тяжелых металлов и различных химических реагентов, используемых в процессе добычи, сбора, подготовки и переработки нефти. Нефтешламы являются самым значительным по массе отходом нефтегазовой промышленности.

За последние годы было разработано множество методов обработки нефтяных шламов, такие как окисление, отверждение/стабилизация, экстрагирование растворителем, ультразвуковая обработка, пиролиз, и др. [1-3]. Но ввиду сложной структуры нефтяных шламов, лишь некоторые из пречисленных методов могут соответствовать жестким требованиям охраны окружающей среды и низким затратам на обработку.

В качестве объекта исследования выбраны нефтяные шламы, образующиеся на нефтеперерабатывающих заводах Туркменистана, содержащие в своем составе нефть и нефтепродукты (производственное сырье), а также механические примеси и воду.

С целью утилизации нефтяных шламов в лаборатории “Химия и технология нефти и газа” Института химии Академии наук Туркменистана проведены исследования по выделению нефтепродуктов из нефтешламов путем их экстракционной переработки.

Предлагается использовать для переработки нефтяных шламов нефтеперерабатывающих заводах Туркменистана метод экстракции. В качестве растворителя предложено использовать газовый конденсат, который используется в качестве дополнительного сырья предприятия. Известно, что в газовых конденсатах содержатся углеводороды, как алканового, так и циклического ряда, чем и определяется его свойства, как растворителя. Анализ фракционного состава газовых конденсатов, использованного в работе в качестве растворителя, показал более высокое содержание фракций, соответствующих температуре кипения гексана и бензола в легких газовых конденсатах. Для сравнения, при переработке нефтяных шламов были использованы прямогонный бензин и риформат, являющиеся полуфабрикатами предприятий. Были изучены составы ряда нефтяных шламов. Поскольку конкретные стандартизированные методики для определения состава нефтяных шламов отсутствуют, были использованы методики определения состава, содержания воды и содержания механических примесей нефти и нефтепродуктов.

По стандартным методикам определили состав нефтяного шлама и содержание механических примесей [4-6].

Содержание органических компонентов и механических примесей в нефтяных шламах приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы соотношение компонентов проб нефтешламов разнообразны. Это еще раз демонстрирует влияние происхождения нефтяных шламов.

Пробы нефтяных шламов из разных резервуаров содержат 3,44, 4,412 % песка в РВС-№208, РВС-№216 и 56,48% в РВС-№246. Составы проб нефтяных шламов, отобранных в трех точках шламонакопителя СБО, по содержанию песка аналогичны, то есть находятся в пределах 62,37-62,92%. В пробе СМО содержание песка составляет 2,03 %.

Таблица 1 – Содержание химических компонентов и механических примесей в нефтяных шламах (без учета содержания воды)

Образцы ТКНПЗ	Механические примеси, %	Асфальтены, %	Смолы, %	Масла (углеводороды) %
РВС-246	56,48	2,36	3,65	37,51
РВС-208	3,44	38,08	15,06	43,41
РВС-216	4,412	12,312	31,18	52,09
Образцы СНПЗ				
СБО -1	62,84	1,8	15,96	19,4
СБО -2	62,37	1,79	16,24	19,6
СБО -3	62,92	1,73	16,05	19,3
СМО	2,03	7,87	17,58	72,52

Результаты содержания органических компонентов различных проб нефтяных шламов указывают на отсутствие какой-либо определенной закономерности их соотношения.

Для определения количества воды в нефтяных шламах отобранных проб был проведен эксперимент в соответствии с ГОСТ 2477-65 в аппарате Дина Старка.

Полученные результаты показали, что содержание воды в нефтяных шламах различно и составляет для образцов нефтяных шламах РВС-246, РВС-208, РВС- 216, соответственно 2,2%, 3,71% 1,15%, а для СБО -1, СБО -2, СБО -3, СМО - 1,2%, 0,9%, 1,1%, 0,3%.

Образцы нефтяных шламов СБО имеют твердый вид, тогда как образец СМО при комнатной температуре имеет структуру мягкой пасты.

После изучения состава нефтяных шламов были проведены эксперименты по их переработки.

Эксперименты проводились с использованием использованием физико-химических методов, основанных на экстракции. При переработке нефтешламов в качестве растворителя использовали газовый конденсат и, для сравнения, прямогонный бензин и риформат, являющиеся полуфабрикатами предприятия. Полученные результаты приведены в таблицах 2-3. Как видно из таблиц, для растворения нефтяных отходов пригоден газовый конденсат, у которого степень извлечения нефтепродуктов при растворении нефтяных шламов близка к показателю степени извлечения прямогонного бензина и риформата, но несколько меньше, чем у бензола.

Учитывая, что нефтепродукты являются полуфабрикатами, с экономической точки зрения выгодно использовать в качестве растворителя газовый конденсат, который является дополнительным исходным сырьем предприятий.

Таблица 2 – Количество нефтепродуктов, извлекаемых при растворении нефтяных шламов ТКНПЗ в различных растворителях (без учета содержания воды)

Растворители	Плотность, d_4^{20} , г/см ³	РВС-246, %	РВС-208, %
Риформат	0,788	94,02	65,73
Прямогонный бензин	0,729	91,22	64,0
Газовый конденсат	0,771	90,76	61,30

Таблица 3 – Количество нефтепродуктов, извлекаемых при растворении нефтяных шламов СНПЗ в различных растворителях (без учета содержания воды)

Растворители	Плотность, d_4^{20} , г/см ³	СБО-1, %	СБО -2, %	СБО -3, %	СМО, %
Бензол	0,879	99,73	97,79	97,35	99,9
Риформат	0,764	86,88	82,69	82,85	97,88
Прямо-гонный бензин	0,729	86,23	79,04	80,0	96,27
Газовый конденсат	0,753	85,21	83,72	81,71	93,52

Среди факторов, действующих на процесс извлечения нефтепродуктов из нефтяных шламов путем их растворения в органических растворителях, в основном наиболее значимыми являются температура процесса и соотношение нефтяного шлама к растворителю (газовому конденсату).

ЛИТЕРАТУРА

1. Liu, J. Pyrolysis treatment of oil sludge and model-free kinetics analysis / J.Liu,X.Jiang, L.Zhou, X. Han, Zh.Cui // Journal of Hazardous Materials –2009. –№161.–P. 1208-1215.
2. Mater, L. Proposal of a sequential treatment methodology for the safe reuse of oil sludge-contaminated soil / L. Mater, R.M. Sperb, L.A. Madureira, A.P. Rosin, A.X. Correa, C.M.Radetski // Journal of Hazardous Materials. –2006. –№136.–P. 967-971.
3. Zubaidy, E.A.H. Fuel recovery from waste oily sludge using solvent extraction / E.A.H. Zubaidy, D.M. Abouelnasr // Process. Saf. Environ.–2010. –№88.–P.318-326.
4. ГОСТ 10577-78. Нефтепродукты. Метод определения содержания механических примесей.
5. ГОСТ 11858-66. Нефть. Метод определения асфальто- смолистых веществ.
6. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие.

УДК 661.182

Жолнеркевич В.И., Шрубок А.О.
(Белорусский государственный
технологический университет)

ВЛИЯНИЕ КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ НА ПРОЦЕСС ВАКУУМНОЙ ПЕРЕГОНКИ ОТРАБОТАННОГО МИНЕРАЛЬНОГО МАСЛА

Повсеместная эксплуатация автомобильного транспорта приводит к накоплению отходов потребления, в частности отработанных масел. Так за год только в Республике Беларусь образуется 150 тыс. т отработанного масла, что представляет собой одну из значимых экологических проблем. В настоящее время лидером по переработки отработанных масел в Европе является Германия, где количество установок по переработки отработанных масел составляет 11 [1]. В других странах Европы статистика по переработке хуже: суммарное количество

установок – всего лишь 37. Основной причиной низкой доли процессов, связанных с получением товарных нефтепродуктов из отработанных масел, является непостоянство состава последних [2]. В большинстве стран мира не осуществляется раздельный сбор отработанных масел, что приводит к необходимости регулировки технологического процесса на каждой стадии очистки, соответственно, увеличиваются затраты на переработку, что ведет к удорожанию конечной продукции. Все это обуславливает необходимость создания технологически простой схемы процесса регенерации отработанных масел, для получения конкурентоспособной продукции невысокой стоимости.

Существуют различные технологии переработки отработанных масел: Revivoil, Mohawk, Safety Kleen, Bechtel extraction, STP, Lwart в которых можно выделить три ключевых этапа очистки [1]. На первом этапе осуществляется подготовка сырья, на втором – разделение сырья на дистилляты вакуумной разгонкой, на третьем – очистка дистиллятов. Подготовки сырья является одной из важных стадий от которой зависит как количество последующих этапов очистки отработанных масел, так и качество получаемых продуктов. Эта стадия необходима для удаления нежелательных высокомолекулярных соединений, поликлинических ароматических углеводородов, механических примесей из исходного сырья для обеспечения стабильной работы вакуумной колоны. Наиболее простой способ подготовки сырья – это процесс коагуляции. В связи с этим цель работы – заключалась в изучении влияния процесса коагуляции на выход и качество показателей дистиллятов, полученных при вакуумной перегонке отработанных масел.

Для исследования было выбрано минеральное отработанное масло. Процесс коагуляционной очистки отработанного масла осуществляли следующим образом: в колбу с обратным холодильником помещали отработанное масло и нагревали его до температуры 55 °C, после чего вводили водный раствор сульфата натрия заданной концентрации и выдерживали в течение 50 мин при перемешивании. По истечении времени в систему вводили неонол АФ 9-6 и полученную смесь снова перемешивали в течение 10 мин. Содержание неонола и сульфата натрия в коагулянте составляло 3 и 17 мас.%. Коагуляционную очистку проводили при расходе коагулянта 10 мас.% на сырье. В процессе коагуляционной очистки отработанного масла образуются два слоя: верхний слой представляет собой очищенное масло, нижний слой – коагулирующая система и загрязнения, выделенные из масла. Верхний слой, т.е. очищенное масло, перегоняли под вакуумом с отбором фракции до 440 °C. Для сопоставительного анализа отработанное масло без предварительной очистки разделяли на фракции под вакуумом с отбором фракции до 440 °C.

Влияние коагуляционной очистки на процесс вакуумной перегонки отработанного масла оценивали по изменению физико-химических показателей: кинематической вязкости по ГОСТ 33, показателя преломления по ГОСТ 18995.2, анилиновой точки по ГОСТ 12329, содержания полициклических ароматических углеводородов по методу IP 346. Результаты перегонки отработанного масла с и без стадии коагуляции представлены в таблице.

Таблица – Физико-химические свойства очищенных масел

Показатель	Очищенное масло	
	без коагуляции	с коагуляцией
Выход, мас.%	78,87	71,35
Кинематическая вязкость при 40 °C, мм ² /с	62,95	41,83
Показатель преломления при 20 °C, n_D^{20}	1,4974	1,4959
Анилиновая точка, °C	89,9	92,7

Установлено, что в результате перегонки отработанного масла без предварительной стадии коагуляции выход очищенного масла составляет 78,87 мас.%. Введение стадии коагуляции приводит к снижению выхода очищенного масла до 71,35 мас.%, что обусловлено отделением тяжелых компонентов масла на стадии подготовки сырья. Показано, что в процессе перегонки отработанного масла с предварительной обработкой наблюдается снижение вязкости до 41,83 мм²/с (в 1,5 раза). Это связано с тем, что в результате очистки отработанного масла водным раствором сульфата натрия в присутствии неонола АФ 9-6 происходит перераспределение углеводородов между образующимися слоями: в нижний слой переходят ароматические компоненты и, как следствие, на перегонку поступает сырье с меньшим содержанием ароматических компонентов. О снижении содержания ароматических структур в очищенном масле также свидетельствует наблюдаемое снижение показателя преломления с 1,4979 до 1,4959 и увеличение анилиновой точки до 92,7 °C, что свидетельствует.

Таким образом, показано, что для получения очищенного масла улучшенного качества необходимо проведение предварительной стадии очистки (коагуляции). Установлено, что коагуляционная очистка отработанного масла перед его разделением на фракции позволяет получать очищенные масла с пониженным содержанием ароматических структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выборнова Т.С. Совершенствование технологии регенерации отработанных масел различной природы: дис. канд. техн. наук: 2.6.12 / Т.С. Выборнова. – Астрахань, 2024. – 123 с.
2. Кутепова Ж.В. Методы утилизации отработанных моторных масел // Вестник МАДИ. – 2010. – Вып. 3 (22). – С.92–96.

УДК 662.71/.74:658.26

Ивановская И.С., Ивановский В.В.

(Белорусский государственный
технологический университет)

АСПЕКТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА НА БЕЛОРУССКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Замещение природного газа, используемого в технологических целях, на местные виды топлива (МВТ) оправдано при наличии экономической целесообразности, а также с целью устранения зависимости белорусских предприятий от одного источника импортного топлива, цена на которое может расти.

Целью работы является определение основных аспектов применения местных видов топлива на белорусских предприятиях, связанных как с выбором конкретного вида топлива, так и с организацией его использования. Задачами работы являются определение наиболее перспективных видов топлива для предприятий промышленности строительных материалов, сравнение их характеристик, расчет эффективности применения МВТ по сравнению с природным газом. Актуальность темы подтверждается ростом объемов энергии, произведенной за счет использования МВТ, а также необходимостью поддержать реализованные инвестиционные проекты по созданию мощностей для производства древесных пеллет и торфобрикетов. Также Департамент по энергоэффективности призывает использовать местные виды топлива как часть государственной политики по энергосбережению и повышению энергетической эффективности. Это обусловлено их ролью в снижении зависимости от импорта и обеспечении устойчивого развития энергетики, что является одним из приоритетов в сфере энергосбережения и повышения энергоэффективности. В частности, местное топливо (например, торф, горючие сланцы, древесные пеллеты) способствует рациональному и экономному расходованию топливно-энергетических ресурсов.

В настоящее время в Республике Беларусь объемы производства МВТ могут достигать следующих значений:

- древесные гранулы (пеллеты) – около 900 тыс. т и порядка 100 тыс. т древесных топливных брикетов и щепы;
- топливные брикеты из торфа – около 290 тыс. т;
- флотационный шлам и скоп (отходы целлюлозно-бумажного производства) порядка 100 тыс. т;
- нефтекокс – порядка 500 тыс. т.

Основным направлением использования МВТ в технологическом процессе являются операции сушки. В таблице 1 приведем характеристики различных видов топлива для выработки сушильного агента.

Таблица 1 – Характеристика различных видов топлива

Вид топлива	Теплота сгорания (МДж/кг)	Калорийность (ккал)	% золы	% серы
Каменный уголь	15-25	4 500- 5200	10-35	1-3
Бурый уголь	14-22	4 000-4 300	10-35	1-3
Дрова	10	2 000	2	0
Кусковой (фрезерный) торф	11,4	3 500	15-23	0,3-0,5
Торфобрикеты	14-15	3 200	10-15	0,3-0,5
Пеллеты древесные	17,5-18,5	4 800-5 000	2,5	0,1
Щепа топливная	10-11	2 600-3 000	0,02	0,01
Природный газ	35-38 МДж/м3	8050	0	0

Предприятия в Республике Беларусь обладают достаточным количеством мощностей по производству только четырех МВТ для обеспечения потребностей промышленных масштабов при необходимости соблюдения экологических ограничений по выбросам соединений серы. Это древесные пеллеты и щепа, торфобрикеты и фрезерный торф.

Преимуществами древесных пеллет являются:

- Зольность пеллет, то есть содержание несгораемого остатка после сжигания, низкая, не более 5 % для пеллет;
- Более высокая плотность пеллет упрощает их хранение и транспортировку;
- Поскольку при сжигании древесных топливных гранул (пеллет) выделяется примерно такое же количество СО₂, как и то, которое забирается из земной атмосферы при росте биомассы, древесные топливные гранулы (пеллеты) являются практически нейтральными в плане выделения СО₂;
- Пеллеты выделяют значительное количество тепла при сгорании;
- Форма пеллет позволяет автоматизировать процессы погрузки-разгрузки и также сжигания данного вида топлива.

Однако пеллеты являются довольно дорогим видом топлива. Цена на пеллеты волатильная, зависит от возможности поставок на экспорт и может достигать уровня до 300 евро за тонну.

Более дешевым видом топлива являются топливные брикеты из торфа. Однако применение данного вида топлива связано с рядом сложностей:

– Зольность торфа, используемого в качестве сырья для отопления, может составлять от 10 % до 23 % в зависимости от типа и состава торфа;

– Высокая зольность оказывает на большее содержание минеральных веществ, что может негативно влиять на химический состав производимой продукции в случае контакта с дымовыми газами в процессе сушки;

– Необходимость создания существенных запасов топлива и необходимость утилизации отходов.

Таким образом, использование древесных пеллет, торфа и щепы как видов топлива сопряжено с рядом дополнительных проблем, которых лишено использование природного газа. Проблемы связаны с высокими затратами на хранение данных видов топлива, высокие эксплуатационные затраты топливного оборудования, возникновением отходов и увеличением экологической нагрузки. Также отдельно необходимо отметить влияние продуктов сгорания местных видов топлива на качество конечного продукта.

При принятии решения о переходе на МВТ необходимо учитывать риск роста цены на МВТ. При возобновлении экспорта древесных пеллет в страны Евросоюза, их цена может возрасти или может возникнуть дефицит пеллет на внутреннем рынке по приемлимой для промышленного производителя цене. Может возникнуть локальный дефицит щепы, что увеличить стоимость доставки данного топлива в адрес конкретного промышленного предприятия.

Уровень цен на древесные пеллеты, топливные брикеты и щепу в разрезе стран представлены в таблице 2 и на рисунке 1.

Торфобрикет в Европе фактически не используется в качестве топлива в сколько-нибудь значимых объемах. В некоторых странах (Германия) действуют строгие правила добычи торфа, а его использование в качестве топлива не считается экологически устойчивым. Добыча торфа в Швейцарии практически полностью запрещена для защиты уникальных экосистем болот.

Таблица 2 – Средние цены на МВТ в разрезе некоторых стран в 2025 году, евро/т (м³)

Показатель	Древесные пеллеты	Торфо-брикет	Щепа топливная
Средняя цена в Республике Беларусь	64	40	45
Средняя цена в Российской Федерации	85	75	30
Средняя цена в Евросоюзе	325	290	95
Германия	270-290	450-550	110-130
Польша	220 - 265	95-125	66-70
Объем потребления в Евросоюзе в 2024 году	25,4 млн. т.	нет данных	75 млн.м3

Евросоюз является крупнейшим в мире потребителем древесных гранул. В 2024 г. объем потребления их составил 25,4 млн. т, 2023 г. – 24,0 млн тонн. В 2025 г. потребление древесных гранул в ЕС, по прогнозам, увеличится, что обусловлено мандатами Европейской комиссии (ЕК).



Рис. 1 – Средние цены на виды топлива в 2025 году, €/т.

Щепа также пользуется спросом, однако возможности по ее транспортировке сильно ограничены, она остается местным видом топлива и цены на щепу незначительно выше чем в Республике Беларусь, что позволяет говорить о низком риске роста цен на данный вид топлива. По щепе могут возникать риски локального территориального дефицита, когда близлежащие лесхозы и производители щепы будут полностью загружены поставками для коммунальных служб и частных потребителей в отопительный сезон, что приведет к росту затрат на транспортировку щепы из соседних регионов.

На размер потребления местных видов топлива существенное влияние оказывает цена на природный и сжиженный газ. Так биржевая цена в ЕС на газ в зимний период превышает 350 евро за тыс. м³, что способствует росту потребления возобновляемых видов топлива, в основном древесных пеллет, цены на которые доходят до 500 евро за тонну в некоторых европейских странах.

Возможность роста цен в Республике Беларусь на торфобрикеты и щепу гораздо ниже, так как их поставки на экспорт связаны с высокими транспортными затратами (из-за высокой влажности) и отсутствием в Европе большого парка топочного оборудования для данных типов топлива, в то время как на древесных пеллетах работает большинство котельных в ЕС. Также следует отметить, что вопросы эффективности

поставок зависят от цены на природный газ, которая может измениться в среднесрочной перспективе.

Из практики применение стоит отметить успешный опыт использования в качестве топлива торфа на цементных заводах БЦК. Таким образом, при сложившихся объемах производства и ценах на МВТ наиболее выгодным в настоящий момент времени является использование торфобрикетов и древесных пеллет, при сохранении конъюнктуры рынка.

В заключении необходимо отметить, что промышленное применение МВТ в технологическом процессе белорусских предприятий позволяет диверсифицировать риски зависимости от одного источника поставок, противостоять ценовым интервенциям, укреплять межотраслевые связи внутри Республики, развивать и совершенствовать технологии получения энергии в промышленных масштабах.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТБ 1919-2008: Брикеты топливные на основе торфа. Технические условия. Государственный Стандарт Республики Беларусь. Госстандарт. Минск. 2009 – 10 с.
2. Дремичева Е.С., Эминов А.А. Эколого-экономические аспекты использования торфа в энергетике // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №1 (53). С. 96-108.

УДК 661.183.7

Пягай И.Н., Савельев. Е.П., Титова М.Е.
(Санкт-Петербургский Горный Университет
императрицы Екатерины II)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА ВЫСОКОПОРИСТОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ИЗ ПРОМЫШЛЕННОГО КРЕМНЕГЕЛЯ

В контексте развития круговой экономики, ресурсосберегающих и экологически ориентированных технологий большой интерес представляют подходы к синтезу функциональных материалов с использованием в качестве сырья отходов производств. Техногенный кремнегель, образующийся в процессе получения фторида алюминия, является перспективным источником диоксида кремния для синтеза высокопористого силикагеля, применяемого в адсорбционных, катализических и сепарационных процессах [1].

В данной работе исследована зависимость структурно-морфологических характеристик силикагеля от параметров его синтеза. В начале из исходного промышленного кремнегеля удаляются примеси и влага, после чего происходит автоклавная обработка очищенного кремнегеля в присутствии раствора гидроксида натрия при повышенной температуре и автогенном давлении [2]. Далее в ходе контролируемого подкисления раствором серной кислоты получившегося силиката натрия образуется коллоидный золь с последующим золь-гелем переходом и образованием трехмерной структуры. Полученный таким способом гель оставляют при комнатной температуре в течение фиксированного времени старения для уплотнения структуры и поликонденсации, после чего промывают дистиллированной водой до удаления сульфат-ионов и высушивают.

Золь-гель синтез характерен высокой чувствительностью к условиям проведения процесса [3]. Продемонстрировано, что такие факторы как pH раствора на стадии гелеобразования, температура и время проведения синтеза, а также режим старения и температура сушки оказывают решающее влияние на структурно-морфологические характеристики конечного продукта. Варьированием приведенных параметров можно регулировать удельную площадь поверхности, морфологию частиц и распределение пор по размерам, что открывает возможность адаптации ключевых свойств материала под заданные функциональные требования.

В рамках проведенного исследования регулирование вышеописанных условий синтеза позволило сформировать мезопористый диоксид кремния с широким спектром характеристик – удельная поверхность полученных образцов от 44,8 до 598,2 м²/г, а средний размер пор 4,5-24 нм. Подобная гибкость в управлении структурой материалов обеспечивает возможность применения продуктов в областях, где требуются высокие показатели удельной поверхности, например, в качестве матриц-носителей в гетерогенном катализе или очистке жидкостей и газов. Аморфный диоксид кремния с удельной поверхностью в пределах 100-200 м²/г перспективен в качестве армирующей добавки в резинотехнической промышленности в целях повышения прочностных показателей благодаря развитой поверхности и адгезии к полимерной матрице [4]. В дальнейшем предстоит адаптация разработанного метода к промышленным условиям, оптимизация процессов гидротермальной обработки, а также снижение временных и энергетических затрат на этапах старения и сушки геля.

Таким образом, предлагаемый ресурсно-эффективный подход демонстрирует потенциал в применении промышленного кремнегеля как альтернативного сырья для синтеза высокопористого диоксида кремния и открывает перспективы создания материалов с заранее заданными свойствами при одновременном решении задачи утилизации техногенных отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Katoueizadeh E., Rasouli M., Zebarjad S. M. A comprehensive study on the gelation process of silica gels from sodium silicate // J. Mater. Res. Technol. 2020. Т. 9. № 5. С. 10157–10165.
2. Ni'mah Y. L. и др. The optimization of silica gel synthesis from chemical bottle waste using response surface methodology // Arab. J. Chem. 2022. Т. 15. № 12. С. 104329.
3. Nuinu P. и др. Improvement of mechanical and dynamic properties of high silica filled epoxide functionalized natural rubber // J. Mater. Res. Technol. 2023. Т. 24. С. 2155–2168.
4. Pyagay I. N. и др. Study of the process of obtaining water glass from silica gel for use in metallurgy // iPolytech J. 2023. Т. 27. № 3. С. 598–610.

УДК 614.842.61

Арзаев Н.А., Ивахнюк Г.К.
(Санкт-Петербургский
университет ГПС МЧС России)

БЕЗРЕАГЕНТНАЯ И РЕАГЕНТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ ОГНЕТУШАЩИХ ПЕН: ПРИМЕНЕНИЕ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В современных условиях расширения деятельности нефтегазового комплекса в Арктике возрастает риск возникновения пожаров класса В (горючие жидкости), где традиционные воздушно-механические пены (ВМП) демонстрируют ограниченную эффективность. Основные недостатки ВМП — высокая электропроводность, низкая морозостойкость, нестабильная структура и слабая адгезия — обусловлены физико-химическими свойствами дисперской среды (водного раствора пенообразователя). В условиях отрицательных температур ускоряется кристаллизация жидкой фазы что приводит к полной потере эффективности применения данного типа огнетушащего вещества (ОТВ).

Научной основой повышения огнетушащей эффективности является управление надмолекулярной структурой дисперской среды. В настоящей работе предложен подход, сочетающий безреагентную модификацию — электрофизическую обработку (ЭФО) воды переменным частотно моделируемым потенциалом (220 В и 18 кВ), реагентную модификацию — введение гидрофильного минерализатора (маршалит, SiO_2), а также замены дисперской фазы — атмосферного воздуха на инертный газ (углекислый газ, CO_2) при генерации пены.

ЭФО воды приводит к модификации наномолекулярной структуры, снижению поверхностного натяжения и угла смачивания. Экспериментально установлено, что при напряжении 18 кВ угол смачивания на лабораторном стекле уменьшается с 44° до 22° , на полиэтиленовой плёнке — с 62° до 45° , высота капиллярного подъёма возрастает с 20 до 31 мм, а поверхностное натяжение снижается с 72,8 до 65,0 мН/м (табл. 1). Это свидетельствует о повышении проникающей способности воды, что особенно важно при формировании пенного покрытия на гидрофобных поверхностях нефтепродуктов.

Таблица 1 – Влияние электрофизической обработки воды на её смачивающие свойства

№ п/п	параметр	H ₂ O (контрольная)	H ₂ O (220 В)	H ₂ O (18 кВ)
1.	Угол смачивания (лабораторное стекло)	44°	31°	22°
2.	Угол смачивания (полиэтиленовой пленки)	62°	55°	45°
3.	Поверхностное натяжение, мН/м	72,8 мН/м	67,4 мН/м	65,0 мН/м
4.	Высота капиллярного поднятия, мм	20 мм	26 мм	31 мм

Введение маршалита (SiO_2) обеспечивает формирование армированного каркаса в пенной плёнке. Гидрофильные наночастицы равномерно распределяются в водной фазе, снижают скорость дренажа и повышают механическую устойчивость пены к контактному разрушению. полураспада возрастает на 75 % (с 8 до 14 мин), а время удержания пены на вертикальной поверхности увеличивается более чем в 5 раз. Термический анализ маршалита выявил эндоэффекты в диапазонах 400–500 °C и 600–700 °C, соответствующие полиморфным переходам SiO_2 , что способствует поглощению до 250 Дж тепла на 10 л пены — дополнительный охлаждающий эффект при тушении.

Замена воздуха на CO_2 при генерации пены решает три ключевые задачи:

- исключает внесение кислорода в зону горения, что критично при тушении в замкнутых объёмах и на электроустановках;
- снижает электропроводность пены (в 3–4 раза по сравнению с ВМП на воздухе), расширяя область применения на объекты с повышенной электротехнической опасностью;
- обеспечивает флегматизирующий эффект за счёт частичного растворения CO_2 в водной фазе и образования угольной кислоты, что дополнительно подавляет горение углеводородов.

Таким образом, разработанная модифицированная пена обеспечивает комплексный механизм тушения: охлаждение (испарение воды + теплоёмкость CO_2 + эндоэффекты SiO_2), изоляцию (устойчивый

пенный слой), разбавление (CO_2 снижает концентрацию O_2 и паров топлива). Это делает её перспективной для использования на объектах нефтегазодобычи в экстремальных климатических условиях — в частности, при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в Арктике, на морских платформах, в резервуарных парках и при тушении электрооборудования под напряжением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арзаев Н.А., Ивахнюк Г.К. Влияние реагентной и безреагентной модификации дисперсной среды и химических свойств поверхности минерализаторов на пожарно-технические характеристики воздушно-механических пен // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2024. № 2. С. 112–121.
2. Булатов Н.Н. Коллоидно-химические и пожарно-технические свойства CO_2 -газонаполненных компрессионных пен // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2024. Т. 13, № 3(67). С. 194–198.
3. Волик А.С., Квашнин А.В., Ивахнюк Г.К. Влияние электрического поля на огнетушащие свойства воздушно-механической пены // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 3(55). С. 103–107.
4. Алешков М.В., Федяев В.Д., Гумиров А.С., Шульгинов А.А. Применение компрессионной пены при тушении пожаров объектов нефтегазового комплекса при отрицательных температурах // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 1. С. 8–15.
5. Волик А.С., Булатов Н.Н., Шешина Н.И. Влияние электрофизической обработки воды на пожарно-технические характеристики модифицированной воздушно-механической пены // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2023. Т. 12, № 4(64). С. 288–293.

УДК 661.634.22-047.37

Мохорт М.С., Дормешкин О.Б., Гаврилюк А.Н.

(Белорусский государственный
технологический университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ОЧИЩЕННОЙ ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ

Фосфорная кислота является одним из наиболее крупнотоннажных неорганических продуктов химической промышленности. Значительное сокращение мощностей по производству термической фосфорной

кислоты, характеризующейся высокой степенью чистоты, привело к поиску новых методов получения очищенной фосфорной кислоты различной квалификации.

Несмотря на наличие в Республике Беларусь собственного производства экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) на базе ОАО «Гомельский химический завод» непосредственное использование ее для организации выпуска промышленных продуктов - кормовых и технических фосфатов, невозможно по причине значительного содержания в ней различных примесей, а организация производства очищенной ортофосфорной кислоты на основе выпускаемой ЭФК требует проведения комплекса физико-химических исследований и разработки наиболее рациональной и рентабельной для условий действующих в Республики Беларусь производств технологии очистки ЭФК.

Как показал анализ не один из известных методов очистки ЭФК не позволяет получать фосфорную кислоту высокой степени чистоты, ряд способов связан с технологическими сложностями их реализации, либо использованием дорогостоящих реагентов, поэтому среди наиболее перспективных направлений в настоящее время значительное внимание отечественных и зарубежных исследователей уделяется разработке новых комбинированных технологий производства очищенной ортофосфорной кислоты, основанных на сочетании нескольких отдельным методов.

Наиболее перспективной для Республики Беларусь представляется разработка комбинированной технологии очистки ЭФК основанной на последовательном удалении примесей методами осаждения, с удалением примесей в составе малорастворимых кремнефторидов щелочных металлов, с последующей десорбцией фторсодержащих примесей методом отдувки воздухом.

На основании результатов исследований закономерностей физико-химических процессов в многокомпонентных водно-солевых системах, образующихся на отдельных стадиях очистки фосфорных кислот, а также результатов производственных испытаний, разработана энергосберегающая технология получения очищенной ортофосфорной кислоты. Данная технология (рисунок) предусматривает использование в качестве очищаемой фосфорной кислоты, производной ЭФК или упаренной ЭФК и включает следующие основные стадии:

- Прием исходного сырья. Включает стандартные технологические операции.
- Получение осадительного реагента. Процесс получения осадительного реагента осуществляется в реакторе (поз. 6) снабженным перемешивающим устройством и греющей рубашкой обогреваемой паром. ЭФК из бака (поз. 2), погружным насосом, в количестве 20 мас. % от

исходной массы подается в реактор (поз. 6). Раствор жидкого натриевого стекла из бака (поз. 4) взятого в соотношении SiO₂:F равном 120 мас. % от стехиометрии, погружным насосом, подается в реактор (поз. 6). Подача кальцинированной соды осуществляется из бункера кальцинированной соды (поз. 1) через ленточный дозатор (поз. 3) в количестве 140 мас. % от стехиометрии.

• Химическое старение суспензии. По завершении процесса химического взаимодействия осадительного реагента с основным количеством фосфорной кислоты, перемешивание и нагрев в реакторах (поз. 7, 8) отключают. Процесс химического старения проводят при температуре суспензии 20 – 25 °C.

• Фильтрация суспензии. После завершения процесса химического старения суспензию подают на разделение на ленточный вакуум-фильтр (поз. 9). В процессе разделения суспензии и промывки осадка дренажная лента с фильтруемым продуктом последовательно проходит через 3 зоны. Отвод фильтратов из вакуум-коробки осуществляется с использованием гибких шлангов и разделенного на отдельные секции вакуум-коллектора.

Первая зона – зона фильтрации очищенной методом осаждения ЭФК, которая через бак (поз. 10), погружным насосом подается в кожухотрубный теплообменник (поз. 13) и далее на стадию десорбции фторсодержащих примесей.

• Десорбция фторсодержащих соединений. Очищенная после первой стадии фосфорная кислота из бака (поз. 10) погружным насосом подается в кожухотрубный теплообменник (поз. 13) где нагревается паром до температуры 110 – 120 °C и далее подается в десорбер тарельчатого типа на верхнюю тарелку через распределительное устройство. Процесс десорбции проводят с использованием в качестве газа-носителя – воздуха подаваемого в нижнюю часть аппарата компрессором (поз. 15). Температура в десорбере поддерживается в диапазоне 110 – 120 °C, при расходе подаваемого воздуха не менее 6 м³/мин на 1 м³ фосфорной кислоты.

Образующаяся в десорбере парогазовая смесь, содержащая брызги фосфорной кислоты поступает в брызгоуловители где происходит сепарирование капель кислоты и их возврат на верхнюю тарелку десорбера.

Очищенная ортофосфорная кислота из нижней части десорбера отводится в бак очищенной упаренной экстракционной фосфорной кислоты (поз. 16) откуда погружным насосом откачивается на склад и переработку.

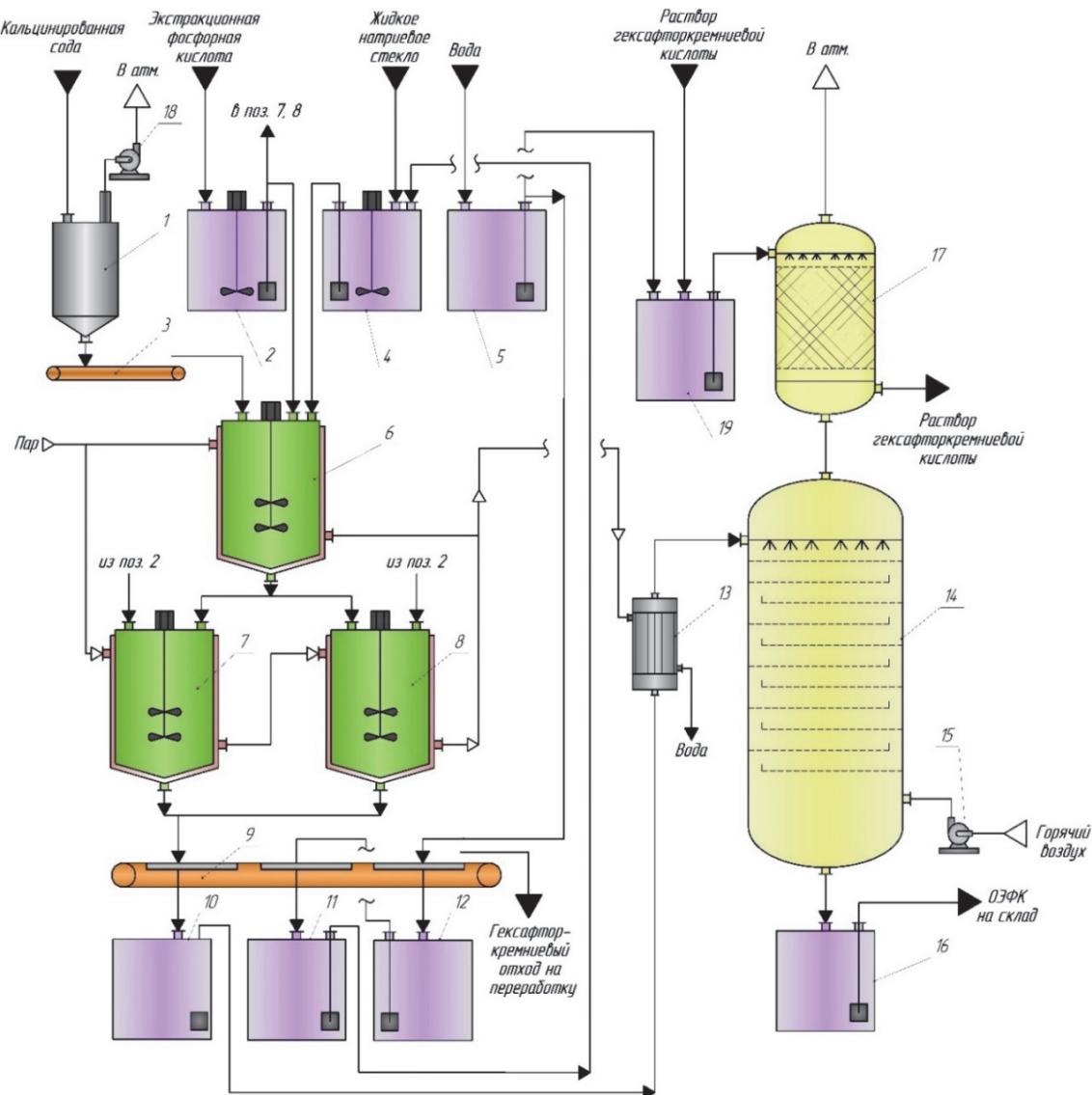


Рисунок 1 – Технологическая схема комбинированной очистки ЭФК

1 – бункер кальцинированной соды; 2 – бак ЭФК; 3 – весовой питатель; 4 – бак жидкого натриевого стекла; 5 – бак технической воды; 6 – реактор осадительного реагента; 7, 8 – реактора осаждения; 9 – ленточный вакуум-фильтр; 10 – бак очищенной кислоты; 11 – бак первого фильтрата; 12 – бак второго фильтрата; 13 – кожухотрубный теплообменник; 14 – десорбер; 15 – компрессор; 16 – бак очищенной ортофосфорной кислоты; 17 – абсорбер; 18 – воздуходувка; 19 – бак гексафторкремниевой кислоты

Очищенная от брызг фосфорной кислоты парогазовая смесь из брызгоуловителей по газоходам поступает в систему очистки, представленную абсорбционными (полыми, противоточными, промывными) башнями (условное обозначение на схеме поз. 17), орошаемые циркуляционной жидкостью из бака H_2SiF_6 (поз. 19). На выходе из брызгоуловителя в газоходах перед абсорбционными башнями (поз. 17)

установлены дополнительные форсунки, на которые насосами подается фторная вода.

В бак H_2SiF_6 в качестве подпитки погружным насосом подается техническая вода из бака (поз. 5). В абсорбционных башнях улавливается 90 – 95 % фтора, содержащегося в парогазовой смеси, поступающей на абсорбцию.

Ключевыми преимуществами данной технологии является возможность создания замкнутого технологического цикла, с возможностью реализации технологии на базе действующего производства ОАО «Гомельский химический завод», обеспечение комплексной переработки сырья и организации малоотходной технологии на основе принципов «зеленой химии», позволяющей максимально использовать исходные реагенты, а также снизить количество отходов и устраниить их антропогенное воздействие на окружающую среду.

УДК 665.76

Колыбельский Д.С.

(Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина)

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА В РФ ЩЕЛОЧНЫХ ДЕТЕРГЕНТОВ КАК ОСНОВЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

Щелочные детергенты на основе сульфонатов, алкилсалицилатов, алкилфенолятов кальция, магния и других металлов широко применяются при производстве смазочных масел в качестве моюще-диспергирующих присадок. Проводимые ранее на базе РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина исследования показали, что эти компоненты можно использовать также в качестве загустителей для получения высокоеффективных пластичных смазок с хорошими высокотемпературными, механическими и трибологическими свойствами, применимые для работы в условиях высоких нагрузок и обводненности [1].

В настоящее время в РФ наблюдается дефицит производства основных присадок для смазочных материалов. При текущем объеме потребления присадок в стране около 100 тыс. тонн в год около 50 тыс. тонн импортируется – в основном из «дружественных» стран [2]. В табл.1 представлена оценка потребности в присадках в РФ по данным Ассоциации нефтепереработчиков и нефтехимиков (АНН). Текущие мощности производства присадок на предприятиях РФ и РБ составляют

порядка 40 тыс. т, при этом основные объемы поставляют компании: Эддитек (Новополоцк), НЗМП (Новокуйбышевск), Газпромнефть (Омск), НПП «Квалитет» (Тамбов) и др.

Таблица 1 – Оценка потребности в присадках в РФ [2]

№ п/п	Наименование присадок	Количество, тыс. т в год		
		Для моторных масел	Для других продуктов	Всего
1	Сукцинимиды	50,0	40,0	90,0
2	Сульфонаты	25,0	20,0	45,0
3	Дитиофосфаты	15,0	10,0	25,0
4	Сульфофеноляты	20,0	15,0	35,0
5	Салицилаты	20,0	10,0	30,0
6	Фенольные антиокислители	5,0	5,0	10,0
7	Аминные антиокислители	5,0	5,0	10,0
Итого присадок		140,0	105,0	245,0

Известно о планах компании ЛУКОЙЛ по строительству к 2029 г нового производства присадок в г. Волгоград суммарной мощностью до 100 тыс. т., что позволит практически полностью обеспечить внутренний рынок отечественными продуктами. В рамках комплекса планируется организовать производство сукцинимидных, салицилатных, сульфонатных, антиокислительных присадок и пакетов присадок на их основе. Также были анонсированы планы по развитию присадок компаниями Газпромнефть, Синтоген (г. Дзержинск), Уфимским заводом экспериментальных химических продуктов.

С учетом ожидаемого расширения внутреннего производства моюще-диспергирующих присадок можно прогнозировать также и увеличение производства пластичных смазок на их основе. Сульфонатные смазки уже сейчас находят применения в ответственных узлах трения металлургических и целлюлозно-бумажных комбинатах, в горнодобывающей и дорожно-строительной технике. Расширение ресурсов сырьевых компонентов, как ожидается, сделает их более доступными для отечественных потребителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колыбельский Д.С. Сравнительная характеристика пластичных смазок с загустителями на основе разных типов моюще-диспергирующих присадок / Д.С. Колыбельский, Б.П. Тонконогов, А.В. Песковец // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2025. – №8. – С. 49-52.

Протокол № 172 от 18.06.2024 заседания правления Ассоциации нефтепереработчиков и нефтехимиков. [Электронный ресурс] URL: https://oilref.ru/protocol/2024/172_2024.pdf

УДК 665.76

Пискунов И.В.

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

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЕЙ

В России имеется большой потенциал по развитию производства современных вяжущих материалов для дорожно-строительной отрасли. Плотность автомобильных дорог в РФ ($0,1 \text{ км}/\text{км}^2$) существенно ниже, чем например в Индии ($1,8 \text{ км}/\text{км}^2$), США ($0,7 \text{ км}/\text{км}^2$) и ряде других стран [1]. Текущий объем производства битумов в стране составляет порядка 8 млн т, и в течение последних 10 лет вырос более чем на 50%. Еще более активными темпами увеличивалось производство модифицированных вяжущих (ПБВ), которые востребованы с учетом сложных климатических условий во многих регионах страны.

Вместе с тем уже неоднократно озвучивалась проблема, что в связи с проводимой модернизацией НПЗ и поэтапным вводом в эксплуатацию новых установок глубокой переработки нефтяных остатков (УЗК и др.) в перспективе возможно появление дефицита сырья для битумного производства. По оценкам компании ООО «ГПН-Битумные материалы» после 2030 г в РФ потенциальный дефицит битума может достигать 10% от ожидаемого спроса.

Одним из вариантов решения такой проблемы является организация переработки специальных тяжелых нефтей, наиболее пригодных для получения битума - без применения стандартных схем НПЗ с максимизацией выработки нефтяных топлив. К числу известных примеров таких нефтей, например, можно отнести тяжелую нафтено-ароматическую нефть Ярегского месторождения, на основе которой ранее на Ухтинском НПЗ производили высококачественный битум марок БДУ 70/100 и БДУ 100/130. Причем более предпочтительно осуществлять переработку такой нефти отдельно от стандартной нефти, чтобы не потерять преимущества ее уникального группового-углеводородного состава. Применение «ярегского» битума на центральных улицах г. Санкт-Петербург позволяло увеличить их межремонтный срок эксплуатации до 10-13 лет [2]. Кроме того, есть упоминания о возможности получения высококачественных битумов из тяжелых нефтей Русского, Ашальчинского месторождений и др. [3].

Дополнительным преимуществом раздельной переработки тяжелых нефтей типа ярегской является возможность получения и других уникальных нефтепродуктов – нафтеновых масел, пластификаторов для шин, базовых масел для смазок, низкозастывающих дизельных

топлив и т.д. Одним из ключевых факторов, определяющих качество получаемых продуктов (в т.ч. битумов) является глубина отбора фракций при переработке тяжелой нефти. Так, в статье [3] на примере русской нефти было показано, что наиболее оптимально при перегонке осуществлять отгон до 42% фракций, с получением нефтяного остатка с температурой размягчения около 30°C. Окисление такого сырья позволяет получить нефтяные битумы с улучшенными свойствами, в том числе марок PG 64-34 и PG 70-28 по ГОСТ Р 58400.1 (система Суперпейв).

Еще более интересным решением может стать глубокая перегонка тяжелой нефти с получением высоковязкого гудрона, удовлетворяющего по требованиям, установленным для нефтяных битумов (остаточный битум). На основе проведенных лабораторных исследований было установлено, что продукт такого качества можно получить при разгонке ярегской нефти до 525°C. Характеристики полученного остаточного битума представлены в табл. 1. Следует особенно отметить хорошие низкотемпературные свойства такого битума, а также его высокую устойчивость к окислению (невысокий прирост динамической вязкости после старения). За счет дополнительного отбора высоковязких дистиллятных фракций можно получить высококачественный пластификатор, востребованный при производстве автомобильных шин и РТИ.

Таблица 1 – Характеристики остаточного битума на основе ярегской нефти

Показатели	Требования ГОСТ 33133-14	Стандартный битум БНД 70/100	Битум из ярегской нефти
Температура размягчения, °C	> 47	48	49
Температура хрупкости, °C	< -18	-19	-19
Пенетрация, 0,1 мм:			
при 25°C	70-100	86	78
при 0°C	> 21	21	28
Растяжимость, см:			
при 25°C	> 62	143	150
при 0°C	> 3,7	4,2	4,3
Индекс пенетрации	-1...+1	-0,3	-0,2
Динамическая вязкость, Па.с:			
при 60°C	-	233	253
при 60°C после старения	-	746	531
Коэффициент возрастания динамической вязкости	-	3,2	2,1
Изменение массы после старения, %	< 0,6	-0,4	-0,14

ЛИТЕРАТУРА

1. Пискунов И.В., Сайтов Р.И., Коньков Д.А. Анализ текущего состояния и тенденции рынка битумов в России // Нефтегазовая вертикаль. – 2024. – №8-9. – С.92-99.
2. Пискунов И.В., Зверева У.Г., Белоконь Н.Ю. и др. Опыт компании ЛУКОЙЛ в производстве высококачественных битумных материалов // Мир нефтепродуктов. - 2018. - №7. - С.13-20.
3. Поздняков В. В., Антонов С. А., Рудницкая Н. В. и др. Получение окисленных дорожных битумов PG марок из нефти Русского месторождения // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2025. – №6. – С. 28-35.

УДК 665.777.4

Рудко В.А.

(Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II)

РАЗРАБОТКА ОСНОВ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА НЕФТИАНОГО ИГОЛЬЧАТОГО КОКСА

Игольчатый кокс представляет собой высокоструктурированный анизотропный углеродный материал, обладающий способностью к графитации, являющийся единственным существующим прекурсором для производства крупнокускового искусственного графита, имеющий низкий коэффициент термического расширения и способность выдерживать высокие токовые нагрузки, возникающие в изготовленном из него графитированном электроде при плавке стального лома в дуговых сталеплавильных печах.

При разработке промышленной технологии получения нефтяного игольчатого кокса и дальнейшем освоении данной технологии на производстве важнейшей задачей является разработка метода оценки нефтяного сырья и установление критериев, на основании которых можно решить задачу по универсализации подходов к переработке нефтяного сырья и разработке технологий. Основоположником данного направления исследований является профессором Е.В. Смирдович из РГУ Нефти и газа им. И.М. Губкина, однако при этом оставались нерешенные вопросы по направленному изменению структурно-группового сырья для повышения его качества.

Нерешенным оставался и вопрос физико-химического описания нефтяного сырья игольчатого кокса как многокомпонентной углеводородной

системы. Наилучшим образом поведение сырья карбонизации может быть описано с позиции нефтяных дисперсных систем, в которых дисперсной фазой являются асфальтены, а дисперсионной средой – остальные компоненты, которую разработал профессор З.И. Сюняев из УГНТУ – начальник первой установки замедленного коксования в СССР.

Традиционный взгляд на решение проблемы корректировки углеводородного сырья – это осуществление ее посредством физической модификации без изменения структуры углеводородов (процесс фракционирования) или экстракционным способом (процессы депарафинизации или деасфальтизации). Существенно повысить качество игольчатого кокса при карбонизации нефтяного сырья, возможно модификацией добавками различного функционального назначения [1,2], однако из-за отсутствия понимания механизма действия добавок на процесс формирования мезофазы игольчатого кокса невозможно было подобрать универсальный подход и определиться с выбором той добавки, которая будет эффективно приводить к повышению качества.

С 2010-х гг. в СПГУ на кафедре ХТПЭ под руководством профессора Н.К. Кондрашевой (ученице З.И. Сюняева), проводилась поисковая работа по изучению процесса карбонизации низкосортного углеводородного сырья, нашедшая отражения в диссертационных работах ее аспирантов А.А. Бойцовой [3–5], М.Ю. Назаренко [6–8] и В.А. Рудко [9,10]. Толчком для развития процесса карбонизации с получением игольчатого кокса стали наши работы по изучению группового углеводородного состава тяжелых нефтяных остатков и высокоароматизированных нефтепродуктов [11,12]. Далее была разработана термодинамическая модель описания стабильности многокомпонентных асфальтенсодержащих углеводородных систем в Научном центре «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» на основании детального изучения молекулярной структуры асфальтенов с различной химической предысторией в соответствии с законами химической термодинамики.

Изучение углеводородного состава различных видов высокоароматизированного нефтяного сырья позволили сопоставить известные данные о действии добавок к сырью карбонизации и экспериментально подтвердить, что наиболее эффективной для повышения степени анизотропии игольчатого кокса является полистирол. Являясь полимерной добавкой, полистирол полностью расходуется в процессе карбонизации, деполимеризуясь на активные радикалы, которые вступают в реакцию на стадии формирования и развития мезофазы, и изменяют механизм – образуя фенантреноподобные и мостиковые структуры, что установлено на основании ЯМР-анализа. В результате в сыром игольчатом коксе возрастает доля ориентированной графитируемой фазы по

данным КР-спектроскопии, что и приводит к повышению степени анизотропии игольчатого кокса, например с 5,4 до 6,2 баллов микроструктуры.

Проведенные кинетические исследования процесса карбонизации нефтяного сырья, его компонентов при установленных режимных параметрах и составе сырья позволили разработать математическую модель процесса.

Полученные результаты экспериментальных исследований по установлению углеводородного состава различных видов высокоароматизированного нефтяного сырья, их коллоидной стабильности и сокарбонизации с полистиролом, а также проведенные работы по очистке игольчатых коксов от примесей прямым образом воздействовали на разработку технологий получения игольчатого кокса премиальных марок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mochida I. et al. Catalytic carbonization of aromatic hydrocarbons—IX // Carbon N. Y. 1980. Vol. 18, № 2. P. 131–136.
2. Bazhin V.Y. Structural modification of petroleum needle coke by adding lithium on calcining // Coke Chem. 2015. Vol. 58, № 4. P. 138–142.
3. Boytsova A., Kondrasheva N., Ancheyta J. Pyrolysis Kinetics of Heavy Oil Asphaltenes under Steam Atmosphere at Different Pressures // Energy & Fuels. 2018. Vol. 32, № 2. P. 1132–1138.
4. Kondrasheva N.K., Baitalov F.D., Boitsova A.A. Comparative assessment of structural-mechanical properties of heavy oils of timano-pechorskaya province // J. Min. Inst. 2017. Vol. 225. P. 320–329.
5. Kondrasheva N.K., Vasil'ev V. V., Boitsova A.A. Study of Feasibility of Producing High-Quality Petroleum Coke from Heavy Yarega Oil // Chem. Technol. Fuels Oils. 2017. Vol. 52, № 6. P. 663–669.
6. Nazarenko M.Y., Kondrasheva N.K., Saltykova S.N. Sorptional properties of fuel shale and spent shale // Coke Chem. 2017. Vol. 60, № 2. P. 86–89.
7. Nazarenko M.Y., Kondrasheva N.K., Saltykova S.N. Surface reactivity of fuel shales from the Baltic basin // Coke Chem. 2016. Vol. 59, № 5. P. 196–199.
8. Nazarenko M.Y., Kondrasheva N.K., Saltykova S.N. The effect of thermal transformations in oil shale on their properties // Tsvetnye Met. 2017. P. 29–33.
9. Kondrasheva N.K., Rudko V.A., Nazarenko M.Y. Influence of Pressure in the Coking of Heavy Oil Tar and Asphalt on the Coke Properties and Structure // Coke Chem. 2018. Vol. 61, № 12. P. 483–488.
10. Kondrasheva N. et al. Influence of parameters of delayed asphalt coking process on yield and quality of liquid and solid-phase products // J. Min. Inst. 2020. Vol. 241. P. 97.

11. Рудко В.А. и др. Изучение углеводородного и микроэлементного состава и свойств сырья и продуктов процесса замедленного коксования // Известия СПбГТИ(ТУ). 2017. № 38 (64). Р. 69–75.

12. Efimov I., Povarov V.G., Rudko V.A. Use of Partition Coefficients in a Hexane–Acetonitrile System in the GC–MS Analysis of Polyaromatic Hydrocarbons in the Example of Delayed Coking Gas Oils. 2021.

УДК 665.775.4

Дуброва М.В., Шрубок А.О.

(Белорусский государственный
технологический университет)

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ВТОРИЧНОГО ПЭТ-ПОРОШКА НА ВЯЗКОСТЬ СБС-МОДИФИЦИРОВАННОГО БИТУМА

СБС-модифицированные битумы характеризуются повышенной эластичностью и долговечностью, улучшенными водоотталкивающими свойствами и широким интервалом пластичности. Для формирования равномерной полимерной сетки в объеме битума содержание модификатора на основе сополимеров стирола и бутадиена (СБС) должно составлять около 3–4 мас. %. Введение такого количества недешевого полимера в нефтяное вяжущее приводит к значительному увеличению его стоимости.

В работах [1, 2] показано, что использование в качестве компонентов полимерно-битумных вяжущих вторичного полимерного сырья позволяет снизить их себестоимость и улучшить экологическую ситуацию за счет вовлечения в процесс переработки полимерных отходов. Известно, что отходы полиэтилентерефталата образуются в больших количествах и могут выступать перспективным сырьем для производства модифицированных битумов. Ранее было установлено [2], что добавление к СБС-модифицированному битуму ПЭТ-порошка приводит к увеличению его пенетрации, улучшению низкотемпературных свойств и, как результат, возрастанию интервала пластичности вяжущего.

Добавление в битум полимерного компонента приводит к повышению его вязкостных характеристик, что может усложнить процесс приготовления полимерно-битумного вяжущего и распределения в нем полимерного модификатора, что в последующем окажет негативное влияние на удобоукладываемость и уплотняемость асфальтобетонных смесей на основе модифицированного битума. Для создания оптимальных условий приготовления модифицированного вяжущего за счет полного распределения и набухания полимера в объеме битума, улучшения

низкотемпературных свойств получаемых вяжущих рекомендуется в процессе использовать пластификаторы. В качестве пластификаторов могут применяться различные нефтяные (мазут, экстракты селективной очистки масел, индустриальные масла и т.п.) или растительные (талловое масло, пластификаторы «Унипласт», «Азол 1011» и т.п.) компоненты.

Изучение реологических характеристик модифицированного битума необходимо для установления технологических температурных интервалов приготовления и уплотнения асфальтобетонных смесей. Динамическая вязкость модифицированных битумных вяжущих при 135°C определяет их пригодность к перекачке насосным оборудованием (вязкость должна быть не более 3,0 Па·с). Согласно системе Superpave температурой уплотнения асфальтобетонной смеси на основе несостаренного битума является температура, при которой динамическая вязкость вяжущего находится в пределах $0,28 \pm 0,03$ Па·с. Под температурой перемешивания асфальтобетонной смеси понимается температура, при которой динамическая вязкость битумного вяжущего находится в пределах $0,17 \pm 0,02$ Па·с [3]. Для технологических этапов приготовления и уплотнения асфальтобетонных смесей предложено проводить их при температурах, при которых динамическая вязкость модифицированного битума составляет: для приготовления асфальтобетонной смеси – менее 0,3 Па·с; начала уплотнения – 0,3–1,5 Па·с; окончание уплотнения – 20–120 Па·с.

Приготовление СБС-модифицированного битума осуществляли следующим образом. В разогретый до 180°C нефтяной битум марки БНД 70/100 (температура размягчения – 48°C, пенетрация при 25°C – $75 \times 0,1$ мм) вводили пластификатор, ПЭТ-порошок и полимерный модификатор марки SBS L 30-01 (Воронежсинтезкаучук, РФ). Количество вводимого пластификатора составляло 5 мас.%, ПЭТ-порошка – 1 мас.%, СБС – 3 мас. %. В качестве пластификаторов использовали талловое масло, техническое рапсовое масло. Перемешивание компонентов осуществлялось с помощью лопастной мешалки (500 об/мин, продолжительность 120 минут), дозревание модифицированного битума происходило при температуре 150°C и скорости перемешивания 150 об/мин в течение 90 мин.

Динамическую вязкость модифицированного битума определяли при различных температурах с помощью ротационного вискозиметра RVDV-2H (C-Tech, Китай), используемый шпиндель №21. Для объективного сопоставления вязкостных свойств различных модифицированных битумов определены зависимости динамической вязкости вяжущих в области ньютоновского течения (рисунок).

Установлено, что модифицированный битум, полученный без использования пластификатора и ПЭТ-порошка, обладает наибольшей вязкостью в исследуемой области температур. Введение ПЭТ-порошка

в СБС-модифицированное вяжущее приводит к снижению его динамической вязкости при температурах 110–120°C, а при температуре выше 130°C динамическая вязкость вяжущего приближается к значению вязкости СБС-модифицированного битума, полученного без использования пластификатора и ПЭТ-порошка (вязкость 0,9 и 0,93 Па·с, соответственно). Применение пластификаторов приводит к снижению динамической вязкости полимерно-битумного вяжущего.

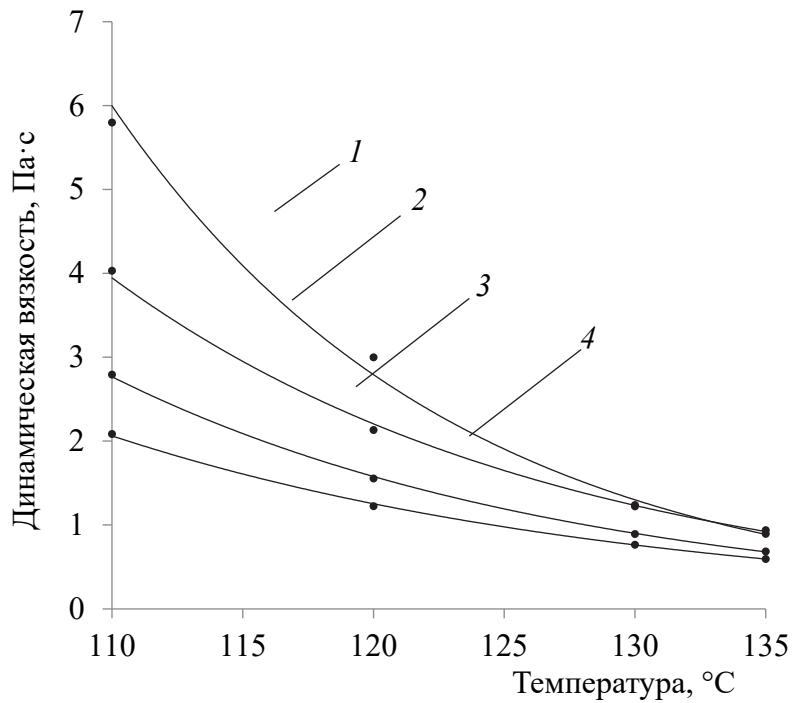


Рисунок – Зависимость динамической вязкости модифицированного битума от температуры

Состав модифицированного битума: 1 – битум + 3,0 мас. % СБС; 2 – битум + 3,0 мас. % СБС + 1,0 мас. % ПЭТ; 3 – битум + 3,0 мас. % СБС + 1,0 мас. % ПЭТ + 5 мас. % пластификатора (талловое масло); 4 – битум + 3,0 мас. % СБС + 1,0 мас. % ПЭТ + 5 мас. % пластификатора (рапсовое масло)

Полученные вязкостно-температурные зависимости позволили установить температурные интервалы приготовления СБС-модифицированных битумов с добавкой ПЭТ-порошка и пластификатора растительного происхождения. Установлено, что введение ПЭТ-порошка позволяет снизить температуру приготовления асфальтобетонных смесей на 10°C, а при совместном применении ПЭТ-порошка и пластификатора на 15–20°C.

Работа выполнена в рамках государственного задания 6.6 ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма 8.6 «Строительные материалы, конструкции, технологии» (2021–2025 гг.).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Пакусина А.П., Платонова Т.П. Стратегия обращения с отходами полимеров // Естественные и технические науки. – 2022. – №2. – С. 50–55.
2. Шрубок А.О., Дуброва М.В., Хаппи Вако Б.Ж. Структурные особенности битумов, модифицированных полимерными отходами // Сборник статей VI Международной научно-технической конференции «Минские научные чтения – 2023», Минск, 6–8 декабря 2023 г.: в 3 т. – Минск : БГТУ, 2023. – Т. 2. – С. 454–459.
3. Соломенцев А.Б., Корогодина В.В. Влияние термоэластопластов типа SBS на вязкость полимерно-битумного вяжущего и технологические температуры асфальтобетонной смеси // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2020. – №2 (13). – С. 25–35.

УДК 552.578.5:665.642.26

Трусов К.И., Осипёнок Е.М., Юсевич А.И.

(Белорусский государственный
технологический университет)

Агабеков В.Е.

(Институт химии новых материалов
НАН Беларусь)

ГИДРОКРЕКИНГ ГУДРОНА В ПРИСУТСТВИИ МАСЛОРАСТВОРИМЫХ ПРЕКУРСОРОВ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА

Одним из перспективных путей повышения степени конверсии гудрона в процессе гидрокрекинга является использование нанокатализаторов, формируемых *in situ* непосредственно в реакционной среде. Переход от крупнопористых гранулированных систем к ультрадисперсным сульфидам переходных металлов (прежде всего MoS₂) позволяет приблизить активные центры катализатора к асфальтеновым агрегатам, улучшить массообмен и снизить выход нерастворимых коксовых остатков.

Наиболее технологически удобным способом получения ультрадисперсных металло-сульфидных фаз является использование маслорастворимых прекурсоров, которые равномерно распределяются в тяжелой углеводородной матрице и при нагревании разлагаются с образованием активных частиц катализатора. Поскольку маслорасторимые прекурсоры различны по природе: нейтральные карбоксилатные

комплексы молибдена (например, 2-этилгексаноат Mo), ионные серо-содержащие соли (например, тетратиомолибдаты тетраалкиламмония) – они активируются по-разному. Первый из них требуется сульфидирование за счёт сернистых компонентов сырья, тогда как вторые содержат серу в анионе MoS_4^{2-} и при $\sim 340^\circ\text{C}$ разлагаются непосредственно с образованием MoS_2 . Этим обусловлены различия в скорости формирования активной фазы, её дисперсности и, как следствие, в селективности по жидким дистиллятам и склонности к коксообразованию [1]. Ранее было показано [2], что использование тетратиомолибдата тетраалкиламмония обеспечивает рост выхода жидких фракций и снижение коксообразования при гидроконверсии асфальта в среде низкомолекулярного разбавителя. В этой связи представляет интерес сравнение различных типов маслорастворимых молибденсодержащих прекурсоров: классических карбоксилатов и тиомолибдатов тетраалкиламмония – применительно к гидрокрекингу гудрона.

Объектами исследования выступали нефтяной гудрон и кубовый остаток каталитического крекинга ОАО «Мозырский НПЗ». Гидрокрекинг смеси гудрона и кубового остатка проводили в качающемся автоклаве Parr 4923 объемом 250 мл, оснащенном ПИД-регулятором температуры Parr 4843 и пружинным манометром. Количество остатка каталитического крекинга в смеси составляло 7 мас. %. Катализаторы гидроконверсии (сульфиды молибдена) получали *in situ* в реакционной смеси в результате разложения маслорастворимых прекурсоров – тетратиомолибдата додецилдиметилбензиламмония и 2-этилгексаноата молибдена. Дозировка металла катализатора – 0,1 мас. % на сырье. Начальное давление водорода в автоклаве составляло 70 бар, заданная температура – 390°C , продолжительность гидрокрекинга – 18 мин. В процессе нагрева до заданной температуры в опыте без катализатора наблюдался перегрев реакционной смеси до 440°C . В опытах с добавлением прекурсоров дисульфида молибдена регулятор отрабатывал достаточно точно и максимальная температура в автоклаве не превышала 400°C .

Образовавшейся в процессе гидрокрекинга кокс отфильтровывали от реакционной смеси на воронке Бюхнера с помощью мембранныго фильтра Porafil TE, 0,20 мкм. От гидрогенизата отгоняли бензиновую ($t_{\text{к.к.}} = 180^\circ\text{C}$) и дизельную ($t_{\text{к.к.}} = 350^\circ\text{C}$) фракции путем атмосферно-вакуумной разгонки. Кубовый остаток атмосферно-вакуумной разгонки разделяли на асфальтены и мальтены методом Маркусона [3]. Данные о выходе продуктов гидрокрекинга представлены в таблице 1. Физико-химические свойства бензиновой и дизельной фракций приведены в таблицах 2, 3 соответственно.

Таблица 1 – Выход продуктов гидрокрекинга, мас. %

Наименование продукта	без катализатора	в присутствии 2-этилгексаноата Mo	в присутствии тетратиомолибдата додецилдиметил-бензиламмония
Газ	18,4	8,9	7,4
Бензиновая фракция	21,1	7,9	7,1
Дизельная фракция	25,5	20,0	19,9
Кубовый остаток, в т.ч асфальтены*	19,6 2,6	62,0 9,1	64,9 10,8
мальтены	17,0	52,8	54,1
Кокс	15,4	1,2	0,7

Примечание. Содержание асфальтенов в гудроне – 7,9 мас. %.

Проведение процесса гидрокрекинга в присутствии маслорасторимых прекурсоров катализатора значительно снижает газо- и коксообразование в системе по сравнению с некатализитическим опытом. Одновременно снижается выход бензина и средних дистиллятов на фоне увеличения масляных фракций в остатке перегонки.

Таблица 2 – Физико-химические свойства бензиновой фракции

Наименование продукта	без катализатора	в присутствии 2-этил-гексаноата Mo	в присутствии тетратиомолибдата додецилдиметил-бензиламмония
Плотность при 20°C, кг/м ³	729,8	727,6	735,4
ЙЧ, г I ₂ /100 г	29,9	30,9	37,3
Показатель преломления	1,4891	1,4784	1,481
Содержание серы, ppm	4949	3421	4465
Теплота сгорания, кДж/кг	43591	44682	44539
Анилиновая точка, °C	48,6	54,1	49,8
H/C _{ат}	1,44	1,63	1,60

Таблица 3 – Физико-химические свойства дизельной фракции

Наименование продукта	без катализатора	в присутствии 2-этил-гексаноата Mo	в присутствии тетратиомолибдата додецилдиметил-бензиламмония
Плотность при 20°C, кг/м ³	871,3	856,9	861,7
ЙЧ, г I ₂ /100 г	15,6	20,4	22,4
Показатель преломления	1,4280	1,4142	1,4184
Содержание серы, ppm	16699	14535	15123
Теплота сгорания, кДж/кг	44377	44930	44913
Анилиновая точка, °C	46,3	57,6	53,9
H/C _{ат}	1,64	1,73	1,73

Установлено, что введение прекурсоров каталитически активного дисульфида молибдена в нефтяной гудрон в процессе его гидрокрекинга оказывает существенное влияние на относительное протекание первичных реакций деструкции, приводящих к образованию свободных радикалов, и вторичных реакций синтеза с участием этих радикалов. Так, в отсутствие катализатора наряду с эндотермическими реакциями крекинга молекул сырья интенсивно протекают экзотермические реакции конденсации и полимеризации продуктов крекинга, что обусловливает значительный суммарный экзотермический эффект и перегрев в начале процесса, приводящий к усиленному коксообразованию. В результате добавления каталитического прекурсора протекание вторичных реакций синтеза в значительной мере подавляется за счет гидрирования первичных радикалов, небольшой экзотермический эффект которого компенсируется эндотермическим эффектом реакций крекинга. Вследствие этого удается точно поддерживать температурный режим процесса гидрокрекинга и избегать образования кокса.

По данным таблиц 2 и 3, введение маслорасторимых прекурсоров приводит к заметному обогащению светлых фракций парафиновой/нафтеновой составляющей: фиксируется рост атомарного отношения Н/С, снижение показателя преломления и увеличение анилиновой точки, что указывает на уменьшение ароматичности. При этом за счет подавления вторичных превращений первичных олефинов термического крекинга растет показатель йодного числа. Одновременно снижается содержание серы в обеих фракциях, причем эффект выражен сильнее при использовании 2-этилгексаноата молибдена.

Таким образом, независимо от своей природы прекурсоры дисульфида молибдена успешно справляются со своей главной функцией: стабилизацией первичных продуктов деструкции сырья и, как следствие, снижением газо- и коксообразования в системе. Дисперсный дисульфид молибдена способствует росту гидрирующей активности системы, снижая ароматичность и повышая содержание насыщенных углеводородов в дистиллятных фракциях. При этом 2-этилгексаноат Мо обеспечивает более глубокое гидрирование и гидрообессеривание, а тетратиомолибдат додецилдиметилбензиламмония – лучшее снижение газо- и коксообразования.

Для более глубокого превращения вакуумного остатка в дистиллятные продукты при минимальном газо- коксообразовании необходимо увеличивать температуру и продолжительность гидрокрекинга при сохранении текущей концентрации прекурсоров.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Review of Molybdenum Disulfide Research in Slurry Bed Heavy Oil Hydrogenation / X. Zhang, B. Chen, J. Wang [et al.] // ACS Omega. – 2023. – Vol. 8, № 21. – P. 18400-18407.
2. Трусов, К. И. Особенности гидрокрекинга асфальта в присутствии наноразмерных сульфидов молибдена и никеля / К. И. Трусов, А. И. Юсевич, В. Е. Агабеков // Нефтегазохимия - 2023: Материалы VI Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 01–03 ноября 2023 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2023. – С. 36-39.

УДК 674.817-41

**Кузёмкин Д.В., Юсевич А.И.,
Герман Н.А., Осипёнок Е.М.,
Прищепенко Д.В., Войтов И.В.
(Белорусский государственный
технологический университет)**

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРПЕНО-НЕФТЕПОЛИМЕРНОЙ СМОЛЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

В производстве древесных плит и фанеры особое место занимает связующие составы, содержащие карбамидоформальдегидные, феноло-формальдегидные и карбамидомеламиноформальдегидные смолы. Эти смолы относятся к группе термореактивных, т.е. при нагревании они сначала переходят в вязкотекучее состояние, а затем в твердое необратимое состояние, что обеспечивает прочность готового изделия [1].

К экологической безопасности древесно-стружечных плит (ДСП), в силу их широкого использования в изготовлении мебели, предъявляются жесткие требования, так как в процессе их производства и эксплуатации происходит выделение свободного формальдегида, оказывающего вредное воздействие на человека и окружающую среду [2]. При этом основным источником свободного формальдегида является связующее на основе карбамидоформальдегидных смол (КФС). Их широкое использование обусловлено более низкой стоимостью по сравнению с другими синтетическими смолами, высокой адгезией к компонентам древесины наряду с низкой адгезией к металлическим поверхностям главного конвейера в производстве ДСП. Реакционная способность

связующего на основе КФС определяется содержанием свободного формальдегида, однако он снижает химическую безопасность готовых плитных материалов [1]. При этом на интенсивность выделения свободного формальдегида оказывают влияние ряд факторов: свойства применяемой смолы, и в первую очередь содержание в ней свободного формальдегида, расход КФС, условия прессования плит (влажность осмоловенного сырья, температура и продолжительность прессования), вид и расход модификатора. В связи с этим КФС подвергаются химической модификации как в процессе их синтеза, так и на стадии приготовления связующего, что в конечном итоге приводит к повышению эффективности производства древесных плитных материалов [3].

Известен способ повышения показателей качества готовых плит за счет использования связующего на основе нескольких типов синтетических смол [1]. На основании этого представилось интересным использование связующего, состоящего из композиции КФС и углеводородной терпено-нефтеполимерной смолы (ТНС), выполняющей функцию модификатора.

Углеводородную смолу синтезировали из скрипидара и фракции ≤ 340 °C тяжелой смолы пиролиза в присутствии катализатора Фриделя-Крафтса при температуре минус 20 °C. Выход ТНС составил 36,9%. Затем готовили водную микродисперсию ТНС, которую в дальнейшем использовали в качестве компонента связующего на основе промышленной КФС марки КФС-110 для последующего получения древесно-стружечных плит.

Показатели качества используемых смол приведены в таблице 1.

Как видно из табл. 1 показатели качества углеводородной ТНС соответствуют требованиям ГОСТ 14231-88 для КФС за исключение показателя массовой доли сухого остатка.

Далее в лабораторных условиях при температуре 180 °C и максимальном усилии прессования 140 кН методом горячего плоского прессования смешанной с анализируемыми видами связующего древесной стружки были изготовлены трехслойные дресно-стружечные плиты (ДСтП) толщиной 16 мм.

В качестве синтетического связующего для получения контрольных образцов ДСтП использовалась произведенная в ОАО «Речицадрев» КФС марки КФС-110.

В ходе эксперимента на стадии смешивания древесной стружки со связующим для сравнения с контрольной смолой марки КФС-110 были использованы ее композиции с углеводородной ТНС.

Композиции связующего соответствовали следующему составу: №1 – 100 масс.ч. КФС-110 (контроль); №2 – 95 масс.ч. КФС-110 + 5 масс.ч. ТНС; №3 – 90 масс.ч. КФС-110 + 10 масс.ч. ТНС.

Таблица 1 – Показатели качества синтетических смол

Наименование параметра	Вид синтетической смолы		
	ГОСТ 14231-88	Контрольная смола (КФС-110)	Модифицирующая добавка (ТНС)
Внешний вид	Однородная суспензия от белого до светло-желтого цвета без посторонних включений	Однородная суспензия белого цвета без посторонних включений	Однородная суспензия светло-желтого цвета без посторонних включений
Массовая доля сухого остатка, %	65-68	66	60
Массовая доля свободного формальдегида, %, не более	0,15-0,9	0,12	0
Условная вязкость при $(20,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, с	30-90	59	44
Концентрация водородных ионов, pH	7,0-8,5	7	7
Предельная смешиваемость смолы с водой, при которой наблюдается коагуляция, в соотношении по объему, не менее	1:2	1:2	1:2

После изготовления ДСтП на основе используемых композиций связующего в соответствии с ГОСТ 10632-2014 были определены их физико-механические показатели и содержание формальдегида (таблица 2).

Анализ таблицы 2 показывает, что физико-механические показатели образцов ДСтП соответствуют требованиям ГОСТ 10632-2014. При этом образец ДСтП №3, содержащий в своем составе 90 масс.ч. КФС-110 и 10 масс.ч. ТНС имеет наименьшее содержание свободного формальдегида (5,2 мг/100 г абс. сухой плиты), что соответствует классу эмиссии формальдегида Е 1.

Таким образом, исходя из полученных экспериментальных данных, можно рекомендовать к использованию композицию связующего - 90 масс.ч. КФС-110 и 10 масс.ч. ПС, позволяющую получать ДСтП с минимальным содержанием формальдегида в своем составе.

Таблица 2 – Характеристика образцов ДСтП

Параметр	ГОСТ 10632-2014	Номер образца		
		№1	№2	№3
Влажность, %	(5÷13)	5	5	5
Водопоглощение, %	–	104,3	101,39	95,19
Плотность, кг/м ³	(550÷820)	551	643	578
Предел прочности при изгибе, МПа	≥11	14	11	11
Содержание формальдегида в плите, мг/100 г абс. сухой плиты: - для класса эмиссии формальдегида Е 0,5 - до 4,0 вкл.; - для класса эмиссии формальдегида Е 1 - св. 4,0 до 8,0 вкл.; - для класса эмиссии формальдегида Е 2 - св. 8,0 до 20,0 вкл.	ГОСТ 27678-88	8,7 (Е 2)	8,4 (Е 2)	5,2 (Е 1)

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев В.П., Кондращенко В.И., Шредер В.Е. Синтетические смолы в деревообработке. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, – 2013. – 412 с.
2. Кожемяко А.А., Куземкин Д.В., Гончар А.Н., Дубоделова Е.В., Шпак С.И. Применение поликарбоксилатных лигнинов в синтезе карбамидоформальдегидных смол // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2023. – № 1 (265). – С. 104-111.
3. Влияние модификаторов на технологические параметры модифицированных карбамидоформальдегидных олигомеров / В.И. Азаров [и др.] // Лесной вестник. – 2009. – № 2. – С. 129-133.

**Aripdjanov O.Yu., Hakimov R.I.,
Zokhidjonov S.A., Olimov A.A.**
(Tashkent Institute of Chemical Technology)

PROSPECTS FOR THE USE OF FOAM GLASS GRANULES IN THE INDUSTRY OF UZBEKISTAN: THERMAL INSULATION AND CORROSION RESISTANCE

Abstract. This research studies the prospects of using foam glass granules as a material for **thermal insulation** and **corrosion protection** in industrial enterprises of Uzbekistan, particularly in gas processing complexes. Experimental results have shown that foam glass possesses low thermal conductivity, chemical inertness, water resistance, and high thermal stability, making it an effective solution for enhancing energy efficiency and protecting metal equipment from corrosion. The application of foam glass coatings can reduce heat loss by 25–30% and decrease corrosion rates by 90–95% on metal surfaces.

Introduction. Energy efficiency and corrosion resistance of technological equipment are among the most urgent issues in Uzbekistan's industrial sector. In gas processing, petrochemical, and energy industries, heat loss and metal corrosion significantly reduce production efficiency and increase maintenance costs. Therefore, the use of modern materials with both energy-saving and protective properties is becoming increasingly important.

One of the promising materials in this field is **foam glass granules**, produced by recycling glass waste. This material is environmentally friendly, lightweight, mechanically strong, and exhibits excellent thermal insulation performance.

Physicochemical Properties of Foam Glass Granules. Foam glass granules have a highly porous structure with a thermal conductivity of **0.05–0.08 W/m·K**, making them ideal for high-temperature thermal insulation. The material is non-combustible, water-resistant, chemically inert, and mechanically durable.

Table 1 – Test results of foam glass granule samples

Parameter	Value
Aluminum oxide (Al_2O_3)	28–32%
Iron oxide (Fe_2O_3)	0.5–0.8%
Silicon dioxide (SiO_2)	52–55%
Titanium oxide (TiO_2)	0.45%
Moisture	15–20%
pH value	7.5–8.4
Granule diameter	0.6–12 mm
Total porosity	0.51 cm^3/g
Specific surface area	210 m^2/g
Abrasion resistance	70%
Density	780 g/dm^3

The results confirm the high stability and chemical inertness of the foam glass material.

Efficiency of Foam Glass in Thermal Insulation. In Uzbekistan, foam glass granules can be effectively used as insulation material in **Muborak**, **Shurtan**, and **Kandym** gas processing plants for technological pipelines and heat exchangers. The temperature of process gases in these facilities reaches **500–800 °C**, leading to significant heat loss.

When pipelines were insulated with foam glass coatings, heat loss was reduced by up to **27%**, and no condensation was observed on the surface. Such insulation improves the overall energy efficiency of technological systems and extends the service life of equipment.

Foam Glass as an Anti-Corrosion Protection Material. In gas processing and petrochemical facilities, metal structures are exposed to aggressive environments containing H_2S , SO_2 , CO_2 , and water vapor, which cause intensive corrosion. Foam glass provides **dual protection** against this process:

1. **Physical protection** – it prevents water and gas penetration to the metal surface.

2. **Chemical protection** – its inert structure does not react with metals or aggressive media.

Experimental studies have shown that steel surfaces coated with foam glass and tested for **500 hours** in aggressive environments exhibited a **90–95% reduction** in corrosion rate. The optimal performance was achieved with granule diameters of **2–5 mm** and coating thicknesses of **20–40 mm**.

For example, experimental tests at the **Shurtan Gas Chemical Complex** demonstrated that the corrosion rate of pipelines protected by foam glass coatings did not exceed **0.01 mm/year**, which is five times lower than conventional paint-based coatings.

Environmental and Economic Benefits. Foam glass is an **eco-friendly** and **non-combustible** material produced from recycled glass waste. Its local production would not only reduce waste accumulation but also substitute imported corrosion protection materials, creating added value within the domestic industry.

Establishing local foam glass production in Uzbekistan would:

- reduce dependency on imported materials;
- enable waste-to-product conversion;
- improve energy efficiency and technological sustainability in the industrial sector.

Conclusion. Foam glass granules have great potential for improving both **energy efficiency** and **technological durability** in Uzbekistan's industrial sector. Due to their low thermal conductivity, impermeability, chemical inertness, and stability at high temperatures, these materials can serve as effective solutions for **thermal insulation** and **corrosion protection** of equipment in gas processing and petrochemical plants.

The introduction of foam glass-based coatings can significantly enhance **energy savings**, **environmental safety**, and **the operational lifetime of industrial facilities** across the country.

REFERENCES

1. F. Xolmurodov, *Industrial Thermal Insulation Materials*, Tashkent: Fan, 2021.
2. A. Karimov, "Energy-saving technologies under Uzbekistan's conditions," *Journal of Energy Engineering*, no. 3, 2022.

3. M. Qodirov, "Reducing heat losses in gas processing technologies," *Oil and Gas Problems*, no. 2, 2024.
4. I. Yusupov, *Technology of Anti-Corrosion Materials*, Tashkent: National University of Uzbekistan, 2020.
5. S. Zhang et al., "Corrosion resistance of foam glass composites," *Materials Science Reports*, vol. 14, no. 6, 2023.
6. B. Abduganiyev, "Corrosion issues and their elimination in gas processing plants," *Uzbekistan Journal of Energy*, no. 2, 2023.

**Aripdjanov O.Yu, Sayidaxmedov I.M.,
Hakimov R.I., Zohidjonov S.A.
(Toshkent kimyo-texnologiya institute)**

O'ZBEKISTON SANOATIDA PENOSTEKLO GRANULALARINING ISSIQLIK IZOLYATSİYASIDAGI AHAMIYATI VA ENERGIYA TEJAMKORLIKDAGI ROLI

Annotatsiya Ushbu ishda O'zbekiston sanoat korxonalarida, xususan gazni qayta ishlash majmualarida penosteklo granulalarining issiqlik izolyatsiyasi sifatida qo'llanish imkoniyatlari o'r ganilgan. Tadqiqotlar natijasida penosteklo materialining issiqlik o'tkazuvchanligi past, kimyoviy inert va yuqori haroratga chidamli ekani aniqlangan. Bu xususiyatlar texnologik quvurlar va issiqlik almashinuvi apparatlarida energiya tejamkorlikni oshirish hamda issiqlik yo'qotilishini kamaytirishda samarali yechim bo'lishini ko'rsatdi.

O'zbekiston sanoatida energiya tejamkorligi muammosi dolzARB masalalardan biridir. Gazni qayta ishlash, kimyo va neft-gaz sohalarida issiqlik yo'qotilishi ishlab chiqarish xarajatlarining sezilarli qismini tashkil etadi. Ayni paytda, mamlakatda energiya resurslarini tejash, texnologik liniyalarda issiqlik samaradorligini oshirish va uskunalarining xizmat muddatini uzaytirish maqsadida yangi materiallardan foydalanish zarurati ortib bormoqda. Shunday istiqbolli materiallardan biri — penosteklo granulalaridir. Bu material tabiiy shisha chiqindilarini qayta ishlash orqali olinadi va ekologik toza, yengil hamda yuqori issiqlik izolyatsion xususiyatlarga ega.

Penosteklo granulalari o'zining ko'p g'ovakli tuzilishi tufayli juda past issiqlik o'tkazuvchanlikka ega (0.05–0.08 W/m·K), bu esa uni issiqlik izolyatsiyasi uchun ideal materialga aylantiradi. Ularning asosiy afzalligi shundaki, ular yonmaydi, suvni singdirmaydi, kimyoviy inert va mexanik bosimlarga bardoshli. O'zbekiston sharoitida penosteklo granulalari asosan gazni qayta ishlash va neft-kimyo korxonalarida — xususan, **Muborak gazni qayta ishlash zavodi, Sho'rtan gaz-kimyo majmuasi va Qandim gazni qayta ishlash majmuasida issiqlik izolyatsiyasi uchun qo'llanishi mumkin.**

Bu korxonalarda ishlatilayotgan metall quvurlar va issiqlik almashinuv apparatlari orqali o‘tuvchi gazlarning harorati 500–800 °C gacha yetadi. Shu sababli issiqlik yo‘qotilishi katta bo‘lib, ishlab chiqarish samaradorligiga salbiy ta’sir qiladi. Penosteklo asosidagi izolyatsiya qoplamlalarini joriy etish natijasida issiqlik yo‘qotilishini 25–30 % gacha kamaytirish, gazni qayta ishlash jarayonining energetik samaradorligini oshirish mumkin.

Shuningdek, penosteklo granulalari metall korpuslar bilan mukammal moslashadi va harorat o‘zgarishlariga nisbatan yuqori barqarorlik ko‘rsatadi. Bu esa ularni uzoq muddat xizmat qiluvchi, texnik xizmat ko‘rsatish xarakatlari past bo‘lgan materiallar qatoriga kiritadi.

1-jadval – Granulalangan penosteklo namunasi sinov natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan

Параметр	Значение
Alyuminiy oksidi (Al_2O_3)	28–32%
Temir oksidi (Fe_2O_3)	0,5–0,8%
Kremniy dioksidining (SiO_2)	52,0–55,0%
Titan oksidi (TiO_2)	0,45%
Namlik	15–20%
pH qiymati	7,5–8,4
Granulalar diametri	0,6–12 мм
Umumiy g‘ovaklik hajmi	0,51 см ³ /г
Sirtning solishtirma yuzasi	210 м ² /г
Ishqalanishga (yemirilishga) chidamliligi	70%
Zichligi	780 г/дм ³

Tajriba ma’lumotlariga ko‘ra, penosteklo bilan qoplangan issiqlik quvurlarida harorat yo‘qotilishi 27 % gacha kamaygan, shu bilan birga quvurlarning yuzasida kondensatsiya hodisalari kuzatilmagan. Materialning ekologik tozaligi va qayta ishlanadigan chiqindilardan olinishi O‘zbekiston uchun alohida ahamiyatga ega, chunki mamlakatda shisha chiqindilari katta hajmda to‘planmoqda.

Bundan tashqari, penosteklo izolyatsiyasi nafaqat energiya tejamkorlikni ta’minlaydi, balki uskunalarning korroziyadan himoyalanishiga ham xizmat qiladi, chunki u namlikni o‘tkazmaydi va agressiv kimyoviy moddalar ta’siriga bardosh beradi.

Penosteklo granulalarini O‘zbekiston sanoat korxonalarida issiqlik izolyatsiyasi sifatida qo‘llash katta iqtisodiy va ekologik samara beradi. Mahalliy xom ashyolardan ushbu materialni ishlab chiqarish orqali import o‘rnini bosish va chiqindilardan foydali mahsulot olish mumkin. Kelgusida penosteklo asosidagi izolyatsion tizimlarni keng joriy etish energetik barqarorlikni mustahkamlaydi va sanoat korxonalarining raqobatbardoshligini oshiradi.



1-rasmda olingan granulalangan penosteklo namunasi ko'rsatilgan

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. F. Xolmurodov, "Sanoat issiqlik izolyatsiyasi materiallari," Toshkent: Fan, 2021.
2. A. Karimov, "O'zbekiston sharoitida energiya tejamkor texnologiyalar," *Energetika jurnali*, №3, 2022.
3. "Foam glass insulation materials for energy efficiency," *Journal of Thermal Engineering*, vol. 8, no. 2, 2023.
4. M. Qodirov, "Gazni qayta ishlash texnologiyalarida issiqlik yo'qotilishini kamaytirish," *Neft va gaz muammolari*, №2, 2024.

**Aripdjanov O.Yu, Sayidaxmedov I.M.,
Hakimov R.I., Zohidjonov S.A., Olimov A.A.
(Toshkent kimyo-texnologiya institute)**

NEFT VA GAZ SANOATIDA USKUNALARING KORROZIYAGA CHIDAMLILIGINI OSHIRISHDA PENOSTEKLO GRANULALARIDAN FOYDALANISH ISTIQBOLLARI

Annotatsiya Mazkur ishda O'zbekiston neft va gaz sanoatida ishlataladigan texnologik uskunalarni korroziyadan himoya qilishda penosteklo granulalaridan foydalanish istiqbollari o'r ganilgan. Penostekloning kimyoviy inertligi, namlikni o'tkazmasligi va yuqori haroratda barqarorligi uni metall yuzalar uchun ishonchli

himoya materiali sifatida qo'llash imkonini beradi. Tadqiqot natijalari penosteklo qoplamlari korroziyani 90–95 % gacha kamaytirishini va uskunalarining xizmat muddatini uzaytirishini ko'rsatdi.

O'zbekiston neft va gaz sanoatida foydalanilayotgan texnologik uskunalar, quvurlar va reaktorlar asosan agressiv muhitlarda ishlaydi. Bunday sharoitlarda metall konstruksiyalar tezda korroziyalanadi, bu esa ishlab chiqarish samaradorligining pasayishiga, ekspluatatsiya xarajatlari ning ortishiga va ekologik xavfsizlikning kamayishiga sabab bo'ladi. Shu bois, zamonaviy korroziyaga qarshi materiallardan foydalanish masalasi bugungi kunda muhim ahamiyat kasb etmoqda. Penosteklo granulalari so'nggi yillarda korroziyaga qarshi himoyada istiqbolli material sifatida e'tirof etilmoqda. Ularning inertligi, namlikka chidamliligi, yuqori mexanik barqarorligi va kimyoviy barqarorligi bu materialni neft-gaz sanoati uchun qulay yechimga aylantiradi.

Korroziya jarayoni metallning kislorod, suv bug'lari yoki gazdagagi oltingugurt birikmalari bilan o'zaro ta'siri natijasida yuzaga keladi. O'zbekiston gazni qayta ishlash korxonalarida — **Muborak GQIZ, Gazli** va **Qandim** majmularida — tabiiy gaz tarkibida 1–3 % gacha vodorod sulfid (H_2S) mavjud bo'lib, u metall yuzalarda faol korroziyani keltirib chiqaradi. An'anaviy himoya usullari (bo'yoq, qoplama, metall qotishmalar) qisqa muddatli samarani beradi, chunki yuqori harorat ($800\text{--}900\ ^\circ C$) va kimyoviy agressiv gazlar ularni tezda yemiradi.

Penosteklo granulalari esa bu muammoga kompleks yechim beradi. Ularning kimyoviy inertligi metall yuzasini to'liq himoya qiladi, suv va gazning o'tishiga to'sqinlik qiladi. Materialning eritish harorati $1000\ ^\circ C$ dan yuqori bo'lgani sababli u yuqori haroratli pechlarda ham barqaror ishlaydi. Granulalarning g'ovak tuzilishi issiqlikni yomon o'tkazadi, bu esa bir vaqtning o'zida **issiqlik izolyatsiyasi va korroziyadan himoyani ta'minlaydi**.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, penosteklo qoplamlari bilan himoyalangan po'lat yuzalar agressiv muhitda 500 soat davomida sinovdan o'tkazilganda, korroziya darajasi 90–95 % gacha kamaygan. Bunda granulalarning o'lchami (2–5 mm) va qoplama qalinligi (20–40 mm) optimal natijani bergen.

Granulalangan penostekloning fizik-kimyoviy xususiyatlarini tahlil qilish bo'yicha. Sinovlar natijasida 1 kg miqdorda granulalangan penosteklo namunasi olindi. Taklif etilayotgan materialning fizik-kimyoviy xususiyatlari tarmoq bo'yicha ishlab chiqilgan yo'riqnomalar va texnik shartlarda (tegishli reglament hujjatlarini ko'rsatish kerak) bayon etilgan metodikalarga muvofiq baholandi. Tadqiqot o'tkazishdan oldin namunalar $110\text{--}115\ ^\circ C$ haroratda quritish shkafida quritildi, shundan so'ng ularning sifat ko'rsatkichlari bo'yicha tahlil amalga oshirildi.

1-jadval – Granulalangan penosteklo namunasi sinov natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan

Параметр	Значение
Alyuminiy oksidi (Al_2O_3)	28–32%
Temir oksidi (Fe_2O_3)	0,5–0,8%
Kremniy dioksidining (SiO_2)	52,0–55,0%
Titan oksidi (TiO_2)	0,45%
Namlik	15–20%
pH qiymati	7,5–8,4
Granulalar diametri	0,6–12 мм
Umumiy g'ovaklik hajmi	0,51 см ³ /г
Sirtning solishtirma yuzasi	210 м ² /г
Ishqalanishga (yemirilishga) chidamliligi	70%
Zichligi	780 г/дм ³

Penosteklo granulalarining amaliy sinovlari O'zbekiston sharoitida samarali ekanligini isbotladi. Masalan, **Sho'rtan gaz-kimyo majmuasida** olib borilgan eksperimental sinovlarda, granulalar bilan qoplangan quvurlarda korroziya tezligi 0,01 mm/yildan oshmagan, bu esa an'anaviy bo'yoqli qoplamlarga nisbatan 5 barobar past natijadir.

Bundan tashqari, penosteklo materiallari ekologik jihatdan xavfsizdir — ular yonmaydi, zararli moddalar ajratmaydi, chiqindisiz ishlab chiqariladi. Shu sababli, korxonalarda ushbu materialdan foydalanish nafaqat iqtisodiy, balki ekologik afzallik ham beradi.

Mahalliy xom ashyolardan penosteklo ishlab chiqarish texnologiyasi yo'lga qo'yilsa, bu O'zbekistonda korroziyaga qarshi import materiallarga bo'lgan ehtiyojni kamaytiradi va yangi qo'shilgan qiymatli mahsulot yaratadi.



1-rasmda olingan granulalangan penosteklo namunasi ko'rsatilgan

Penosteklo granulalari neft va gaz sanoatidagi metall uskunalar uchun ishonchli, uzoq muddatli va ekologik toza himoya vositasidir. Ularning issiqlikni yomon o'tkazish, suvni o'tkazmaslik va kimyoviy inertlik xususiyatlari O'zbekiston sharoitidagi yuqori namlik va agressiv muhitlarda korroziya xavfini keskin kamaytiradi.

Kelgusida ushbu materiallarni ishlab chiqarish va amaliyotga joriy etish orqali mamlakat sanoatida energiya tejamkorlik va texnologik barqarorlik darajasini oshirish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. I. Yusupov, "Korroziyaga qarshi materiallar texnologiyasi," Toshkent: O'zbekiston Milliy universiteti, 2020.
2. S. Zhang et al., "Corrosion resistance of foam glass composites," *Materials Science Reports*, vol. 14, no. 6, 2023.
3. "Gaz sanoatida himoya materiallarining rivoji," *Neft va gaz texnologiyalari jurnali*, №5, 2022.
4. B. Abdug'aniyev, "Gazni qayta ishlash korxonalarida korroziya muammolari va ularni bartaraf etish," *O'zbekiston Energetika jurnali*, №2, 2023.

УДК 678.074

**Францкевич В.С., Касперович А.В.,
Боброва В.В., Боровский Д.Н.**

(Белорусский государственный
технологический университет)

АНАЛИЗ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТА

Введение. Модификация бентонита жирными кислотами – это ключевой процесс, который превращает его из гидрофильного в гидрофобный материал, значительно расширяя область его применения. Это происходит путем замены неорганических катионов на органические катионы или молекулы жирных кислот. Физические свойства бентонита определяются его уникальным слоистым строением и дисперсным составом. Исходя из гранулометрического состава (дисперсности) его можно охарактеризовать как ультрадисперсный материал с размер частиц преимущественно меньше 2 мкм (монтмориллонитовая фракция), но при этом с широким фракционным составом (от наноразмерных частиц до 50-100 мкм).

Изменение фракционного состава бентонита после модификации жирными кислотами – это сложный процесс, который зависит от

технологии модификации и может проявляться в нескольких направлениях. Основным эффектом изменения фракционного состава является агломерация и увеличение размера частиц. Механизм агломерации следующий: гидрофобные органические «хвосты» жирных кислот взаимодействуют между собой, образуя гидрофобные мостики между частицами. Частицы объединяются в более крупные агрегаты, в результате происходит уменьшение содержания фракции менее 20 мкм и увеличение фракций 20-50 мкм и 50-100 мкм с появлением агломератов размером 100-200 мкм. Последующая сушка технологической добавки также оказывает влияние на изменение гранулометрического состава. Так, при распылительной сушки образуются сферические гранулы размером 20-200 мкм, а при использовании барабанных сушилок – плотные комки размером 1-10 мм которые требуют дальнейшего помола.

Нежелательная агломерация (слеживаемость) – это основная проблема, с которой сталкиваются при производстве и хранении тонкодисперсного органо-бентонита. Основными причинами являются межчастичные силы Ван-дер-Ваальса. Силы притяжения между мелкими частицами очень велики. Чем мельче помол, тем сильнее выражена эта тенденция.

Остаточная влага или поглощенная из воздуха вода также может образовывать «мостики» между частицами, прочно связывая их. Хотя органо-бентонит гидрофобен, он не абсолютно влагостоек. При неправильном хранении (высокая температура) органические цепи жирных кислот могут размягчаться и действовать как клей, скрепляя частицы. Во время помола и транспортировки частицы накапливают статическое электричество, что способствует их слипанию.

Актуальность исследований гранулометрического состава модифицированного бентонита обусловлена его ключевым влиянием на функциональные свойства и эффективность применения в современных технологиях. Например, для полимерных композитов размер частиц определяет степень экфолиации и диспергирования в полимерной матрице. Крупные агломераты (>50 мкм) создают точки напряжения и ухудшают механические свойства.

Исследования гранулометрического состава модифицированного бентонита являются ключевым элементом в создании новых материалов с заданными свойствами. Они позволяют существенно улучшить эксплуатационные характеристики продуктов, снизить материалоемкость и энергозатраты, расширить области применения бентонитовых материалов, создать конкурентоспособную продукцию с высокой добавленной стоимостью.

Основная часть. Исследования гранулометрического состава технологической добавки на основе бентонита выполняется в рамках

отдельного проекта Министерства образования «Разработка рецептур эластомерных композиций различного назначения, содержащих технологически активную добавку многофункционального действия на основе природного сырья, и отработка технологических режимов изготовления резинотехнических изделий на их основе» с целью получение научно обоснованных предложений по выбору рационального способа воздействия на материал для получения продукта требуемой дисперсности с минимальными энергозатратами.

Анализ гранулометрического состава исходного продукта проводился путем обработки данных, полученных методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе JEOL JSM-5610 LV в Центре физико-химических методов БГТУ. В виду гидрофобности материала и интенсивного образования агломератов лазерный анализ размеров частиц и ситовой рассев не дали положительных результатов.

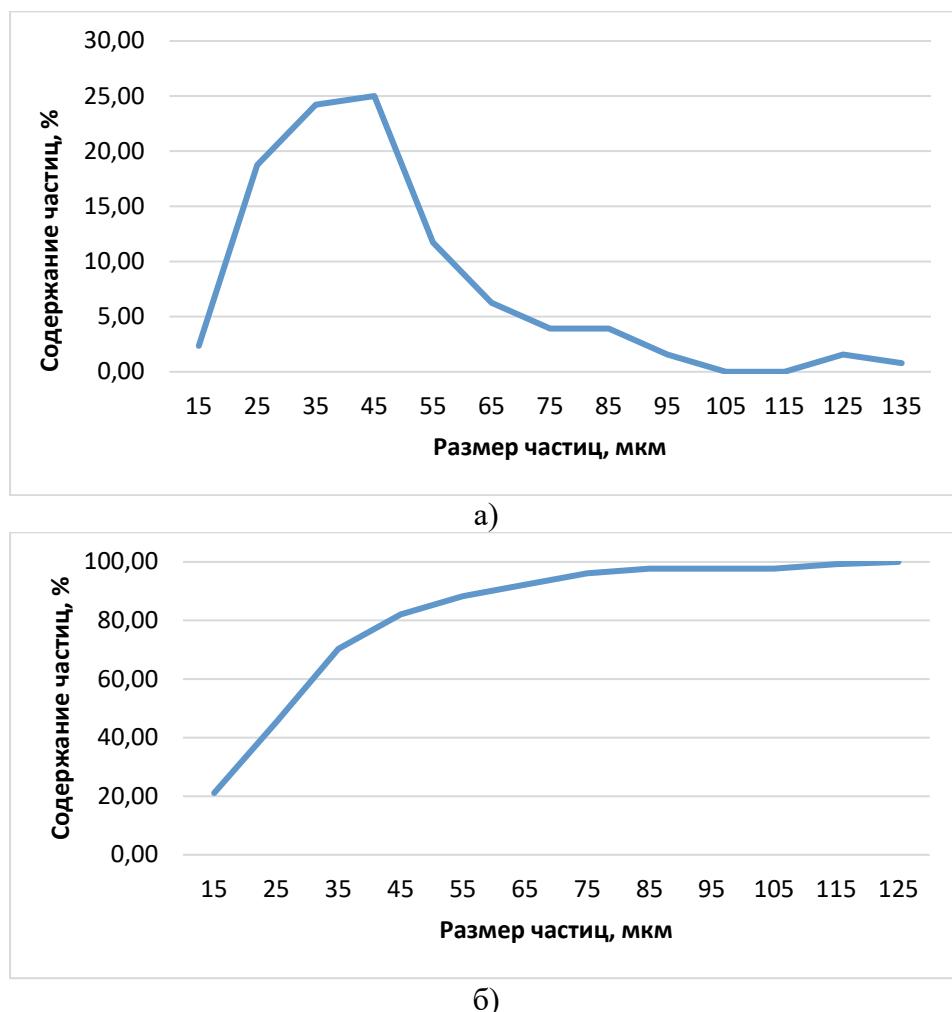


Рисунок 1 – Частная (а) и суммарная (б) характеристики крупности исходного продукта

Согласно рисунку 1 (а) доминирующими фракциями являются

- 20-30 мкм – 15,79% (максимальная концентрация)
- 50-60 мкм – 14,04%
- 30-40 мкм – 12,28%
- 40-50 мкм – 11,40%

При этом распределение по фракциям следующее (рис. 1, б):

- Мелкая фракция (<20 мкм) – 10,52%
- Средняя фракция (20-80 мкм) – 65,78%
- Крупная фракция (>80 мкм) – 23,70%

Общая характеристика представленной добавки с точки зрения гранулометрического состава следующая: порошок относится к мелко-дисперсной фракции, основная масса частиц сосредоточена в диапазоне 20-60 мкм (53,5%) с преобладанием частиц среднего размера.

Усредненное кумулятивное распределение следующее:

- $d_{10} \approx 25$ мкм (10% частиц мельче этого размера)
- $d_{50} \approx 45$ мкм (медианный размер – 50% частиц мельче)
- $d_{90} \approx 85$ мкм (90% частиц мельче этого размера)

По коэффициенту неоднородности порошка $U = d_{60}/d_{10} \approx 65/25 \approx 2,6$ его можно отнести к умеренно-неоднородному ($U < 5$ – считается достаточно однородным).

Исходя из гранулометрического состава технологической добавки на основе модифицированного жирными кислотами бентонита, она подходит в качестве наполнителя для полимерных композитов и компонентов красок и покрытий, сорбционных материалов, с рядом ограничений – для высококачественных полимерных композитов желательно больше частиц с размером менее 20 мкм, для некоторых сорбционных применений требуется более узкое распределение.

Необходимо отметить, что органолептический анализ порошка показал, что основная масса крупных фракций (более 50 мкм) представляют собой не отдельные частицы, а легко разрушающиеся агломераты. Анализ гранулометрического состава добавки после незначительного механического воздействия на агломераты показал его улучшение: d_{10} снизился до 18 мкм, медианный размер до 32 мкм, а d_{90} до 52 мкм. При этом коэффициент неоднородности уменьшился на 24 % до 2,1.

Выводы. Гранулометрический состав бентонита до и после модификации жирными кислотами являются критически важными и напрямую влияет на эффективность процесса модификации и конечные свойства продукта. Причем можно выделить два аспекта: требования к исходному бентониту и к модифицированному. Требования к гранулометрии исходного бентонита (перед модификацией) составляются

исходя из условия обеспечения максимальную эффективность взаимодействия между частицами бентонита и молекулами модификатора, которые достигаются высокой степень дисперсностью и тонким помолом. Требования к гранулометрии модифицированного бентонита формируются для обеспечения оптимальных функциональных свойств в конечном применении и сильно зависят от области применения.

Таким образом, дальнейшие исследования будут направлены на изучение влияния различных способов диспергирования технологически активной добавки на ее гранулометрический состав, форму получаемых частиц и удельную поверхность материала с целью получения научно обоснованных предложений по выбору рационального способа механического воздействия на материал для получения продукта требуемой дисперсности.

Секция II
ПОЛИМЕРНЫЕ, КОМПОЗИЦИОННЫЕ
И ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 678.71

Карманова О.В., Голякевич А.А., Меренкова Е.А.

(Воронежский государственный университет инженерных технологий)

Шашок Ж.С.

(Белорусский государственный технологический университет)

**ВЛИЯНИЕ СОСТВА КОМПЛЕКСНОГО АКТИВАТОРА
ВУЛКАНИЗАЦИИ НА КИНЕТИКУ СШИВАНИЯ
СИНТЕТИЧЕСКОГО ПОЛИИЗОПРЕНА**

Интерес к изучению серной активированной вулканизации в настоящее время не потерял своей актуальности несмотря на сложившиеся представления о механизме превращений, протекающих с участием оксида цинка как активатора вулканизации. Исследование взаимодействий между компонентами вулканизующей системы и природы промежуточных комплексов, которые образуются с участием оксида цинка оказывают благоприятно влияние на кинетику вулканизации, являются актуальными до сих пор, несмотря на долгую историю вулканизации [1].

Целью работы являлось изучение влияния соотношения компонентов комплексного активатора вулканизации (оксида цинка и стеариновой кислоты) на кинетику структурирования изопренового каучука и свойства резин на его основе.

Синтез комплексных активаторов вулканизации осуществляли в обогреваемом реакторе при 120 °C при постоянном перемешивании с промежуточным отбором проб с целью определения содержания непрореагировавшего оксида цинка и образовавшегося стеарата цинка.

Соотношение исходных компонентов: «ZnO+стеариновая кислота» составило 1:1 (образец 1) и 1:2 (образец 2).

Ранее показано положительное влияние на кинетику вулканизации активатора, в состав которого входит стеарат цинка и оксид цинка [2]: отмечается сокращение времени начала и времени достижения 90-% степени вулканизации при комбинировании оксида цинка и стеарата цинка. Установлено, что при соотношении исходных компонентов: «ZnO+ стеариновая кислота» = 1:1 расход оксида цинка постоянно

снижается в ходе реакции, при соотношении 1:2 – изменяется незначительно (рис. 1), что согласуется со стехиometрией реакции образования стеарата цинка, а по окончании процесса содержание в образцах отличается на 1% мас. При этом содержание ионов цинка в системе при всех исследуемых соотношениях не изменяется (рис. 2).

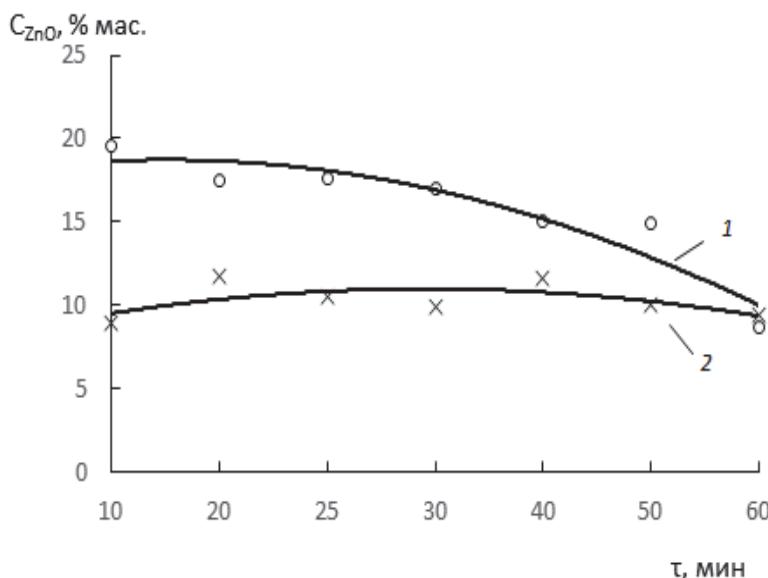


Рисунок 1 – Кинетика изменения содержания оксида цинка в ходе синтеза комплексного активатора вулканизации при разных соотношениях исходных компонентов:
1 – «ZnO:CtK» = 1:1; 2 – «ZnO: CtK» = 1:2

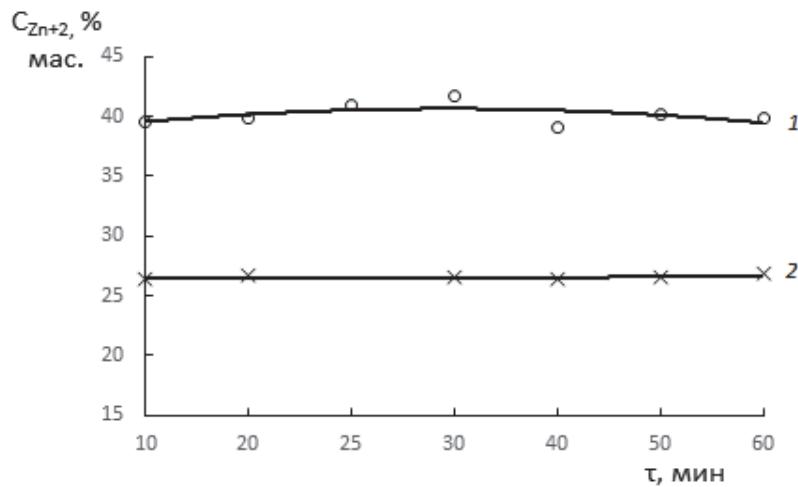


Рисунок 2 – Кинетика изменения содержания ионов цинка в ходе синтеза комплексного активатора вулканизации при разных соотношениях исходных компонентов:
1 – «ZnO:CtK» = 1:1; 2 – «ZnO: CtK» = 1:2;

Согласно теории коллоидно-химического и топохимического взаимодействия компонентов серных вулканизующих систем в резиновых смесях, взаимодействие серы, ускорителя, оксида и жирной кислоты определяется характером их диспергирования в резиновой смеси, адсорбцией на поверхности частиц оксида металла, наличием ПАВ, образующихся в результате реакции жирной кислоты с оксидом металла [3]. Таким образом, в среде неполярного каучука СКИ-3 образующийся стеарат цинка как ПАВ способен образовывать мицеллы, в ядре которых концентрированы полярные группы молекул, а углеводородные цепи формируют внешнюю оболочку, что способствует солюбилизации полярных компонентов серной вулканизующей системы и их распределению в объеме каучука с повышенной локальной концентрацией.

На следующем этапе работы изготовлены резиновые смеси на основе СКИ-3 с Сульфенамидом Ц и получены их вулканизаты. По результатам исследования вулканизационных характеристик резиновых смесей с помощью реометра D-RPA 3000 (ф. MonTech) произведена оценка кинетических параметров вулканизации с использованием программы ЭВМ [4]. Определено содержание свободной серы в вулканизатах и оценена степень сшивания по значениям концентрации поперечных связей, определенных методом равновесного набухания в толуоле (таблица 1).

Таблица 1 – Вулканизационно-кинетические и структурные параметры эластомерных композиций

Наименование показателей	Образец 1	Образец 2
<i>Вулканизационные характеристики, 155 °C</i>		
Время начала вулканизации, мин	1,7	2,9
Время 90-% степени вулканизации, мин	7,8	8,9
Скорость вулканизации, мин ⁻¹	16,3	1,4
<i>Кинетические параметры</i>		
Константа скорости в индукционном периоде	0,362	0,561
Константа скорости в главном периоде	0,925	0,782
<i>Структурные параметры</i>		
Содержание свободной серы, %	0,18	0,24
Эффективная концентрация поперечных связей ×10 ²⁰ , см ⁻³	8,1	7,2

Из данных таблицы 1 следует, что при соотношении «ZnO+стеариновая кислота» = 1:1 в комплексном активаторе вулканизации образцы образец 1 имеет преимущества по основным кинетическим и структурным характеристикам. С учетом данных рис. 1-2 можно сделать вывод о синергизме совместного действия оксида цинка и стеарата цинка, образующегося в процессе синтеза комплексного активатора вулканизации на кинетику процесса структурирования полизопрена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шершнев, В. А. Развитие представлений о роли активаторов серной вулканизации углеводородных эластомеров. Часть 1 / В. А. Шершнев // Каучук и резина. – 2012. – № 1. – С. 31–37.
2. Исследование свойств резин в присутствии композиционного активатора вулканизации / О. В. Карманова, С. Г. Тихомиров, Л. В. Попова, А. Ю. Фатнева // Каучук и резина. – 2020. – Т. 79, № 1. – С. 28–31.
3. Мухутдинов, А. А. Экологические аспекты модификации ингредиентов и технология производства шинт] / А. А. Мухитдинов, А. А. Нелюбин, Р. С. Ильясов и др. – Казань: Фэн, 1999. – 400 с.
4. Программное обеспечение задачи определения оптимального времени вулканизации резиновых смесей / С. Г. Тихомиров, О. В. Карманова, В. К. Битюков, А. А. Маслов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2018. – № 4. – С. 108–116.

УДК 677.494.6:678.82

Вишневская Т.А., Прокопчук Н.Р.

(Белорусский государственный технологический университет)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТА РЕБИНДЕРА У НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ ПА-6

Цель работы – доказать усиление межмолекулярных взаимодействий ПА-6 наночастицами с помощью различий в проявлении эффекта Ребиндера на модифицированных и не модифицированных образцах.

Физически активные (химически инертные) жидкости вызывают обратные изменения межмолекулярных взаимодействий в полимерах, а химически агрессивные - необратимые изменения, вызванные деструкцией макромолекул. Снижение прочности полимера при уменьшении межмолекулярных взаимодействий под воздействием физически агрессивных сред, является одной из форм известного эффекта Ребиндера. Жидкость, адсорбированная на поверхности полимера, даже в малых количествах, может сильно понижать его прочность. Разрушение полимера – это процесс развития новых поверхностей, сопровождающийся снижением межмолекулярных взаимодействий, а следовательно, существенным уменьшением работы разрушения, что проявляется в снижении прочности [1, 2].

Ранее, нами был предложен, экспериментально и теоретически обосновывается, механизм упрочнения ПА-6: наночастицы, имея на своей поверхности не скомпенсированный электрический заряд взаимодействуют с полярными группами макромолекул, при этом образуются дополнительные к существующим в не модифицированном полимере, межмолекулярные взаимодействия [1].

Наличие взаимодействия между поверхностью полимера и жидкостью, уменьшает потенциальный барьер его разрыва, фактически за счёт снижения межмолекулярных взаимодействий, так как химические связи при этом не меняют свой энергии [1, 3].

Эффект Ребиндера сильнее проявляется при адсорбции полярных жидкостей на полярных полимерах, поэтому для полярного ПА-6 было выбрана физически агрессивная полярная жидкость – вода. Время выдержки образцов ПА-6 в воде в течение часа при 20°C было достаточным для ее адсорбции на активных участках образцов и вершинах микротрещин. В работе [4] установлена четкая корреляция между понижением поверхностной энергии (α) и уменьшения предела вынужденной эластичности (σ) на системе полистирол-спирт. Поэтому исследование проводилось на растяжение, удар и изгиб в жёстких напряженных состояниях (без проявления пластических деформаций).

$$(\alpha_{\text{ж}}/\alpha_{\text{в}})^{1/2} = \sigma_{\text{ж}} / \sigma_{\text{в}}$$

где индекс ж – адсорбция жидкости; в – воздух.

Снижение устойчивости ПА-6 к механическим воздействиям при адсорбировании воды на поверхности образцов (лопаток, брусков), это является следствием экранирования водой межмолекулярных взаимодействий.

На границе раздела полимер-жидкость, под действием жидкой среды снижается межмолекулярное взаимодействие (макромолекулы «ограничиваются», механическая нагрузка сосредотачивается в основном на химических связях макромолекул, они легче разрываются, и как следствие, прочность полимера снижается [2].

Чем активнее жидкая среда, тем больше она снижает межмолекулярные взаимодействия, и тем меньше доля их остается на поверхности полимера.

Изменение предела текучести (σ_t), максимальной изгибающей нагрузки (F_u) и ударная вязкость по Шарпи с надрезом (K_u) при адсорбции воды на образцах ПА-6 представлены в таблице 1.

Фактически, проведенный эксперимент доказывает существование межмолекулярных взаимодействий, образованных наночастицами с полярными группами макромолекул ПА-6. Соответственно, в результате

воздействия воды, эффект Ребиндера на модифицированных образцах ПА-6 проявляется в меньшей степени.

Таблица 1 – Изменение предела текучести и деформации при пределе текучести при адсорбции воды на образцах ПА-6

Образец Показатель	До воздействия воды, н.у.			После воздействия воды		
	ПА-6	ПА-6, 0,015% масс. TiO_2	ПА-6, 0,015% масс. ZnO	ПА-6	ПА-6, 0,015% масс. TiO_2	ПА-6, 0,015% масс. ZnO
σ_t , МПа	52,4	62,2	57,8	42,8	55,8	51,1
F_h , Н	178,8	196,5	191,4	143,0	170,0	163,0
K_h , кДж/м ²	7,07	8,69	7,73	5,73	7,74	6,80

Снижение предела текучести в результате адсорбции воды составляет у чистого ПА-6 – 18,3 %, у ПА-6, содержащего 0,015 % масс. TiO_2 – 10,3 %, у ПА-6, содержащего 0,015 % масс. ZnO – 11,6 %. Снижение максимальной изгибающей нагрузки составляет соответственно: 20,0, 13,5 и 14,8%. Понижение ударной вязкости по Шарпи: 18,9, 10,9, 12,1% соответственно.

Как видно из полученных данных, снижение всех трех показателей механических свойств под действием адсорбционной воды носит аналогичную зависимость. В результате, основываясь на рассмотренных показателях можно расположить исследуемые образца в ряд по эффективности воздействия воды в поле механических сил: ПА-6 > ПА-6 0,015% ZnO > ПА-6 0,015% TiO_2 . Это согласуется с тем, что межмолекулярные взаимодействия возрастает в ряду: ПА-6 > ПА-6 0,015% ZnO > ПА-6 0,015% TiO_2 [1] и одновременно подтверждает полученными нами ранее данные об усилении межмолекулярных взаимодействий в ПА-6 наночастицами.

Эффект Ребиндера у наномодифицированных образцов ПА-6 проявляется в меньшей мере (меньше снижение рассматриваемых показателей), так как разрушение макромолекул происходит по аморфным областям, а степень кристалличности образцов повышается в ряду: ПА-6 < ПА-6 0,015% ZnO < ПА-6 0,015% TiO_2 .

В результате, большая доля межмолекулярных взаимодействий на поверхности наномодифицированных образцов не разрушается под действием адсорбированной воды, и процент сохранения прочностных показателей возрастает.

Таким образом, наномодификация ПА-6 даже сверхмалыми дозами наночастиц позволяет существенно нивелировать негативные последствия

эффекта Ребиндера, вызываемого водой. Полученные данные однозначно свидетельствуют о том, что основная роль в этом процессе принадлежит не объёмному заполнению, а поверхностным явлениям.

Это имеет важное практическое значение, т.к. изделия из ПА-6, эксплуатируемые в атмосфере, периодически подвергаются воздействию осадков.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Влияние наночастиц оксидов металлов на механические свойства полиамида 6». / Т. А. Вишневская, Н. Р. Прокопчук. ПМТ, Т-11, (2025), №2, – С. 31–38.
2. Тынный А.Н. Прочность и разрушение полимеров при воздействии жидких сред [Текст] / АН УССР. Физ.-мех. ин-т. – Киев : Наук. думка, 1975. – 206 с.: граф.; 22 см.
3. Зуев Ю.С. Разрушение полимеров под действием агрессивных сред / Ю.С. Зуев. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва: Химия, 1972. – 229 с.: ил.: 1.10.
4. Е.А. Синевич, Р.П. Огородов, Н.Ф. Бакеев. Адсорбционное влияние жидких сред на механические свойства полимеров.-ДАНССР, 1973, т.212; №6, с.1383–1385

УДК 546.47:66.081.3

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОНИТРИЛА И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ S- И D-МЕТАЛЛОВ ПРИ ИХ СОВМЕСТНОМ ПРИСУТСТВИИ

Полиакрилонитрил является одним из самых перспективных полимеров в плане проведения модификации благодаря своей способности подвергаться различным химическим превращениям, приводящим к получению материалов с заданными свойствами [1].

В результате ранее проведённых исследований по созданию сорбционных материалов на основе сополимеров акрилонитрила (АН) с различными кислотными сомономерами было установлено, что сополимеры

на основе акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС) в качестве ионогенного материала (рисунок 1) могут проявлять высокую сорбционную активность по отношению к катионам металлов [2].

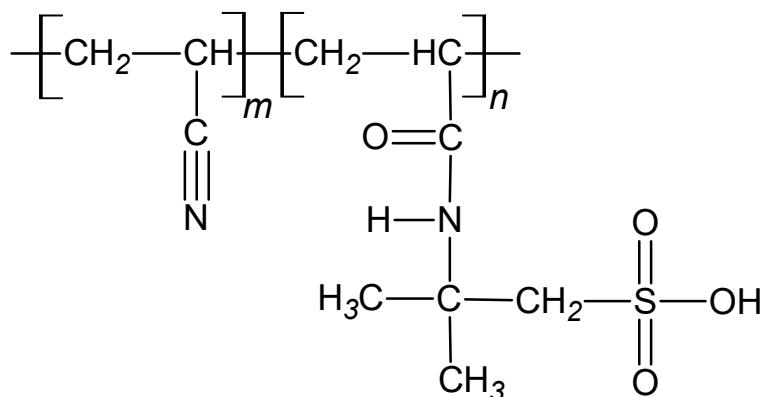


Рисунок 1 – Химическая структура поли[АН-со-АМПС]

Целью данной работы являлось исследование сорбционной активности материалов на основе поли[АН-со-АМПС] по отношению к ионам s- и d- металлов (на примере катионов Ca^{2+} и Zn^{2+}) при их совместном присутствии в растворе.

В эксперименте использовали три типа образцов сополимеров, отличающихся содержанием АМПС (масс. %): поли[АН(80)-со-АМПС(20)], поли[АН(75)-со-АМПС(25)] и поли[АН(70)-со-АМПС(30)].

Сорбцию изучали в статическом режиме методом последовательных погружений ионообменного материала в рабочий раствор. Образцы сорбентов в H^+ -форме заливали раствором хлоридов цинка и кальция (первое погружение) и после наступления равновесия определяли равновесные значения pH и концентрации ионов металлов. Затем ионит извлекали из этого раствора и заливали «свежей» порцией раствора солей (второе погружение); после установления равновесия снова замеряли равновесные параметры системы и снова повторяли эту процедуру (третье погружение).

Суммарная концентрация ионов металлов в рабочем растворе составляла 0,1 моль-экв/дм³ (по 0,05 моль-экв/дм³ ионов Ca^{2+} и Zn^{2+}).

Теоретическое значение СОЕ ионообменных материалов рассчитывали, исходя из композиционного состава сополимеров.

Информация об общем количестве ионов Ca^{2+} и Zn^{2+} , сорбированных за три погружения, представлена в таблице 1, результаты сорбции в каждом погружении – в таблице 2.

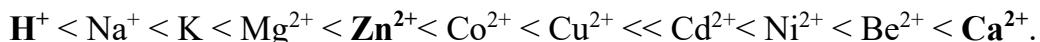
Таблица 1 – Количество сорбированных за три погружения ионов Ca^{2+} и Zn^{2+} при их совместном присутствии в растворе

Полимер	Количество сорбированных ионов, ммоль-экв/г			Расчётная величина СОЕ, ммоль-экв/г
	Ca^{2+}	Zn^{2+}	Суммарное количество Ca^{2+} и Zn^{2+}	
поли[АН(80)-ко-АМПС(20)]	1,29	1,86	3,15	0,97
поли[АН(75)-ко-АМПС(25)]	1,92	2,29	4,21	1,21
поли[АН(70)-ко-АМПС(30)]	7,85	9,32	17,2	1,45

Таблица 2 – Количество сорбированных в каждом погружении ионов Ca^{2+} и Zn^{2+} при их совместном присутствии в растворе

Полимер	Количество сорбированных ионов, ммоль-экв/г					
	Ca^{2+}			Zn^{2+}		
	Номер погружения			Номер погружения		
	1	2	3	1	2	3
поли[АН(80)-ко-АМПС(20)]	1,05	0,11	0,13	0,39	1,08	0,39
поли[АН(75)-ко-АМПС(25)]	1,26	0,53	0,13	0,08	1,74	0,47
поли[АН(70)-ко-АМПС(30)]	4,42	2,94	0,49	1,47	5,89	1,96

Как видно из экспериментальных данных (таблица 1), количество сорбированных ионов значительно превышает расчётное значение СОЕ по сульфогруппам. Причём, большая часть ионов кальция сорбируется при первом погружении, ионов цинка – во втором (таблица 2). По всей видимости, такой результат является следствием слабой избирательности сульфокатионитов по отношению к ионам цинка и согласуется с положением ионов H^+ , Zn^{2+} и Ca^{2+} в ряду селективности для сульфокатионитов [3, с.119]:



Вместе с тем, общее количество сорбированных за три погружения ионов цинка превышает количество сорбированных ионов кальция, что может указывать на протекание в фазе ионита взаимодействий необменного характера, в частности, донорно-акцепторных, которые особенно характерны для d-металлов. Согласно имеющимся литературным данным [4], нитрильные группы в полимере способны к образованию комплексов с ионами некоторых металлов, в том числе и цинка. Вероятно, этим же объясняется и сверхэквивалентная сорбция.

При первом погружении материала в раствор происходит резкое понижение pH вследствие протекания ионообменных процессов на сульфогруппах (рисунок 2). Равновесие в процессе обмена катионов

металлов на ионы H^+ устанавливается в течение приблизительно 30 минут (рисунок 2), но изменение концентрации ионов металлов в растворе продолжается в течение более длительного времени (рисунок 3) и может быть обусловлено процессами, не связанными с ионным обменом на сульфогруппах.

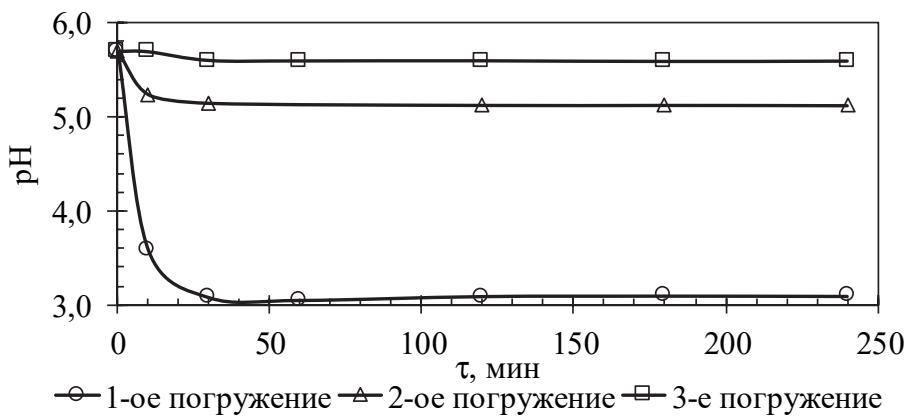


Рисунок 2 – Изменение pH раствора в процессе сорбции ионов Ca^{2+} и Zn^{2+} материалом на основе поли[АН(70)-ко-АМПС(30)]

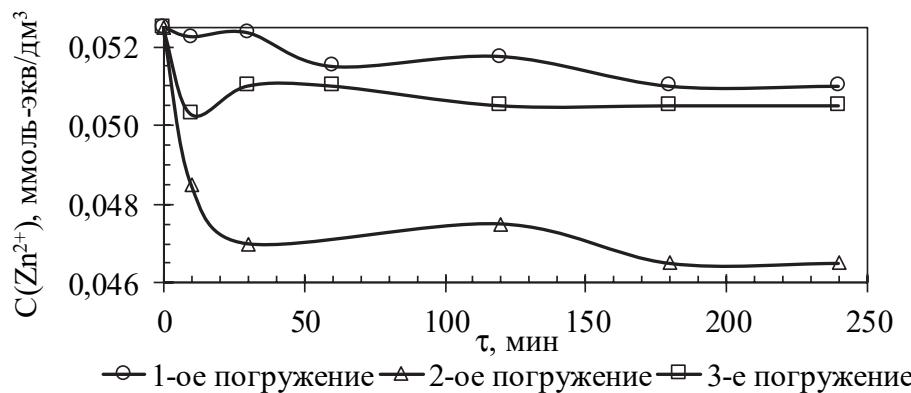


Рисунок 3 – Изменение концентрации ионов Zn^{2+} в процессе сорбции ионов Ca^{2+} и Zn^{2+} материалом поли[АН(70)-ко-АМПС(30)]

Выводы. Материалы на основе поли[АН-ко-АМПС] способны сорбировать катионы металлов в сверхэквивалентных количествах.

Вероятная причина сверхэквивалентной сорбции – донорно-акцепторные взаимодействия между ионами металлов и азотсодержащими группами полимера.

Ионы Zn^{2+} могут образовывать комплексы с группами $-C\equiv N$ в матрице полимера [4], чем может быть обусловлена более высокая, в сравнении с сульфокатионитами, избирательность сорбентов на основе поли[АН-ко-АМПС] к ионам цинка и других d-металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nataraj, S.K. Polyacrylonitrile-based nanofibers – A state-of-the-art review / S.K. Nataraj, K.S. Yang, T.M. Aminabhavi // Progress in Polymer Science. – 2012. – Vol. 37. – № 3. – P. 487–513.
2. Огородников, В. А. Ионообменные свойства материалов на основе волокнообразующих сополимеров акрилонитрила с различными кислотными сомономерами / В.А. Огородников, Л.А. Щербина, В.М. Чикунская // Полимерные материалы и технологии. – 2018. – Т. 4. – № 1. – С. 47–56.
3. Аширов, А. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов // А. Аширов. – Л.: Химия, 1983. – 295 с.
4. Сафиуллина, И.И. Синтез и строение комплексов на основе акрилонитрила и его сополимеров: автореф. дис. канд. хим. наук: 02.00.13. Уфа: УГНТУ, 2015. – 19 с.

УДК 678.046.3

**Касперович О.М., Петрушения А.Ф.,
Черняевский А.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

УСТОЙЧИВОСТЬ КОМПОЗИЦИЙ С ШУНГИТОМ К ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕСТРУКЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Шунгит – природный минеральный сорбент, промежуточный продукт между аморфным углеродом и графитом, содержащий углерода – 30, кварца – 45, силикатной слюды – около 20 мас.%.

Шунгитовые породы по содержанию в них углерода, которое варьирует от долей до 98 %(масс.).

По структуре шунгит представляет собой аллотропную форму углерода. В его состав кроме углерода входят SiO_2 – 57,0 мас.%; TiO_2 – 0,2 мас.%; Al_2O_3 – 4,0 мас.%; FeO – 6 мас.%; Fe_2O_3 – 1,49 мас.%; MgO – 1,2 мас.%; MnO – 0,15 мас.%; K_2O – 1,5 мас.%; S – 1,2 мас.%. Плотность шунгита составляет 2,1–2,4 г/см³; пористость – до 5%; прочность на сжатие – 100–120 МПа; коэффициенты электро- и теплопроводности – 1500 См/м и 3,8 Вт/мК, соответственно; адсорбционная емкость до 20 м²/г [1].

Присутствие фуллерен-подобных структур обуславливает большую концентрацию парамагнитных центров (1019 спин/г) в минерале. Значительная концентрация парамагнитных центров характеризует повышенную активность шунгита в окислительно-восстановительных реакциях, что делает перспективным его применение в полимерных материалах с целью повышения их стойкости к окислению, тепло- и термостойкости. Одно из основных достоинств шунгита заключается в том, что данный минерал полностью состоит из биполярных высокодисперсных частиц. Такое уникальное свойство минерала позволяет хорошо внедрять шунгит в качестве наполнителя в разнообразные полимерные материалы.

Без определения термостабильности полимерного композита невозможно установить правильный интервал его переработки, который находится между температурами текучести и деструкции, а также грамотно оценить его эксплуатационные свойства. Химические превращения, при которых масса образца снижается, обуславливаются термической и термоокислительной деструкцией, за счет снижения молекулярной массы из-за разрыва химических связей в макромолекулах, выделения летучих продуктов деструкции, а также изменением окраски, уменьшением прочности ПКМ.

Дифференциальный термический анализ образцов ПЭНД с шунгитом в работе [2] показал, что с увеличением содержания шунгита происходит смещение температуры деструкции в сторону высоких температур. Стоит отметить, что температура деструкции полиэтилена низкого давления равна 320,0 °С, при введении 3 % шунгита она достигает 438,7 °С, а при введении 26 % шунгита равна 441,6 °С. Фотодеструкция образцов в ультрафиолете (300–400 нм) в течение 3 циклов по 8 часов, показала отсутствие дефектов, что свидетельствует о высокой стойкости материала к солнечному свету. Также фотостарение отсутствует у образцов, которые выдерживались в экстремальном ультрафиолете (120–10 нм) в течении 24 часов.

Термический анализ образцов ПВХ с шунгитом и TiO₂ [3] показал максимальный пик на кривых теплового потока: 428,3 °С – для ПВХ + TiO₂ 1 масс. % и 436,7 °С – для ПВХ + шунгит 1 масс. %. Для покрытия ПВХ + TiO₂ 1 масс. % + шунгит 1 масс. % максимальный пик на кривых теплового потока составил 447,3 °С, присутствует синергический эффект наполнителей, увеличивающий термостойкость полимерного покрытия.

Биполярная природа высокодисперсных частиц шунгита обеспечивает их хорошую совместимость и внедрение в различные полимерные матрицы. Повышение температурного порога деструкции расширяет окно переработки материала – интервал между температурой текучести и началом разрушения, что позволяет увеличить производительность

экструзии. В сочетании с повышенной эксплуатационной стойкостью это позволяет создавать полимерные композиты с увеличенным сроком службы для применения в агрессивных средах: под постоянным воздействием солнечного света и высоких температур. Шунгит является высокоэффективным и перспективным наполнителем для полимерных материалов, комплексно повышающим их термо- и светостабильность. Это позволяет создавать более долговечные и надежные полимерные композиты для применения в условиях повышенных температур и интенсивного УФ-излучения. По результатам проведенного литературного обзора пришли к выводу, что недостаточно представлено информации о влиянии наполнения шунгитом полимерных композиций на основе полиамида. В связи с этим перспективным направление является получение и изучение свойств композиционного материала на основе полиамида с шунгитом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мосин О. В., Игнатов И. И. Состав и структурные свойства природного фуллеренсодержащего минерала шунгита // Техносферная безопасность. – 2013. – № 2. – С. 29–33.
2. Влияние шунгита на эксплуатационные свойства полимерного композиционного материала / Ключникова Н.В., Пискарева А.О., Урванов К.А., Гордеев С.А., Генов И. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 2. – С. 96–105.
3. Кузьмина Н. Н. Проблемные вопросы придания текстильным материалам специальных защитных свойств / Сырбу С. А., Циркина О. Г., Салихова А. Х., Спиридонова В. Г., Фролова Т. В., Кузьмина Н. Н. // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 2. – С. 133–140.

УДК 677.494.7

Пчелова Н.В., Щербина Л.А., Будкуте И.А.

(Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий)

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ С ИОНОГЕННЫМИ ГРУППИРОВКАМИ

Важной частью промышленности Республики Беларусь, во многом определяющей научно-технический уровень ее отраслей, является производство химических волокон, существенное значение среди которых

занимают волокна на основе сополимеров акрилонитрила (полиакрилонитрильные (ПАН) волокна), производимые на заводе «Полимир» ОАО «Нафтан» (г. Новополоцк). Для различных отраслей промышленного и сельскохозяйственного производства, санитарно-гигиенических целей возрастаёт потребность в волокнистых материалах со специальными свойствами, в том числе бактерицидными.

В настоящее время накоплена обширная научно-техническая информация о физико-химических и технологических аспектах придания химическим волокнам специфических потребительских свойств. Введение в макромолекулу волокнообразующих полимеров полярных групп обуславливает возможность осуществления регулируемой по прочности фиксации различных модификаторов в полимерном субстрате волокна.

На рисунке 1 приведены химические формулы волокнообразующего терсополимера (ВТП) акрилонитрила (АН), метилакрилата (МА) и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС), а также бактерицидного препарата катамин АБ.

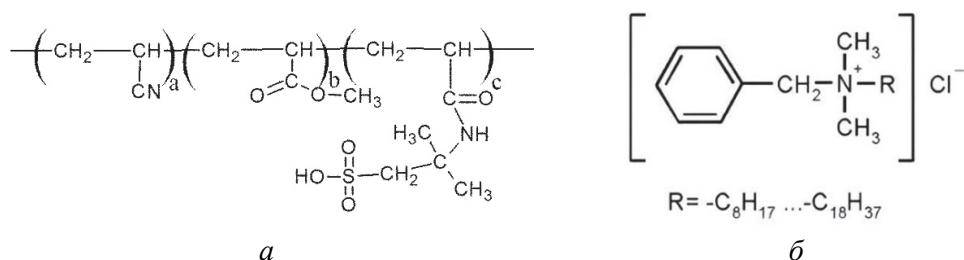


Рисунок 1 – Химические формулы поли[АН–со–МА–со–АМПС] (а) и бактерицидного препарата катамин АБ (б)

Целью данной работы явилось изучение процесса модификации ПАН волокнистых материалов на основе поли[АН–со–МА–со–АМПС] бактерицидным препаратом катамин АБ. Получение бактерицидных волокнистых материалов осуществлялось двумя способами:

- путем инклюационной модификации ПАН гель-волокна, сформованного на прядильно-отделочной линии завода «Полимир» ОАО «Нафтан», 1–5 % (масс.) водными растворами катамина АБ;
- путем добавления катамина АБ в прядильный раствор поли[АН–со–МА–со–АМПС] в диметилформамиде (ДМФ) в определенном мольном соотношении к сульфогруппам, содержащимся в звеньях сополимера (1:1, 1:2, 1:5, 1:10).

Изучение кинетических закономерностей сорбции катамина АБ ПАН гель-волокном из водных растворов (рисунок 2) при температуре 80°C показало, что равновесие в исследуемой системе в этом температурном диапазоне достигается через 1,5 ч.

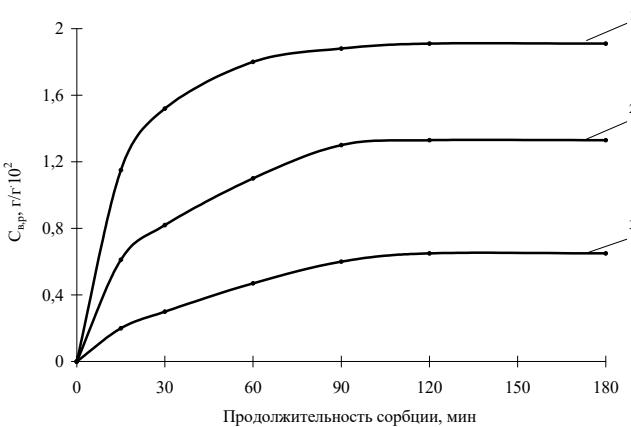


Рисунок 2 – Кинетика сорбции катамина АБ ПАН гель-волокном из водных растворов при 80 °С

Концентрация катамина АБ в водном растворе, % (масс.):
 1 – 5,0; 2 – 2,0; 3 – 1,0

Для оценки возможности получения бактерицидных ПАН волокон путем добавления катамина АБ в прядильный раствор готовили 20 % прядильные растворы поли[АН–со–МА–со–АМПС] в ДМФ как без модификатора, так и с модификатором катамином АБ.

Формование модельных образцов ПАН волокон осуществляли «мокрым» методом с использованием лабораторной стеновой установки [1] в соответствии с основными технологическими режимами, представленными в таблице 1.

Показана антимикробная активность ПАН волокон, модифицированных катамином АБ различными способами, по отношению к культурам *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*, которая сохраняется даже после 10 стирок. Увеличение концентрации модификатора в водных растворах при проведении инклюзионной модификации, как и увеличение содержания модификатора в прядильном растворе, практически не влияет на биологическую активность модифицированных ПАН волокон.

Таблица 1 – Условия формования модельных ПАН волокон

Растворитель	ДМФ
Содержание ВТП в прядильном растворе, %	20 ± 1
Скорость формования, м/мин	1,0
Концентрация растворителя в осадительной ванне, %	55 ± 1
Температура осадительной ванны, °С	15 ± 1
Температура пластификационной ванны, °С	$95,5 \pm 1$
Количество отверстий в фильтре, шт.	120
Пластификационная ванна	вода
Кратность пластификационного вытягивания	5

Одним из важнейших потребительских свойств полиакрилонитрильных (ПАН) волокон текстильного назначения является их способность окрашиваться красителями. Этот показатель определяется, прежде всего, композиционным составом ВТП, из которого формируют ПАН волокна. В практике производства ПАН волокон, с целью придания им накрашиваемости или других специальных свойств, в сополимеры, как правило, вводят третий сомономер с кислотными или основными свойствами в количестве около 1,0–1,5 % (масс.).

Установлено, что модификация ПАН волокна катамином АБ приводит к потере его сродства к катионным красителям и проявлению сродства к анионным красителям. Способ модификации (инклюдационная модификация ПАН волокон в гель-состоянии либо введение модификатора в прядильный раствор) и химическая природа анионного красителя влияют на коэффициент его выбираемости (КВ) (рисунок 3).

Инклюдационная модификация обуславливает намного большую способность модифицированных ПАН волокон окрашиваться анионными красителями (особенно в случае прямых и хромовых красителей) по сравнению с волокнами, модифицированными посредством введения катамина АБ в прядильный раствор. Такая зависимость, по-видимому, обусловлена тем, что модификатор концентрируется в поверхностных областях филаментов и при последующем погружении в раствор красителя максимальное количество катионов модификатора «работают» на связывание анионов красителя.

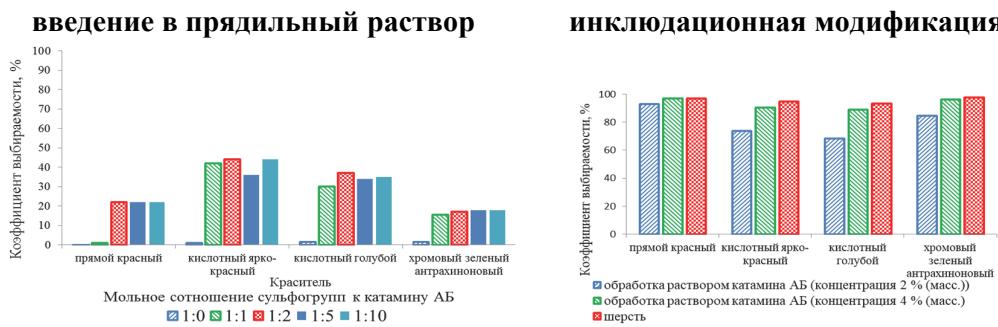


Рисунок 3 – Результаты определения коэффициента выбираемости анионных красителей модифицированными катамином АБ ПАН волокнами и шерстью

КВ анионных красителей при крашении образцов модельных волокон, полученных из модифицированных прядильных растворов, значительно зависит от природы красителя. Увеличение количества введенного модификатора в прядильный раствор до сверхэквивалентного (по отношению к сульфогруппам АМПС) практически не влияет на значения КВ красителей.

КВ анионных красителей при крашении ПАН волокон, полученных путем инклюдационной модификации гель-волокон, в меньшей степени, по сравнению образцами, полученными путем введения в прядильный раствор, зависит от природы красителя.

Таким образом, установлена возможность модификации ПАН волокон путем введения катамина АБ в прядильный раствор. Волокна, содержащие катамин АБ, приобретают способность окрашиваться анионными красителями (в зависимости от содержания модификаторов можно подбирать глубину крашения ПАН волокон), что делает реальной возможность совместного крашения модифицированных ПАН волокон и шерсти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пчелова, Н.В. Исследование влияния условий формования на накрашиваемость гель-волокон из сополимеров акрилонитрила, метилакрилата и итаконовой кислоты / Н.В. Пчелова, Л.А. Щербина, И.С. Городнякова, И.А. Будкуте // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2020. – № 2 (39). – С. 118-129. DOI: org/10.24411/2079-7958-2020-13912.

УДК 543.632.54

Лаптик И.О., Прокопчук Н.Р.

(Белорусский государственный технологический университет)

Постников Д.П.

(ООО «МагКомпозит»)

ПОВЫШЕНИЕ НАНОЧАСТИЦАМИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

Полимерная композитная арматура на основе эпоксидных, ненасыщенных полиэфирных смол и различных волокнистых наполнителей все больше применяется взамен стальной, так как не подвержена коррозии во время эксплуатации. Долговечность композитной арматуры прогнозируется до 50 лет на основе кинетики снижения механических свойств. Методы повышения долговечности композитной арматуры системно не исследуются. В данной работе впервые выполнено исследование по влиянию щелочной среды бетонной массы на понижение долговечности арматуры на основе эпоксидной смолы. Предложен и изучен способ возможного повышения долговечности данного вида арматуры введением в систему эпоксидного связующего наночастиц.

Наночастицы, имея на своей поверхности электрический заряд, физически взаимодействуют с оставшимися после отверждения в молекулах эпоксидной смолы полярными группами (эпоксидными, гидроксильными), усиливая тем самым межмолекулярные взаимодействия.

В результате можно было ожидать замедления движений звеньев олигомерных молекул эпоксидной смолы, повышения потенциального барьера разрушения химических связей внутри макромолекул и соответственного роста долговечности в заданных условиях эксплуатации арматуры.

Оценку долговечности было целесообразно провести экспресс-методом для изделий полимерных в строительстве согласно СТБ [1].

Для доказательства усиления наночастицами межмолекулярных взаимодействий в отверженных композициях были исследованы гель-фракция и водопоглощение образцов.

В таблице 1 представлены основные характеристики наночастиц АШ-А (ТУ РБ 100056180.003- 2003) (НПЗ АО «Синта» (Минск)).

В результате научного эксперимента были определены: температура отверждения – 180 °С, время отверждения – 20 минут.

Таблица 1 – Характеристика АШ-А

Наименование показателя	АШ-А
Метод получения	Детонационный синтез
Внешний вид	Черный порошок
Размер и форма	Полидисперсный порошок (1–100 мкм) с неправильными частицами округлой формы
Размер единичного кристалла, нм	10
Окисляемые формы углерода, %	53,4
Удельная поверхность, м ² /г	404
Объем пор, см ³ /г	1,245
Функциональные поверхностные группы:	COOH, CH _x , C ₆ X ₆

В таблице 2 представлены основные характеристики наночастиц диоксида титана.

Таблица 2 – Характеристика TiO₂

Характеристики	TiO ₂ (1791-003-36280340-2008)
Химическое наименование	Порошок оксида титана
Химическая формула	TiO ₂
Фазовый состав	Смесь фаз анатаз и рутил
Внешний вид и цвет	Индивидуальные частицы преимущественно сферической формы. Цвет - белый
Насыпная плотность, г/см ³	0,5–2,0
Площадь удельной поверхности, м ² /г	12,5

В эпоксидные композиции дополнительно введены наночастицы TiO_2 и АШ-А в количестве 0,01 мас. %. Для равномерного распределения наночастиц в объеме полимерной матрицы и предотвращения их агрегации и последующей агломерации готовили дисперсии наноматериалов в различных растворителях.

Методика введения наночастиц в эпоксидную смолу заключалась в предварительном диспергировании их в растворителе в ячейке ультразвуковой ванны BandelineSonorex в течение 30 мин с последующим смешением 10 мин.

Изучение термических характеристик образцов покрытий на основе эпоксидных материалов проводили с использованием термоаналитической системы TGA/DSCI «Mettler Toledo» (Швейцария) в определенном температурном интервале при скорости линейного повышения температуры 5 °C/мин.

Методом Брайдо по данным динамической термогравиметрии рассчитывается энергия активации термоокислительной деструкции E_d . Интервал деструкции макромолекул для каждого полимера устанавливается экспериментально по кривой ДТГ.

Анализ полученных результатов показал:

- Наномодифицирование композитов на основе эпоксидной смолы увеличивает содержание гель-фракции в них, замедляет водопоглощение и незначительно повышает параметр E_d ;
- Впервые произведена количественная оценка влияния щелочной среды бетона на снижение параметра E_d , что позволяет более точно рассчитать долговечность композитной арматуры в реальных условиях ее эксплуатации [2];
- Немодифицированные композиты в результате действия щелочной среды снижают потенциальный барьер разрушения с 97 кДж/моль до 87 кДж/моль, т.е. на 10 кДж/моль, а наномодифицированные композиты – с 99 кДж/моль до 93 кДж/моль, т.е. на 6 кДж/моль;
- Рассмотренное влияние щелочной среды на параметр E_d согласуется с ее влиянием на содержание гель-фракции в композитах – немодифицированные композиты снижают гель-фракцию с 81 % до 75 %, т.е. на 6 %, а наномодифицированные с 98 % до 91 %, т.е. на 7 %. Однако при этом общий уровень гель-фракции у наномодифицированных образцов остается существенно выше.

При эксплуатации стеновых конструкций на арматуру композитную действуют следующие факторы:

- Механические нагрузки. Поскольку адгезия смолы к стеклонити высокая, образующийся после отверждения смолы композит имеет высокие прочности на сжатие, изгиб, растяжение. Значение прочности

стеклокомпозита на сжатие (основного вида нагружения арматуры) составляет 300 МПа. При коэффициенте запаса прочности равному 1,5 максимально допустимая нагрузка на арматуру не превышает $300/1,5 = 200$ (МПа). Так как диаметр арматуры равен 6 мм, то площадь его поперечного сечения равна $(3,14 \times 36)/4 = 28 \text{ мм}^2$. На 1 мм^2 площади сечения действует внутреннее напряжение $\sigma_{\text{вн}} = 200/28 = 7$ (МПа). Структурно-чувствительный коэффициент γ , входящий в уравнение Журкова С.Н., имеет относительно низкое значение 2,5 кДж/моль х МПа для сплошных полимерных систем с плотной упаковкой макромолекул (СТБ 1333.2–2002). Тогда понижение параметра E_d механическим напряжением $\Delta E_{\text{мех}}$ составляет: $\Delta E_{\text{мех}} = \sigma_{\text{вн}} \times \gamma = 7 \times 2,5 = 18$ кДж/моль.

– Химическая агрессивность окружающего бетона. Воздействие водной щелочной среды с достаточно высоким pH на связующее арматуры композитной составляет 10 кДж/моль, а у наномодифицированных образцов – 7 кДж/моль.

Средняя температура композита в весенне-осенний период в дневное время на солнечной стороне в стеновых панелях не будет превышать 40 °C, а в ночное время – 20 °C. Тогда среднесуточная температура составит 30 °C. В зимний период стеклокомпозит арматуры прогревается не более чем на 15 °C. Поэтому среднегодовая температура арматуры составит $(30 + 15)/2 = 22,5$ °C в самых жестких условиях эксплуатации в РБ. Для последующего расчета долговечности арматуры стеновых бетонных панелей принимается температура 23 °C.

Расчетное значение энергии активации $E_{\text{расч}}$, определяющее долговечность арматуры композитной, составляет для немодифицированных образцов 69 кДж/моль (значение долговечности составляет 30 лет), а наномодифицированных образцов 74 кДж/моль (значение долговечности составляет 59 лет).

Таким образом, наномодифицированием арматуры композитной на основе эпоксидной смолы можно добиться увеличения долговечности в реальных условиях ее эксплуатации практически вдвое.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТБ 1333.0–2002 «Изделия полимерные для строительства. Метод определения долговечности по энергии активации термоокислительной деструкции полимерных материалов» – Введ. 28.06.2002 (впервые). – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2002. – 8 с.
2. ГОСТ 32487–2013 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения характеристик стойкости к агрессивным средам. – М.: Межгосударственный стандарт, 2013. – 7 с.

Демидов Н.Д., Сорокин И.А.

(Санкт-Петербургский университет

Государственной противопожарной службы МЧС России)

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР НА ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Аннотация. Представлены результаты исследования влияния углеродных наноструктур (астраленов) на термическую стабильность и морфологию эпоксидных огнезащитных вспучивающихся составов (OBC), применяемых для защиты конструкций объектов нефтегазохимического комплекса. Методами термогравиметрического анализа (TGA) и атомно-силовой микроскопии (ACM) исследованы образцы покрытий, модифицированные астраленами в концентрациях 0,1 и 0,2 % об., до и после криогенного воздействия. Установлено, что введение астраленов способствует формированию более однородной микроструктуры покрытия и повышает его термическую стабильность, что выражается в увеличении выхода коксового остатка на 28% для образца с 0,2% об. астраленов. Криогенное воздействие приводит к увеличению шероховатости и росту микротрещин, однако модифицированные составы демонстрируют лучшую сохранность структуры. Наибольшая эффективность модификатора наблюдалась при концентрации 0,2 % об. Результаты работы показывают перспективность использования углеродных наноструктур для создания высокоэффективных огнезащитных полимерных композитов, устойчивых к комплексному воздействию экстремальных температур.

Введение. Развитие нефтегазохимического комплекса сопряжено с эксплуатацией объектов, характеризующихся высокими пожарными рисками и наличием криогенных сред, таких как сжиженный природный газ [1]. Обеспечение пожарной безопасности металлических конструкций на таких объектах является критически важной задачей. Одним из наиболее эффективных способов защиты является применение огнезащитных вспучивающихся составов (OBC) на основе эпоксидных смол, сочетающих хорошие адгезионные и защитные свойства [2]. Однако традиционные эпоксидные OBC могут проявлять недостаточную стойкость к резким термическим и криогенным воздействиям, что приводит к растрескиванию и отслоению покрытий [3, 4].

Перспективным направлением решения данной проблемы является модификация полимерной матрицы углеродными наноструктурами (УНС) [5]. В отличие от других УНС, например, многостенных углеродных нанотрубок, астралены демонстрируют высокую стабильность физико-химических свойств, что делает их предпочтительными модификаторами для создания композиционных материалов с программируемыми характеристиками. «Нанокомпозитный подход», заключающийся во введении

наноразмерных добавок в традиционные материалы, позволяет принципиально улучшить их эксплуатационные свойства, в частности, термическую стабильность и механическую прочность.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния астраленов, введенных в эпоксидный ОВС, на микроструктуру и термическую стабильность покрытий в условиях, моделирующих аварийные воздействия на объектах нефтегазохимии, включая криогенное охлаждение.

Материалы и методы исследования. В качестве объекта исследования использовался серийный эпоксидный ОВС «ТЕРМОБАРЬЕР-2» (ООО НПК «ОгнеХимЗащита»). Модификация состава проводилась путем введения углеродных наноструктур типа «астрален» в систему отвердителя. Технология приготовления модифицированных образцов включала этап ультразвукового диспергирования астраленов в отвердителе в течение 15 минут при температуре 40 °C для обеспечения равномерного распределения наночастиц и стабильности суспензии. Были приготовлены образцы с концентрацией астраленов 0,1 и 0,2 % об. Образцы наносились на стальные пластины Ст3 размером 100×50×6 мм. Для моделирования аварийного воздействия часть образцов подвергалась криогенной обработке путем полного погружения в жидкий азот на 10 минут.

Для исследования были отобраны 6 ключевых образцов, характеристики которых представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Обозначения и параметры исследуемых образцов

Обозначение	Концентрация Astr, % об.	Криогенное воздействие
ТБ 2	0	Нет
ТБ 2 А	0	Да
ТБ 2 Astr 0,1	0,1	Нет
ТБ 2 Astr 0,1 А	0,1	Да
ТБ 2 Astr 0,2	0,2	Нет
ТБ 2 Astr 0,2 А	0,2	Да

Термическая стабильность образцов изучалась методом термогравиметрического анализа (ТГ). Анализ проводился в интервале температур от 50 до 800 °C в воздушной среде. Фиксировались температуры начала основных тепловых эффектов и масса коксового остатка при 800°C.

Исследование микроструктуры поверхности покрытий проводилось методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) на сканирующем зондовом микроскопе «NTEGRA SPECTRA». Анализировались такие параметры, как шероховатость поверхности, длина и ширина микротрешин, максимальный и средний перепад высот.

Результаты. Результаты ТГ демонстрируют значимое влияние астраленов на термическое поведение эпоксидного ОВС. Основные количественные данные ТГ сведены в Таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты термогравиметрического анализа исследуемых образцов

Образец	Темп. нач. 1-го эффекта, °C	Темп. нач. 2-го эффекта, °C	Темп. нач. 3-го эффекта, °C	Остаточная масса при 800°C, %
ТБ 2	157	292	581	31
ТБ 2 А	154	287	584	41
ТБ 2 Astr 0,1	120	296	573	40
ТБ 2 Astr 0,1 А	100	273	574	22
ТБ 2 Astr 0,2	126	248	587	59
ТБ 2 Astr 0,2 А	159	292	582	26

Анализ данных показывает, что введение астраленов оказывает комплексное влияние на процесс термического разложения. Наибольший выход коксового остатка (59%) зафиксирован для образца ТБ 2 Astr 0,2, что на 28% выше, чем у немодифицированного аналога ТБ 2 (31%). Это свидетельствует о значительном повышении термической стабильности полимерной матрицы за счет введения наномодификатора. Астраплены, обладая высокой теплопроводностью, способствуют перераспределению тепловой энергии в объеме материала, интенсифицируя процессы структурообразования и карбонизации, что приводит к формированию более термостабильного пенококсового слоя.

После криогенного воздействия (ТБ 2 Astr 0,2 А) выход коксового остатка снижается до 26%, однако разница с обработанным немодифицированным составом (ТБ 2 А, 41%) требует дополнительного исследования. Можно предположить, что криогенное воздействие индуцирует внутренние напряжения в модифицированной полимерной матрице, что меняет механизм ее термического разложения.

Смещение температур начала тепловых эффектов у модифицированных образцов указывает на изменение кинетики термической деструкции. В частности, снижение температуры начала первого эффекта у образцов ТБ 2 Astr 0,1 и ТБ 2 Astr 0,2 может быть связано с ускоренной дегидратацией и началом процессов всучивания под каталитическим влиянием наночастиц.

Обсуждение. Полученные данные позволяют сделать вывод о синергетическом влиянии углеродных наноструктур на свойства эпоксидного ОВС. С технологической точки зрения, ключевым преимуществом астраленов является возможность их эффективного диспергирования в компонентах композиции с получением стабильных суспензий, что не требует кардинальной перестройки существующих технологических процессов нанесения лакокрасочных материалов.

Заключение. 1. Методами ТГ установлено положительное влияние углеродных наноструктур на термическую стабильность и микроструктуру эпоксидного огнезащитного состава «ТЕРМОБАРЬЕР-2».

2. Установлена перспективность применения технологии ультразвукового диспергирования астраленов для модификации эпоксидных ОВС с целью создания новых полимерных композиционных материалов с повышенной огнезащитной эффективностью и стойкостью к экстремальным температурным воздействиям для объектов нефтегазохимического комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение Правительства РФ от 28.12.2024 № 4146-р «Об утверждении стратегии пространственного развития РФ на период до 2030 г. С прогнозом до 2036г».
2. Мавлович А. В., Дринберг А. С., Машляковский Л. Н. Огнезащитные вспучивающиеся лакокрасочные покрытия. – М. : ЛКМ-пресс, 2018. – 488 с.
3. Калякина М.И. и др. Исследование атмосферостойкости огнезащитных вспучивающихся покрытий // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4 (ч. 3). – С. 571–574.
4. Копылов П.С. и др. Оценка поведения огнезащитных покрытий в поле температур от -162 до $+1300^{\circ}\text{C}$ // Инженерно-физический журнал. – 2020. – Т. 98, № 1. – С. 54–61.
5. Иванов А.В. и др. Модификация тонкослойных огнезащитных покрытий многослойными углеродными нанотрубками: физико-технологические принципы и методика применения для объектов трубопроводного транспорта // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. – 2019. – Т. 28. – №. 5. – С. 39–50.

УДК 543.632.54

Лаптик И.О., Прокопчук Н.Р.
(Белорусский государственный технологический университет)

ВЛИЯНИЕ ЗАРЯДА ПОВЕРХНОСТИ НАНОЧАСТИЦ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЭПОКСИДНОЙ ЭЛЕТРОИЗОЛЯЦИИ

Нами развивается гипотеза о решающей роли заряда поверхности наночастиц в формировании надмолекулярной структуры и свойств наномодифицированных полимерных композитов [1]. В данной работе впервые представлены результаты о влиянии наночастиц различной природы на долговечность эпоксидных электроизоляционных покрытий.

Полимерные материалы на основе эпоксидных смол широко применяются при создании различных устройств и конструкций [2].

Изоляция проводов имеет решающее значение в электромонтажных работах для обеспечения безопасности, предотвращения электрических неисправностей и повышения долговечности систем электропроводки. Среди различных методов изоляции проводов эпоксидная смола выделяется своими превосходными изоляционными свойствами, долговечностью и устойчивостью к суровым условиям.

Эпоксидная смола – это полимерный материал, который при смешивании с отвердителем затвердевает в твердое, прочное покрытие или клей. Он состоит из эпоксидных групп, которые при химической реакции с отвердителем образуют сплошную полимерную сеть. Эта сеть обеспечивает исключительную механическую прочность, химическую стойкость и электроизоляционные свойства. Эпоксидная смола обычно используется в различных областях, включая электроизоляцию, покрытия и клеи.

Преимущества эпоксидной изоляции:

– Электрическая изоляция. Эпоксидная смола обладает высокой диэлектрической прочностью, что делает ее отличным изолятором, предотвращающим утечку электрического тока или короткое замыкание.

– Химическая устойчивость. Эпоксидная смола устойчива ко многим химическим веществам, включая кислоты, основания и растворители, что гарантирует сохранение его изоляционных свойств в суровых условиях.

– Механическая сила. Эпоксидная смола образует прочное, жесткое покрытие, которое защищает провода от физических повреждений и истирания.

– Влагостойкость. После затвердевания эпоксидная смола становится непроницаемой для влаги, что снижает риск коррозии и электрических неисправностей, вызванных влажными условиями.

Изоляция проводов эпоксидной смолой – эффективный способ защиты электрических систем от повреждений и обеспечения надежной работы [2].

Условия получения покрытий на основе смолы ЭД 20 и нового отвердителя КТСМА, характеристика наночастиц и способ их введения в олигомерную матрицу, режимы отверждения композиций подробно изложены в [1]. Долговечность композитов оценивали экспресс-методом по значениям энергии активации термоокислительной деструкции E_d [3]. Значения термостимулированных токов (ТСТ) в пикоамперах на поверхности наночастиц, энергия активации термоокислительной деструкции E_d и долговечность композитов при постоянно действующей температуре 70 °C приведены в таблице. Ниже представлены расчеты по СТБ [3]. Главным эксплуатационным фактором, действующим на электроизоляцию, является температура ее разогрева.

Таблица – Долговечность наномодифицированных элекроизоляционных покрытий при постояннодействующей температуре 70 °С

№ образца	Наномодификатор, 0,01 мас. %	TCT, пА	Eд, кДж/моль	τ ₇₀ , лет
1	–	–	105	12,5
2	SiO ₂	1,0	107	14,6
3	Al ₂ O ₃	2,0	109	17,2
4	ZnO	3,5	114	26,2
5	АШ-А	4,0	116	27,2
6	TiO ₂	4,0	116	27,2
7	УДА СП	5,0	117	33,6

Образец № 1.

$$\tau = [10^{(-0.1167 \cdot 105 - 0.09)} \cdot e^{\frac{105}{2,85}}] / 365 = 12,5 \text{ лет} \quad (1)$$

Образец № 2.

$$\tau_{70^\circ} = [10^{(-0.1167 \cdot 107 - 0.09)} \cdot e^{\frac{107}{2,85}}] / 365 = 14,6 \text{ лет} \quad (2)$$

Образец № 3.

$$\tau_{70^\circ} = [10^{(-0.1167 \cdot 109 - 0.09)} \cdot e^{\frac{109}{2,85}}] / 365 = 17,2 \text{ лет} \quad (3)$$

Образец № 4.

$$\tau_{70^\circ} = [10^{(-0.1167 \cdot 114 - 0.09)} \cdot e^{\frac{114}{2,85}}] / 365 = 26,2 \text{ лет} \quad (4)$$

Образец № 5.

$$\tau_{70^\circ} = [10^{(-0.1167 \cdot 116 - 0.09)} \cdot e^{\frac{116}{2,85}}] / 365 = 27,2 \text{ лет} \quad (5)$$

Образец № 6.

$$\tau_{70^\circ} = [10^{(-0.1167 \cdot 116 - 0.09)} \cdot e^{\frac{116}{2,85}}] / 365 = 27,2 \text{ лет} \quad (6)$$

Образец № 7.

$$\tau_{70^\circ} = [10^{(-0.1167 \cdot 117 - 0.09)} \cdot e^{\frac{117}{2,85}}] / 365 = 33,6 \text{ лет} \quad (7)$$

Анализ данных таблицы показывает, что существует четкая зависимость долговечности эпоксидного покрытия от заряда поверхности введенных в олигомер наночастиц.

Долговечность элекроизоляции при постояннодействующей температуре 70°C возрастает в ряду: ЭП < ЭП + SiO₂ < ЭП + Al₂O₃ < ЭП + ZnO < ЭП + TiO₂ < ЭП + АШ-А < ЭП + УДА СП.

Эффект наномодификации весьма существенный. Рост долговечности элекроизоляции достигает 2,7 раза при введении в эпоксидную смолу наночастиц УДА СП в сверхмалых количествах 0,01 мас. %.

Механизм усиливающего действия наночастиц заключается в следующем. Наночастицы, имея на своей поверхности нескомпенсированный электрический заряд, взаимодействуют со свободными гидроксильными или эпоксидными группами в молекулах эпоксидной смолы с образованием сил Ван-дер-Ваальса. Суммарные межмолекулярные взаимодействия при наномодифицировании существенно возрастают. Движение звеньев в молекулах эпоксидной смолы между узлами пространственной химической сетки замедляются. Потенциальный барьер разрыва химических связей внутри молекул эпоксидной смолы возрастает, что подтверждено экспериментально: параметр E_d увеличивается с 105 до 117 кДж/моль. Это приводит к росту долговечности покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Роль энергетического состояния поверхности наночастиц в формировании структуры и свойств полимерных нанокомпозитов / Н. Р. Прокопчук [и др.] // Полимерные материалы и технологии. 2025. № 3. С. 28–35.
2. Об электропроводности эпоксидной матрицы с углеродными нанотрубками / В. А. Семенов [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2019. № 3. С. 89–93.
3. СТБ 1333.0–2002 «Изделия полимерные для строительства. Метод определения долговечности по энергии активации термоокислительной деструкции полимерных материалов» – Введ. 28.06.2002 (впервые). – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2002. – 8 с.

УДК 678.046

Насыбуллина А.А., Шишкина Н.Н., Закирова Л.Ю.
(ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ К СРЕДАМ РЕЗИН С ДОБАВКАМИ НА ОСНОВЕ КАРБАМИДОВ

В связи со стабилизацией ассортимента каучуков и основных ингредиентов резиновых смесей для создания резин с новыми свойствами весьма перспективным является использование в резиновых смесях химических добавок полифункционального действия.

Существует большое количество научных публикаций, написан целый ряд обзоров, в которых рассматривается модификация резин различными соединениями [1–4]. Однако, в большинстве случаев, модификация

направлена на решение конкретной проблемы. Добавляемые модификаторы чаще всего выполняют какую-либо одну частную задачу. Вследствие этого большинство систем многокомпонентно и содержит несколько модификаторов, каждый из которых играет определенную роль в композиции. Многокомпонентность резиновых составов усложняет производственные технологии и увеличивает их стоимость, кроме этого, снижается степень меж фазного взаимодействия внутри полимерной матрицы. Особую актуальность в данном плане приобретает поиск полифункциональных модификаторов, добавка которых позволяла бы решать сразу несколько эксплуатационных задач, т.е. приводить к улучшению нескольких свойств композиционного материала одновременно.

При смешении каучуков с такими добавками образуются композиции, применение которых позволяет в сильной степени изменить свойства как резиновых смесей, так и полученных из них резин.

Задачей данной работы явилось исследование влияния добавок на основе карбамидов на стойкость к маслу и воде, резин на основе каучука СКИ-3. В качестве исследуемых добавок использовали следующие карбамиды: 2,4-дифенилкарбамидтолуол (ДФКТ), 2-изоцианато-4-фенилкарбамидтолуол (ИФКТ), модифицированный полиизоцианат (МПИЦ) и аминодифенилметан с изоцианатным ТДИ фрагментом (АДФМ), синтезированные на кафедре ТСК Казанского национального исследовательского технологического университета. Ранее были проведены исследования по определению упруго-прочностных и адгезионных свойств резин с добавками [5], которые показали, что физико-механические характеристики находятся на уровне со стандартными резинами или несколько превышают соответствующие показатели. Для оценки возможности применения данных резин в контакте с маслом и водой, определяли стойкость образцов к жидкости по ГОСТ Р ИСО 1817-2009.

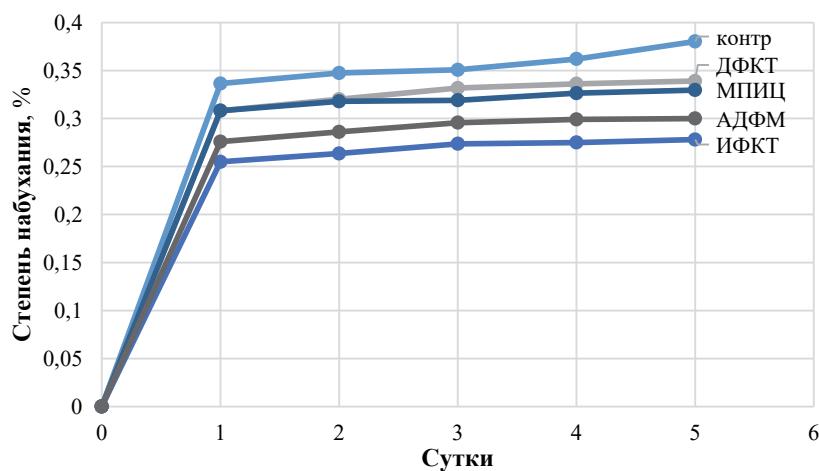


Рисунок 1 – Зависимость степени набухания образцов в масле

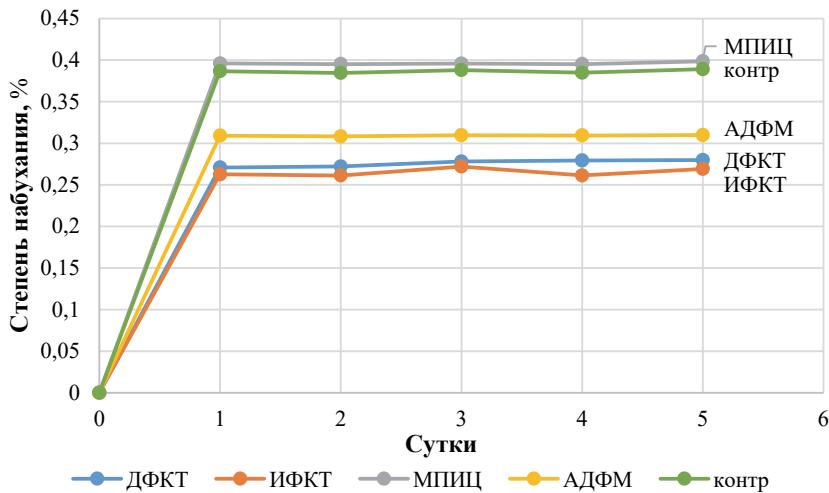


Рисунок 2 – Зависимость степени набухания образцов в воде

Как видно из представленных данных, для всех образцов резин с карбамидами наблюдается снижение степени набухания по сравнению с контрольным. Снижение данного показателя у образцов резин с ДФКТ, ИФКТ и МПИЦ в количестве 1,2 масс.частей составило 51%, 36% и 37% соответственно. Аналогичная зависимость наблюдается для всех образцов как в масле, так и в воде. Известно, что при погружении резины в жидкость начинается двусторонняя диффузия, при которой одновременно происходят два процесса: молекулы жидкости проникают в полимерную сетку резины (набухание); низкомолекулярные компоненты резины (пластификаторы, незаполимеризованные мономеры, технологические добавки) мигрируют в жидкость. Со временем система приближается к равновесию – это мы наблюдаем на графиках: кривые степени набухания со временем выплаживаются.

Косвенным образом эффективность протекания диффузионных процессов зависит от степени сшивки каучука, именно плотная упаковка макромолекул, образующаяся в ходе вулканизации, затрудняет свободному проникновению молекул низкомолекулярных веществ. Синтезированные карбамиды, очевидно, принимают участие в формировании пространственной сетки, что изменяет скорость протекания процессов диффузии резин.

ЛИТЕРАТУРА

- Шишкина Н.Н., Закирова Л.Ю., Самуилов Я.Д. Использование добавок на основе карбамида в резиновых смесях как агентов полифункционального действия // Каучук и резина. 2020. Т. 79. № 4. С. 198–202.

2. Карасева Ю.С., Черезова Е.Н. Сульфидирование замещенных фенолов и олефинов элементной серой как путь синтеза добавок бифункционального назначения для полимерных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т.16. № 6. С. 79–82.
3. Шишкина Н.Н., Закирова Л.Ю. Добавки для увеличения адгезионной прочности к металлокорду // Вестник Технологического университета. 2020. Т. 23. № 9. С. 65–67.
4. Черезова Е.Н., Галиханов М.Ф., Карасева Ю.С., Накып А.М. Влияние состава резин, наполненных карбокисметилцеллюлозой, на их свойства // Журнал прикладной химии. 2023. Т. 96. № 4. С. 391–396.
5. Гусейнова Ф.Ф., Закирова Л.Ю., Шишкина Н.Н. Исследование влияния добавок на основе карбамидов на свойства резин. В книге: Каучук и резина – 2023: традиции и новации. ООО "Издательство "Каучук и резина". Материалы XI Всероссийской конференции. Москва, 25–26 апреля 2023 года. С. 83.

УДК 546.47:66.081.3

Радковский И.С., Щербина Л.А., Будкуте И.А.

(Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий г. Могилев, Республика Беларусь)

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ НА ПОЖАРООПАСНОСТЬ И АНТИМИКРОБНУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ученые и технологии все больше обращаются к аспектам, связанным с особым физическим влиянием наноразмерных частиц (НЧ) на физико-химические, механические, тепловые, электрические и другие свойства композитных систем. Эти тенденции не обошли и анизотропную полимерную структуру волокнистых материалов (ВМ) и сулят перспективы расширения ассортимента полимерных волокнистых материалов путем их модификации на наноразмерном уровне. К числу таких ВМ можно отнести полиакрилонитрильные (ПАН) волокна, в том числе используемые в качестве прекурсоров углеродных волокнистых материалов (УВМ) и материалов текстильного назначения.

Развитие практических решений в данном направлении сдерживается отсутствием достоверных сведений о механизме влияния наноразмерных частиц на свойства ВМ и возможности прогнозирования эффекта их применения, например, в отношении изменения практически важных

свойств ВМ, например, таких, как пожароопасность и антимикробная активность.

Сложность поиска ответов на данные вопросы применительно к ПАН волокнистым материалам усугубляет их специфическая термореактивная структура, нагревание которой приводит к автотермическому процессу ее перестройки, сопровождающемуся возгоранием. Это осложняет разработку негорючих изделий на основе волокнообразующих сополимеров акрилонитрила. Тем не менее, поиск вариантов управления автотермическим процессом в полимерной структуре ПАН материалов перспективно для практического использования.

В связи с этим в данной работе рассмотрено влияние различных по природе НЧ на следующие свойства модифицированных ими ПАН волокон:

- пожароопасность по значению кислородного индекса;
- антимикробную активность по давлению роста колоний.

В качестве модельных образцов в работе были использованы волокна на основе волокнообразующего терсополимера (ВТП) поли[акрилонитрил (АН) (91) – со – метилакрилат (МА) (8) – со – 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС) (1 %)], сформованные из прядильных растворов (ПР), содержащих различные по природе НЧ количестве до 5 % (масс.). Практика показала, что введение наноразмерных модификаторов в большом количестве нарушает процесс нитеобразования, приводя к получению волокон неудовлетворительного качества по типовым потребительским показателям.

Наноразмерные модификаторы подбирались, в основном, из тех веществ, чья природная основа потенциально могла бы иметь как свойства антипирена, так и антимикробную активность. При этом были апробированы возможности наномодификации ПАН волокон путем введения высокодисперсных частиц в прядильный раствор на стадии его приготовления и путем инклюдационной модификации ПАН волокон в гель-состоянии путем их поверхностной обработки различными реагентами с последующим закреплением модификаторов в структуре волокон в результате коллапса их гель-структуры в процессе сушки. НЧ диспергирували в прядильном растворе воздействием ультразвука с частотой 44 кГц. Формование модельных ПАН волокон осуществляли по диметилформамидной технологии мокрым методом в условиях, близких к производственным. При введении НЧ в прядильный раствор полученные из него гель-волокна сушили и исследовали на целевые показатели. При модификации поверхностным способом гель-волокна погружали в раствор модификатора на сутки, затем их сушили, промывали и снова

сушили, а далее использовали для исследований. При этом в обозначении образцов указана концентрация раствора модификатора с буквой П (например, П-1%).

При определении кислородного индекса образцов волокон из них изготавливали стержни длиной до (200 ± 50) мм и сечением $(3\pm0,5)$ мм, которые исследовали с использованием установки «Прибор для измерения кислородного индекса БГ-КИ-01 ООО «БГМСервис Групп» (Республика Беларусь) согласно ГОСТ 12.1.044-2018. За окончательный результат принимали среднее арифметическое из пяти измерений. Антимикробную активность по отношению к штаммам микроорганизмов *E. coli* и *S. Aureus* оценивали в аккредитованной лаборатории учреждения здравоохранения «Могилевский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» в соответствии с методическими указаниями по лабораторной оценке антимикробной активности текстильных материалов, содержащих антимикробные препараты, утвержденных МЗ СССР от 18.11.1983.

На основе полученных экспериментальных данных можно constатировать, что практически все апробированные модификаторы к незначительному повышению кислородного индекса ПАН волокон. Исключение составил пирогенный оксид кремния марки Aerosil R805, который понизил кислородный индекс до 18,4 % (рисунок 1). Возможной причиной этого может быть формирование высокоразвитой внутренней поверхности ПАН волокна, получаемого из прядильных растворов, содержащих SiO_2 марки Aerosil R805.

Наиболее активно повышался кислородный индекс при введении в структуру ПАН 0,1 % наноразмерных частиц металлической меди. К сожалению, в большем количестве ввести НЧ Cu в прядильный раствор оказалось невозможным из-за критического возрастания вязкости и застудневания прядильных растворов, содержащих данные НЧ в большем количестве. Не оправдались ожидания от введения наночастиц MgO , а также ZnO , упоминаемых в различных источниках, как замедлители горения полимерных материалов.

Более эффективным оказалось применение НЧ для повышения антимикробной активности ПАН волокон (рисунок 2). В данной серии экспериментов антимикробная активность, по сравнению с контролем (ПАН волокно, не содержащее НЧ), полностью отсутствовала только у волокон, модифицированных ZnO . При этом важно отметить, что в большинстве случаев использованные наноразмерные модификаторы при придавали ПАН волокнам антимикробную активность находящуюся в диапазоне, близком к антимикробной активности ПАН волокон,

обработанных в гель-состоянии поверхностным способом 1 % раствором AgNO_3 с последующим переводом ляписа в структуре волокна в нерастворимый хлорид серебра и дополнительной его фиксацией в полимерном субстрате волокна путем проведения коллагса его гель-структуры.

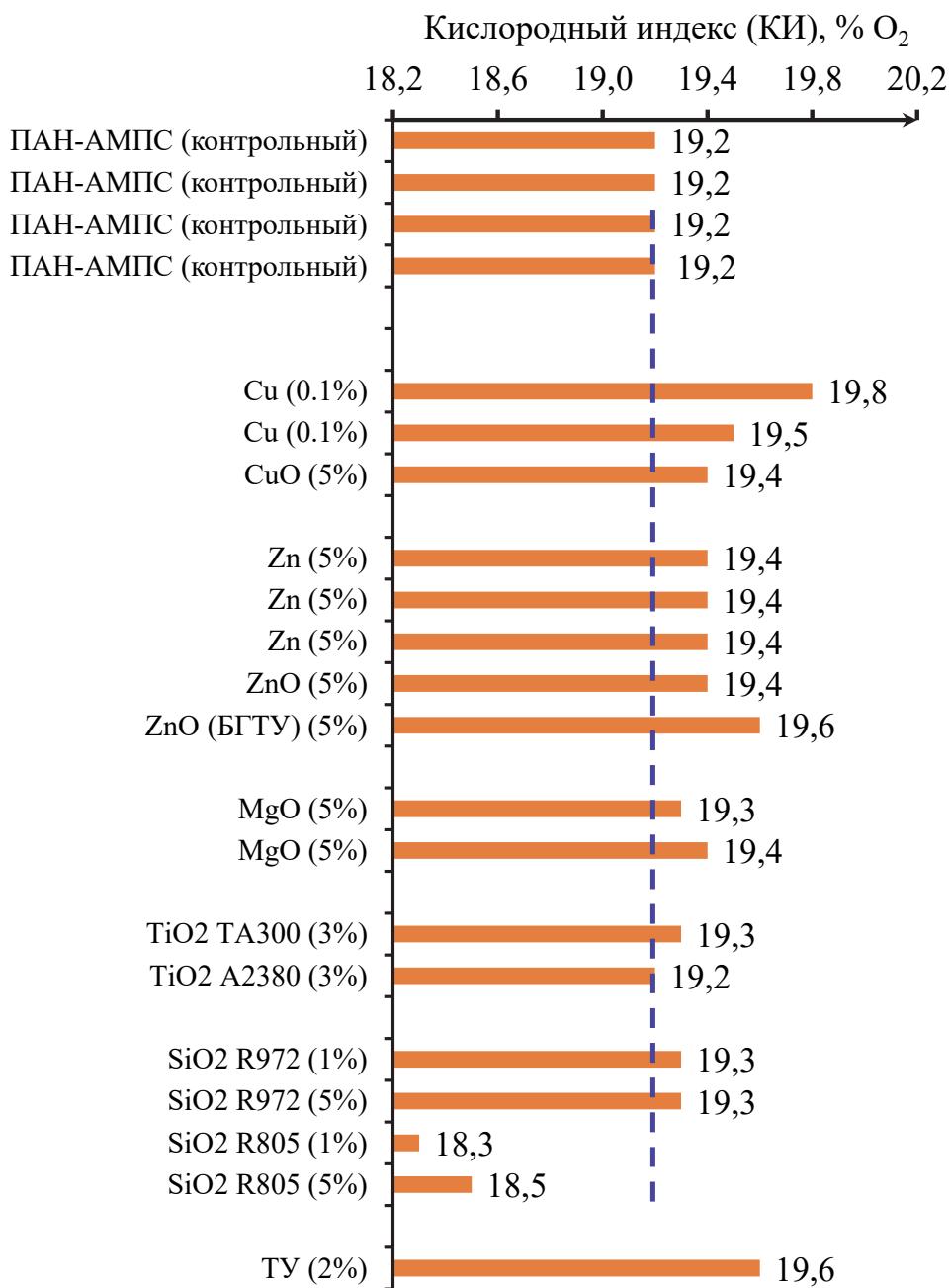


Рисунок 1 – Влияние НЧ на кислородный индекс
модифицированных ПАН волокон

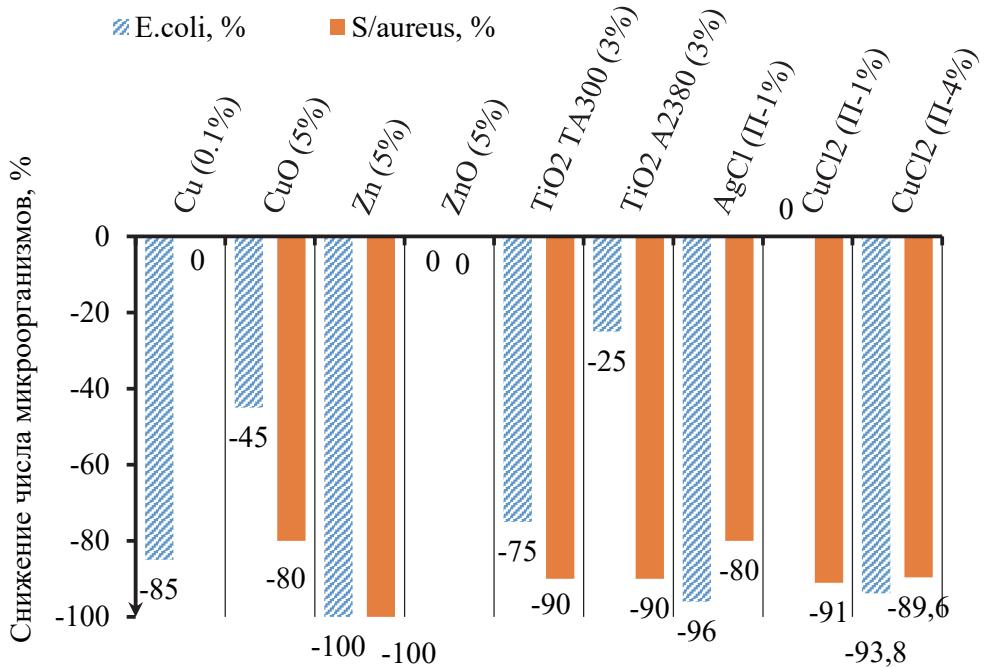


Рисунок 2 – Влияние НЧ на снижение антимикробной активности модифицированных ПАН волокон

Таким образом, имеются основания полагать целесообразным поиск дальнейших вариантов применения наноразмерных материалов для создания новых ассортиментов ПАН волокон.

УДК 524

**Сенюк Д.А., Петрунина А.С.,
Барковская О.А., Черник А.А.**
(Белорусский государственный технологический университет)

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ СПЛАВА НИКЕЛЬ-ХРОМ ИЗ КОМПЛЕКСНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА

Аннотация. Разработана технология электрохимического осаждения защитно-функциональных покрытий на основе сплава Ni-Cr, исследована кинетика электрохимического процесса осаждения сплава Ni-Cr, установлено влияние содержания хрома в сплаве на коррозионную стойкость и структуру покрытий.

Исследование электрохимического осаждения сплавов представляет теоретический и практический интерес. Полученные таким образом сплавы являются новыми материалами с улучшенными свойствами,

неприсущими металлургическим сплавам (высокая коррозионная стойкость, водоотталкивающий эффект, специфические магнитные, катализитические свойства, необычные механические характеристики и др.). Сплавы, полученные электролитическим способом, могут иметь фазовый состав отличный от равновесного, находиться в метастабильном состоянии [1–5].

Осаждение сплава проводили из электролита следующего состава г/дм³: NiSO₄ – 80, NiCl₂ – 20, KCrS₂O₈ – 40, C₂H₅NO₂ – 220, (NH₄)₂SO₄ – 200, H₃BO₃ – 30, 2-бутиндиол-1,4 – 0,3, сахарин – 1,5, Cr(NO₃)₃ – 62.

Анализ поляризационных кривых показал, что потенциал начала осаждения хрома сдвинут в электроотрицательную сторону относительно потенциала восстановления Ni²⁺ на 0,15 В. Однако потенциал осаждения сплава никель-хром менее отрицателен (-0,09 В), чем потенциал осаждения хрома (-1,3 В). Выход по току сплава в исследуемом электролите составил 25–30% при этом в диапазоне плотностей тока 2–7 А/дм² покрытия осаждались мелкодисперсными, гладкими, с повышенными декоративными свойствами.

В результате исследования коррозионной стойкости покрытия установлено, что плотность тока коррозии для сплава в 3% растворе NaCl составила $1,23 \cdot 10^{-6}$ А/см², тогда как плотность тока коррозии для никеля в этих условиях составила $2,35 \cdot 10^{-6}$ А/см².

Установлено, что при повышении температуры поверхность покрытий становится более гладкой и блестящей. При этом увеличивается микротвердость покрытий. Также микротвердость увеличивается от 343 до 736 HV при увеличении плотность тока с 3 до 7 А/дм².

Результат изучения износстойкости показал значения этого параметра, так за первые 100 м пути истиралось 0,15 мг, а по истечению километра этот показатель составил 0,42 мг. Момент трения практически не изменялся во времени, что еще подтверждает высокую устойчивость к износу. Среднее значение по моменту трения составило 0,3 Н·м. Низкая скорость деградации поверхности подтверждает, что даже при умеренной твердости образец сохраняет целостность. Это могло быть вызвано образованием оксидной пленки, пластичностью материала. Однако установлено, что с увеличением твердости, снижается износстойкость покрытий. Показано, что наилучшей изностойкостью обладает никель-хромовое покрытие, полученное при температуре 40°C и плотности тока 4 А/дм². Его износ составил 22 мг за 1 км испытаний, в то время как железного покрытия это значение было 63 мг, а для нержавеющей стали X18H10T – 47 мг.

Заключение. Гравиметрическим методом рассчитаны выходы по току покрытия Ni – Cr. Исследована электрохимическая кинетика процесса

осаждения покрытий на основе сплава никель-хром. Экспериментально установлено, что образование сплава Ni-Cr начинается при менее отрицательном потенциале (-0,9 В), чем образование чистого хрома (-1,3 В) в электролите, не содержащем ионов Ni^{2+} . Исследованы физико-химические свойства покрытия сплавом никель-хром.

Показано, что легирование никеля хромом изменяет качество и структуру гальванических покрытий. Так, при легировании никеля хромом происходит изменение структуры покрытия, повышается твердость и износостойкость. Установлено, что легирование никеля хромом приводит к образованию покрытий с большей коррозионной стойкостью в растворе 3%-ного NaCl.

Установлено, что при температуре 40 °С выход по току увеличивается с 13,68 до 25,62 %. Повышение плотности тока от 2 до 7 А/дм², приводит к увеличению микротвердости с 343 до 736 HV.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левинзон, А.М. Электролитическое осаждение металлов подгруппы железа / А.М. Левинзон – Л.: Машиностроение, – 1983.– 96с.
2. Беленький, М.А. и др. Электроосаждение металлических покрытий. Справочник / М.А. Беленький и др. – М.: Металлургия, – 1985. – 288с.
3. О никеле и хроме и их сплавах. / Тягунов Г.В. и др./// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2022. – № 8. – С. 56-62.
4. Федотьев Н.П. Электролитические сплавы / Н.П. Федотьев // Условия совместного осаждения металлов на катоде / Н.Н. Бибиков [и др.]; под ред. Н. П. Федотьев. – М., 1962. – Гл. 5. – С. 41–43.
5. Электросопротивление хромоникелевых расплавов / В.В. Вьюхин и др. // Физические свойства металлов и сплавов. – Екатеринбург, 2014. – С. 158–164.

УДК 678.046.3

**Касперович А.В., Касперович О.М.,
Петрушени А.Ф., Чернявский А.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

ВЫСОКОНАПЛНЕННЫЕ КОМПОЗИЦИИ ПОЛИЭТИЛЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛЫ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ

Рисовая шелуха – это внешний слой зерна, удаляемый после измельчения, масса которого составляет 20-26% от массы зерна. Таким образом можно понять какое количество отходов образуется при выращивании

риса. Ежегодно образуется около 600 млн. тонн рисовой шелухи и ее утилизация представляет собой актуальную проблему, поскольку она не распадается в земле.

Самым простым, но не самым перспективным методом является сжигание шелухи. Однако у шелухи низкая теплотворная способность и высокая влажность, к тому же в процессе ее сжигания образуются токсичные газы, в том числе оксид углерода, летучие органические соединения, ароматические углеводороды [1, 2].

Однако из рисовой шелухи можно получить и полезные ингредиенты. Так при озолении шелухи при 600–700 °C получают смесь сажи и диоксида кремния [3]. Полученный кремнезем имеет аморфную структуру.

Также существует целый ряд применений золы рисовой шелухи в металлургии, шинной промышленности, в качестве альтернативного жидкого топлива, а так же в сельском хозяйстве для улучшения почвы и как грубый корм для крупного рогатого скота.

В работе рассматривался углерод-кремнистый наполнитель, представляющий собой побочный продукт переработки растительного сырья (золы рисовой шелухи) в качестве наполнителя, для получения высоко-наполненных композиций на основе термопластов. Был проведен анализ влияния физико-химических характеристик добавок, подвергнутых механоактивации и без нее, на свойства получаемых полимерных композитов.

Использование сырья на основе возобновляемых природных продуктов практически невозможно без их предварительной обработки. Физическая модификация позволяет получать исходный продукт с высокой поверхностной энергией, что в свою очередь приведет к усилению адгезионного взаимодействия на границе добавка-полимер.

В работе были использованы для сравнения кремнийсодержащие добавки на основе золы рисовой шелухи с механоактивацией на планетарной мельнице в течение оптимального периода времени (3 минуты) и без нее. В качестве полимерной матрицы выбрали полиэтилен двух марок HD 85612IM и ЛПЭНП М3204RUP. Так же для повышения процента ввода золы в полимерную матрицу использовали полиэтиленовый воск ПВ-200, который обеспечивал лучшее распределение наполнителя в композите.

Если сравнивать поведение композиций при максимально возможной степени наполнения, то можно отметить следующее. Введение исходной золы в полиэтилен марки HD85612IM в количестве 70 масс. % привело к снижению показателя текучести расплава с 18,6 до 8,9 г/10 мин.

В то время как введение модифицированной золы снизило этот показатель до 7,6 г/10 мин. Механоактивация привела к уменьшению среднего размера агрегатов с 26 до 12 мкм, увеличению удельной поверхности наполнителя с 36 до 111 м²/г и соответственно увеличению площади его взаимодействия с полимерной матрицей, увеличению сорбционного объема с 0,020 до 0,061 см³/г, что и отражают полученные результаты исследования.

Тот же эффект наблюдался и для физико-механических свойств композиций. При использовании воска, в целом, удалось добиться большего процента наполнения (до 70 масс. %). Однако для композиций с модифицированной золой рисовой шелухи без использования воска максимальный процент наполнения составил 60 масс.%, при этом у образцов отсутствовала зона высокоэластической деформации на кривых растяжения, образцы становились жесткими, относительное удлинение при разрыве уменьшалось с 1000% для исходного полиэтилена до 8,3% для наполненного, однако значительно возрастал модуль упругости с 674 до 1567 МПа.

Таким образом существует возможность получать полимерные композиционные материалы с высокой степенью наполнения, пригодные для переработки на стандартном оборудовании, обладающие удовлетворительным комплексом физико-механических показателей, при снижении себестоимости готовой продукции, за счет снижения энергоемкости процесса получения наполнителя, содержащего большой процент диоксида кремния, и уменьшения доли полимерной фракции. Немаловажным является тот факт, что полученные материалы будут более экологичны за счет использования возобновляемого сырья.

Вовлечение отходов рисовой шелухи в ресурсооборот приведет к снижению негативного воздействия на окружающую среду. И поэтому разработка новых технологий утилизации золы рисовой шелухи является актуальным направлением научных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Greenhouse gas emission mitigation potential of rice husks for the An Giang Province / Pham Thi Mai Thao, Kiyo H. Kurisu, Keisuke Hanaki // VietNam. Biomass and Bioenergy – 2011. – № 35. – P. 3656–3666.
2. Effects from Open Rice Straw Burning Emission on Air Quality in the Bangkok Metropolitan Region / Danutawat Ti Payarom, Nguyen Thi Kim Oanh // Science Asia – 2007. – № 33. – P. 339–345.
3. Preparation of silica powder from rice husk / Ragini P., Dongre R., Meshram J. // Journal of Applied Chemistry. – 2014. – P. 26–29.

УДК: 547.233; 547.43; 541.64

Гулиев К.Г., Вахабова В.А.

(Институт полимерных материалов, Министерство науки
и образования Республики Азербайджан)

СИНТЕЗ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 1,4-ФЕНИЛЕН-БИС-(2-ГЛИЦИДИЛОКСИМЕТИЛ) ЦИКЛОРПОПАНА

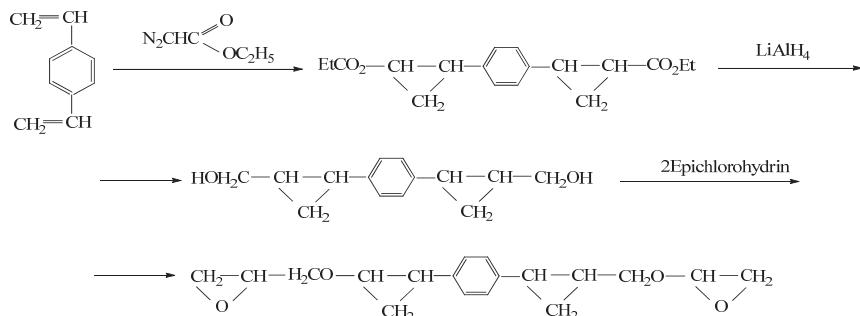
Эпоксидные смолы занимают одно из ведущих мест среди термоактивных полимеров благодаря их превосходным механическим, адгезионным и диэлектрическим свойствам [1]. Однако традиционные эпоксидные олигомеры на основе эпихлоргидрина и бисфенола. А, как правило, обладают высокой вязкостью, что усложняет их переработку и ограничивает области применения. В связи с этим разработка и синтез новых маловязких диглицидильных мономеров с повышенной реакционной способностью и улучшенными эксплуатационными характеристиками представляет собой актуальное направление исследований.

Соединения, содержащие циклопропановые фрагменты, привлекают значительное внимание, поскольку напряжённое трехчленное кольцо способно повышать как термическую стабильность, так и химическую реакционную способность эпоксидных систем [2]. Введение циклопропановых звеньев в полимерные сети может приводить к увеличению жесткости, температуры стеклования и устойчивости к термической деформации. Кроме того, такие фрагменты часто участвуют в фотохимических превращениях, что открывает возможности для создания фоточувствительных полимерных материалов.

В настоящей работе описывается синтез нового диглицидильного эфира – 1,4-фенилен-бис-(2-глицидилоксиметил)циклопропана, а также исследование его структурных особенностей методами ИК- и ЯМР¹Н-спектроскопии.

Целевое соединение получали взаимодействием эпихлоргидрина с 1,4-фенилен-бис-(гидроксиметил)циклопропаном в присутствии катализитического количества триэтиламина (ТЭА) при 70 °C в инертной атмосфере азота. После завершения реакции реакционную смесь нейтрализовали, продукт отделяли, промывали водой и сушили в вакууме при 40 °C до постоянной массы. Полученный диглицидильный эфир представлял собой вязкую светлую жидкость.

ИК-спектроскопия подтвердила образование целевого соединения. В спектре наблюдаются характерные полосы поглощения: 830–850 см⁻¹ – колебания оксиранового (эпоксидного) кольца, 1035–1045 см⁻¹ – валентные колебания трехчленных циклопропановых колец.



ЯМР ^1H -спектр дополнительно подтвердил структуру соединения. В спектре обнаружены сигналы: δ 6.60–7.30 м.д. — протоны ароматического кольца; δ 0.65–1.66 м.д. — протоны циклопропанового кольца; δ 2.30–2.60 м.д. — метиленовые протоны эпоксидной группы ($-\text{CH}_2-$); δ 2.96 м.д. — метиновый протон эпоксидного фрагмента ($-\text{CH}-$). Сохранение характерных сигналов циклопропановых протонов свидетельствует о том, что напряжённые трехчленные кольца остаются интактными в ходе синтеза, сохраняя свою потенциальную фотохимическую активность. Успешный синтез 1,4-фенилен-бис-(2-глицидилоксиметил)цикло-пропан обеспечивает доступ к новому классу многофункциональных мономеров, сочетающих: высокореакционноспособные эпоксидные группы, фоточувствительные циклопропановые фрагменты, структурные элементы, потенциально отвечающие за антимикробную активность.

Благодаря двойной функциональности полученное соединение является перспективным прекурсором для: фотосшиваемых полимеров, УФ-отверждаемых покрытий, фоторезистных материалов для микроэлектроники и фотолитографии, функциональных полимерных покрытий с возможным антимикробным действием.

Синтезирован новый диглицидильный эфир, содержащий как эпоксидные, так и циклопропановые фрагменты, и его структура подтверждена спектроскопическими методами. Уникальное сочетание эпоксидной реакционной способности, термической стабильности, фоточувствительности и потенциальной биологической активности делает данное соединение перспективным объектом для дальнейших исследований в области полимеризации, фотохимической кинетики и разработки высокоэффективных функциональных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pascault, J.P., Williams, R. J. J. Epoxy Polymers: New Materials and Innovations / J.P. Pascault, Williams R.J.J. // In book: Epoxy Polymers.—2010. – P. 345–355.
2. Meijere, A., Kozhushkov, S.I. The Chemistry of Highly Strained Oligo-spirocyclopropane Systems / A. Meijere, S. I. Kozhushkov // Chem. Rev. – 2000. – 100. – P. 93–142.

Абед Нодира, Негматов Сайибжан,

Шамсиева Сабохат

(Государственное учреждение «Фан ва тараккиет»
при ГТУ им. И Каримова)

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В работе представлены результаты исследований влияния органо-минеральных и электропроводящих наполнителей на формирование электрофизических и механических свойств композиционных полимерных систем на основе эпоксидного олигомера ЭД-16. Показано, что введение различных наполнителей способствует образованию многофазной гетерогенной структуры, свойства которой определяются природой, дисперсностью и концентрацией компонентов. Наиболее значительное снижение электрического сопротивления наблюдается при использовании электропроводящих наполнителей — сажи, графита и металлических порошков, тогда как минеральные наполнители проявляют стабилизирующее действие, улучшая диэлектрические характеристики.

Развитие современного машиностроения и электротехнических отраслей требует создания композиционных полимерных материалов с управляемыми электрофизическими и механическими характеристиками. Одним из эффективных направлений является модифицирование эпоксидных олигомеров органо-минеральными и электропроводящими наполнителями, позволяющими регулировать электропроводность, теплостойкость и прочность материалов.

Эпоксидные смолы обладают высокой адгезией и химической стойкостью, но характеризуются относительно низкой электропроводностью и ударной вязкостью. Введение наполнителей позволяет устранить эти недостатки, обеспечивая сочетание свойств, необходимых для эксплуатации покрытий в условиях электрических и тепловых нагрузок.

Добавление наполнителей в эпоксидную матрицу ЭД-16 приводит к формированию многофазной гетерогенной системы, в которой межфазное взаимодействие играет ключевую роль в изменении электрофизических характеристик. Поверхностные явления, такие как адсорбция полимерных цепей на поверхности частиц, влияют на перераспределение связей в полимерной сетке и образование проводящих каналов.

Исследования показали, что эффективность наполнителя определяется не только его проводимостью, но и адсорбционной активностью, формой частиц и равномерностью распределения в объёме. При использовании электропроводящих наполнителей (сажи, графита, металлических порошков) происходит резкое снижение объёмного (ρ_v) и поверхностного (ρ_s) электрического сопротивления.

Таблица – Тенденции изменения электрофизических свойств композиций ЭД-16 при увеличении концентрации наполнителей

Наполнитель	Концентрация, мас.ч.	ρ_v , Ом·см	ρ_s , Ом·см	ϵ ($f=1$ кГц)	$\operatorname{tg}\delta \cdot 10^2$
Сажа	0–5	$1 \cdot 10^{15}$	$6 \cdot 10^{15}$	4.6	2.6
Сажа	20	$2 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^7$	8.5	9.0
Графит	0–5	$1 \cdot 10^{15}$	$6 \cdot 10^{15}$	4.6	2.6
Графит	40	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^4$	5.0	2.5
Железный порошок	0–20	$1 \cdot 10^{14}$	$6 \cdot 10^{15}$	4.6	2.6
Железный порошок	200	$7 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^8$	7.9	5.0
Тальк / слюдяная мука	0–20	$5 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{15}$	4.1	2.2
Каолин	0–20	$1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{15}$	4.8	2.1
Оксиды металлов	0–40	$5 \cdot 10^{14}$	$7 \cdot 10^{15}$	4.1	2.3

Это связано с образованием переколяционных сетей, обеспечивающих прохождение электрического тока по контактным участкам между частицами. При низких концентрациях наполнителей частицы изолированы друг от друга, и система остаётся диэлектриком; при достижении критической концентрации формируется пространственная проводящая структура.

Минеральные наполнители (тальк, каолин, слюдяная мука) ведут себя иначе: они сохраняют высокое сопротивление, действуя как диэлектрические стабилизаторы. Такие наполнители улучшают теплостойкость и адгезию покрытий, не разрушая структуру полимера.

Результаты экспериментов показывают, что:

- Сажа и графит при 20–40 мас.ч. снижают ρ_v до 10^3 – 10^6 Ом·см, что указывает на формирование цепочечных проводящих структур.
- Железный порошок эффективен лишь при высоких концентрациях (свыше 150–200 мас.ч.), из-за неравномерного распределения частиц по объёму.
- Оксиды металлов (Fe_2O_3 , CuO , MnO_2) демонстрируют умеренное снижение сопротивления благодаря полупроводниковым свойствам и туннельному механизму прохождения тока.
- Минеральные наполнители (тальк, каолин, слюдяная мука) практически не изменяют электропроводность, но стабилизируют диэлектрические параметры и снижают $\operatorname{tg}\delta$.

Диэлектрическая проницаемость (ϵ) и тангенс диэлектрических потерь ($\operatorname{tg}\delta$) изменяются в зависимости от концентрации. Для сажи и графита при содержании выше 20 мас.ч. наблюдается резкое увеличение ϵ и $\operatorname{tg}\delta$, что связано с ростом поляризации и образованием микроконтактных зон проводимости. Напротив, тальк и слюдяная мука способствуют

уменьшению $\tg\delta$ и повышению стабильности диэлектрических свойств, особенно при 15–20 мас.ч.

Наряду с изменением электрофизических характеристик, введение наполнителей оказывает заметное влияние на механическую прочность композиций. Установлено, что частицы сажи и графита способствуют повышению микротвёрдости и адгезионной прочности за счёт усиления межмолекулярных взаимодействий. Минеральные наполнители улучшают теплостойкость и устойчивость к старению, действуя как термостабилизаторы.

Таким образом, выбор наполнителя позволяет целенаправленно управлять совокупностью свойств эпоксидных композиций: электропроводностью, диэлектрическими параметрами, прочностью и термостойкостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Липатов Ю.С. Межфазные влияния в полимерах. – Киев: Наукова думка, 1980.
2. Тростянская Е.Б., Шадчина З.М. Границные слои в полимерных композиционных материалах. – М., 1989.
3. Негматов С.С., Абед Н.С. и др. Исследование электромеханических свойств композиционных полимерных материалов. – Композиционные материалы, №4, 2020.
4. Mamunya Y.P., Davydenko V.V., Pissis P., Lebedev E.V. *Electrical and thermal conductivity of polymers filled with metal powders.* // *European Polymer Journal*, 2002.
5. Bauhofer W., Kovacs J.Z. *A review and analysis of electrical percolation in carbon nanotube polymer composites.* // *Composites Science and Technology*, 2009.

УДК 678.01

Люштык А.Ю., Каюшников С.Н., Ипонова Е.Ю.

(ОАО «Белшина»)

Шашок Ж.С., Усс Е.П.

(УО «Белорусский государственный технологический университет»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМОЛ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОРЕЗОУСТОЙЧИВОСТИ ПРОТЕКТОРА

В настоящее время одной из причин сокращения срока службы шин, используемых на транспортных средствах карьерной техники, самосвалов, погрузчиков, является порезы и проколы, выкрашивание резины

и вырыв элементов рисунка протектора. Это обусловлено многократным контактом шин с грубыми, острыми поверхностями.

Устойчивость к порезам и сколам – это способность поверхности материала противостоять износу, вызванному резанием и царапанием/соскабливанием при циклических ударных нагрузках. Сопротивление проколу является важной характеристикой для оценки эксплуатационных свойств многих резиновых изделий: шин, особенно работающих в тяжёлых условиях рудных карьеров или плохих дорожных покрытий.

Для оценки сопротивления проколу используют специальные приборы, или разрывную машину, заострённые инденторы или инденторы со скругленным концом. Испытания проводят в двух режимах: статическом – индентор внедряется в образец при небольшой скорости и ударном – используется маятниковый копер при скоростях порядка нескольких единиц м/с [1].

Использование специальных смол в составе эластомерных композиций для протекторных резин может эффективно улучшить сопротивление разрыву, устойчивости к порезам и устойчивости к сколам поверхности шины [2]. Среди таких продуктов в резиновых смесях на основе натурального и синтетических каучуков получили распространение углеводородные смолы.

Целью данной работы являлось исследование влияния количественного содержания модифицирующей смолы на эксплуатационные свойства шинных эластомерных композиций.

Объектами исследования являлись протекторные эластомерные композиции на основе натурального каучука. Смолы вводили в дозировка от 2,0 до 7,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука.

В таблице 1 приведены результаты исследований по оценке показателей механических свойств резин.

Таблица 1 – Механические свойства резин

Содержание смолы, мас. ч.	Условное напряжение при заданном удлинении, МПа		Относительное удлинение при разрыве, %	Условная прочность при растяжении, МПа
	100 %	300 %		
Без смолы	2,4	12,2	570	27,7
2,0	2,4	11,7	570	27,1
4,0	2,1	10,0	580	26,0
6,0	2,1	9,5	610	25,9
7,0	1,9	8,9	620	25,4

Из представленных данных видно, что с увеличением содержания смолы в составе шинной эластомерной композиции от 2,0 до 7,0 мас. ч.

приводит к уменьшению основных упруго-прочностных свойств вулканизатов. Установлено, что условное напряжение при 100 и 300 % удлинении исследуемых резин снижается на 20,8–27,0 %. Определено, что для резины без смолы условная прочность при растяжении составляет 27,7 МПа, относительное удлинение при разрыве 570 %. В случае введения 2,0 мас. ч. смолы показатель условной прочности при растяжении равен 27,1 МПа, относительного удлинения при разрыве – 579 %, а при дальнейшем увеличении дозировки смолы показатель условной прочности при растяжении уменьшается и составляет 26,0–25,4 МПа, в то время как относительное удлинение при разрыве увеличивается и составляет 580–620%.

Таким образом выявлено, что с увеличением дозировки модифицирующей смолы прочностные свойства вулканизатов снижаются, а эластические свойства – повышаются. Такой характер изменения упруго-прочностных свойств резин обусловлен пластифицирующим действием модифицирующей смолы, поскольку при введении пластификаторов практически во всех случаях снижаются прочностные свойства, напряжения при удлинениях и твердость, а эластические свойства повышаются [3].

Определены характеристики динамических механических свойств образцов резины при сжатии. Влияние содержания смолы по данным испытаний на динамо-механическом анализаторе представлены в таблице 2.

На основании полученных данных установлено, что введение в резиновую смесь модифицирующей смолы приводит к снижению модуля упругости резин и повышению модуля потерь и тангенса угла механических потерь. При этом повышение гистерезисных потерь увеличивается с увеличением дозировки смолы.

Таблица 2 – Основные показатели гистерезисных свойств резин с модифицирующей смолой

Содержание смолы, мас. ч.	Модуль упругости, МПа	Модуль потерь, МПа	Тангенс угла механических потерь
Без смолы	5,270	0,6458	0,1226
2,0 мас. ч.	5,238	0,7017	0,1340
4,0 мас. ч.	5,140	0,7502	0,1464
6,0 мас. ч.	5,007	0,7647	0,1527
7,0 мас. ч.	4,796	0,7085	0,1478

Так, для композиции без смолы значение модуля упругости равно 5,270 МПа, модуля потерь 0,6458 МПа и тангенс угла механических

потерь – 0,1226, а для композиции с 4,0 мас. ч. модуль упругости составляет 5,140 МПа, модуль потерь – 0,7502 МПа, тангенс угла механических потерь – 0,1464. Аналогичные зависимости определены и при больших дозировках. В данном случае использование 2,0 мас. ч. модифицирующей смолы позволяет получать резины с наименьшими изменениями гистерезисных свойств по сравнению с резиной без смолы.

Для оценки устойчивости к порезам и сколам резин протектора (таблица 3) испытания проведены на анализаторе порезов и проколов GT-7012-Q.

Таблица 3 – Результаты испытания порезоустойчивости протектора

Содержание смолы, мас. ч.	Плотность, г/см ³	Потеря объема, см ³	Индекс сопротивления порезам, CRI, %
Без смолы	1,140	1,450	100,0
2,0 мас. ч.	1,120	1,292	112,2
4,0 мас. ч.	1,123	1,197	121,1
6,0 мас. ч.	1,125	1,144	126,8
7,0 мас. ч.	1,124	1,142	126,9

Из таблицы видно, что введение модифицирующей смолы в состав протекторных композиций позволяет повысить стойкость резин к порезам. Так, для резины без смолы потеря объема составляет 1,450 см³, а для резин со смолой находится в пределах 1,292–1,142 см³. При этом индекс сопротивления порезам увеличивается на 12,2–26,9 %. Следует отметить, что увеличение дозировки смолы с 6,0 мас. ч. до 7,0 мас. ч. практически не оказывает влияние на стойкость резины к порезам. В данном случае индекс сопротивления порезам для резины с 6,0 мас. ч. равен 126,8 %, а для резины с 7,0 мас. ч. – 126,9 %. По результатам исследования установлено, что использование модифицирующей смолы в составе протекторных смесей в дозировке до 6,0 мас. ч. способствует повышению стойкости резин к порезам. Однако, при определении оптимальной дозировки смолы необходимо учитывать влияние данного компонента на упруго-прочностные и гистерезисные свойства резин.

Сопоставление данных по сопротивлению проколу и условному напряжению при относительном удлинении (рисунок 1), свидетельствует о наличии определенной корреляции между данными показателями свойств резин, что может быть полезно для прогноза эксплуатационного поведения резин.

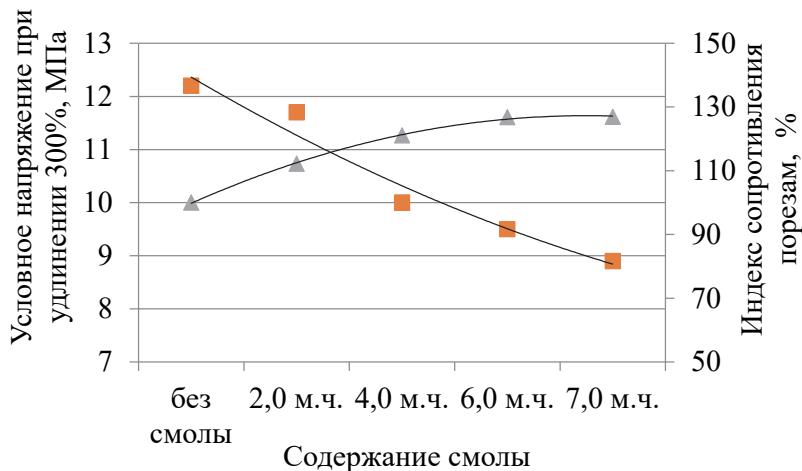


Рисунок 1 – Условное напряжение при 300 %-ом удлинении и индекс сопротивления порезам

Таким образом, на основании проведенного исследования выявлен положительный эффект по показателям, характеризующим сопротивление протекторных резин порезам и проколам при введении специальных смол в их состав. Использование модифицирующих смол позволяет повысить устойчивость протектора шин к порезам и сколам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зуев Ю.С. Разрушение эластомеров в условиях, характерных для эксплуатации / Ю.С. Зуев. – М.: Химия, 1980. – 288 с.
2. Пичугин А.М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин. – М.: Машиностроение, 2008. – 383 с.
3. Корнев А.Е., Буканов А.М., Шевердяев О.Н. Технология эластомерных материалов. – М.: Истек, 2009. – 500 с.

УДК

Куликов А.А., Никифоров А.А., Вольфсон С.И.
(Казанский национальный исследовательский
технологический университет)

ПОЛИМЕРНЫЙ ВОДОРАСТВОРИМЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ В 3Д ПЕЧАТИ

Аддитивное производство, или 3D-печать, – процесс создания трехмерных объектов на основе их цифровых моделей. Один из известных методов 3D-печати на данный момент времени – моделирование методом

послойного наплавления (FDM/FFF) или экструзия нашел применение во многих отраслях промышленности: прототипирование, медицина, автомобильная, авиакосмическая промышленность и т.д.

Из-за сложности и некоторых ограничений технологии послойного наплавления, например, при создании навесных конструкций, возникает потребность в так называемых поддержках – временные опорные конструкции, дающие стабильную устойчивость модели, которые удаляются при завершении самой печати. Один из способов удаления поддержки – растворение в воде или в иной среде, позволяющей растворить полимер. Стоит отметить, что при подобном методе, химической или механической обработки готового изделия уже не требуется в дальнейшем.

Основой большинства поддержек в 3D-печати выступают такие полимеры, как водорастворимые: полилактид (PLA), поливиниловая кислота (PVA) или же высокопрочный полистирол (HIPS), который легко растворяется в D-Лимонене. Ожидаемо, что ограниченное количество ассортимента поддержек для 3D-печати привело к поиску новых материалов для улучшения филаментов из уже существующих композиций. Среди подобных можно найти, например, разработанную композицию филамента на основе сополимера бутенидиола с поливиниловым спиртом (BVOH) или же терполимер акрилата (АТР), способный растворяться не только в воде, но и в щелочных средах.

Однако учитывая все положительные стороны имеющихся материалов, есть несколько важных минусов, влияющих на решение по применению того или иного филамента. Первое – отсутствие отечественного производства вышеописанных филаментов, что в свою очередь также затрагивает и проблему логистики, транспортировки и поставки, второе – высокая стоимость ввиду использующегося сырья для производства. Поэтому разработка отечественного полимерного композиционного материала на основе водорастворимого полимера имеет практическую значимость в мире 3D-печати на сегодняшний день.

Анализ литературных данных и источников, связанных с поддержками для 3D-печати, позволил найти несколько подходящих вариантов основы ПКМ для поддержек в 3D-печати. Поливиниловый спирт (PVA, ПВС) – водорастворимый, термопластичный полимер, белого цвета без вкуса, запаха. Получается в результате реакции щелочного или кислотного гидролиза, либо же алкоголиза сложных поливиниловых эфиров. Как правило, ПВС не токсичен, что является полезным качеством данного полимера для окружающей среды. Но одним из важных и основных

свойствами, которыми наделен ПВС это определенно его водорастворимость. Вспомогательный материал из ПВС на готовой модели способен быстро растворяться как в холодной воде, так и в горячей, не нарушая геометрию финальной модели. При температуре выше 220°C, пластик начинает разлагаться.

Гидроксиэтилцеллюзоза (НЕС, ГЭЦ) – водорастворимый полимер органического происхождения, является производным от целлюлозы. ГЭЦ обладает превосходной растворимостью в воде, образуя в результате прозрачные и вязкие растворы. В широком диапазоне температур ГЭЦ проявляет хорошую термическую стабильность, сохраняя свою функциональность при переработке.

Существует ряд работ, посвященных свойствам ГЭЦ и особенностям, связанным с областью 3D-печати. Так, например, согласно проведенным исследованиям по ГЭЦ в качестве добавки для инженерной биопечати [1], результаты полученных композитов с ГЭЦ демонстрируют повышение таких реологических свойств, как динамическая вязкость и модуль упругости примерно в 100 раз. Благодаря полученным данным установлено, что добавление ГЭЦ позволяет стабилизировать сложные структуры, обеспечив равномерное распределение, а также повысить точность печати, сократив расчет между теоретическим и расчетным значением, свидетельствуя о потенциале ГЭЦ при применении в 3D-печати. В статье [2] был исследован потенциал добавок на основе ГЭЦ и диоксида кремния для улучшения экструдируемости и формируемости для 3D-печати. Как итог, при вводе ГЭЦ качество печати повышается, а время печати соответствует 20 мин.

Таким образом, разработка композиционного материала на основе ГЭЦ и ПВА является актуальной задачей на данный момент. Проводится исследование по изучению реологических, физико-механических свойств, полученного ПКМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Xiaorui L, Quanfeng D, Shuai W, Qi L, Weijie Z, Bingcheng L, Yong L, and Xiuli Z. Hydroxyethyl cellulose as a rheological additive for tuning the extrusion printability and scaffold properties /3D PRINTING AND ADDITIVE MANUFACTURING Volume 8, Number 2, 2021. DOI: 10.1089/3dp.2020.0167
2. Eka Oktavia K, Hee-Jeong K. Enhancing the printability of 3D printing limestone calcined clay cement using hydroxyethyl cellulose admixture and silica fume / Construction and Building Materials Volume 474, 2025. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2025.140973

УДК 547.458+543.422.25

Лейла Аббасова, Бахтияр Мамедов

(Министерство Науки и Образования Республики Азербайджан,
Институт полимерных материалов)

**РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА СОПОЛИМЕРА,
ОБРАЗОВАННОГО АЛЛИЛОВЫМ ЭФИРОМ
САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И СТИРОЛОМ**

Производные салициловой кислоты — в частности эфирные и амидные соединения — благодаря наличию в их структуре как фенольной, так и карбоксильной функциональных групп обладают широким спектром применения. Такие соединения вызывают большой интерес в полимерной химии благодаря своим антимикробным, антиоксидантным, противовоспалительным свойствам, а также способности функционировать как пластификаторы и УФ-абсорбенты. Аллилсалицилат (аллиловый эфир салициловой кислоты), содержащий как активное ароматическое ядро, так и реакционноспособную двойную связь C=C, способен участвовать в различных химических процессах и реакциях сополимеризации. Стиролом является одним из основных мономеров промышленных полимерных материалов и характеризуется высокой механической прочностью, химической стойкостью и широкими возможностями для модификации. Продукты, полученные совместным участием аллилсалицилата и стирола, позволяют формировать новые функциональные полимерные архитектуры. Такие материалы могут иметь потенциал применения при модификации термопластов, создании поверхностно-активных композиций, а также в синтезе УФ-стабильных и антимикробных материалов. Для точного определения химической природы и структуры продукта реакции аллилсалицилата со стиролом важно использование спектральных методов анализа, в частности инфракрасной (ИК) спектроскопии [1,2]. Этот метод является эффективным аналитическим инструментом для выявления функциональных групп, изменений в ароматической системе, трансформации двойных связей C=C, а также появления новых химических связей в продукте [3,4].

Целью данной работы является получение сополимера аллилсалицилата со стиролом, исследование его антимикробных свойств и повышение антимикробной активности путём введения синтезированного сополимера в различные композитные системы. Для более точного и корректного анализа результата реакции был использован один из

основных спектральных методов — ИК-спектроскопия, и полученные результаты были проанализированы. В ИК-спектрах сополимеров аллилсалицилата со стиролом фиксируются полосы поглощения при 698 и 758 см^{-1} . Эти полосы соответствуют деформационным внеплоскостным колебаниям пяти соседних C—H связей бензольного кольца. Кроме того, в ИК-спектрах сополимеров наблюдается полоса при 775 см^{-1} , что, вероятно, связано с наличием четырёх соседних C—H связей в бензольном кольце производных аллилсалицилата. В спектрах полистирола и сополимеров фиксируются четыре полосы в диапазоне 2849–3081 см^{-1} , соответствующие валентным колебаниям C—H в алифатических группах $-\text{CH}_2$ и $-\text{C—H}$. В ИК-спектре полистирола колебания связей между атомами углерода ароматического кольца проявляются в виде полос средней интенсивности при 1491, 1492 и 1583 см^{-1} . В спектре сополимера аналогичные полосы наблюдаются при 1451, 1492 и 1584 см^{-1} . Сравнение ИК-спектров полистирола и сополимера показало, что, в отличие от полистирола, в спектрах сополимеров присутствуют полосы поглощения, относящиеся к валентным колебаниям связи C=O сложного эфира (1677 см^{-1}), а также колебаниям связи C—O сложного эфира (1157 см^{-1}). Наличие этих полос подтверждает образование сложного эфира в структуре сополимера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gholizadeh, M. Spectroscopic Analysis of Aromatic Ester Derivatives: A Comprehensive FT-IR and UV–Vis Study / M. Gholizadeh, S. Ghafourian, A. Rostami // Journal of Molecular Structure. – 2021. – Vol. 1243. – Art. 130830. – DOI: 10.1016/j.molstruc.2021.130830.
2. Al-Harbi, L.M. Structural and Spectral Characterization of Salicylate-Based Organic Compounds Using IR and UV–Vis Techniques / L.M. Al-Harbi, S.H. Hassan, A.H. Abd-Elkader // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. – 2022. – Vol. 268. – Art. 120652. – DOI: 10.1016/j.saa.2021.120652.
3. Gündüz, B. FTIR and UV–Vis Characterization of Polymerizable Aromatic Compounds and Their Styrene Copolymers / B. Gündüz, Y. Polat, A. Ercan // Polymer Testing. – 2023. – Vol. 118. – Art. 107932. – DOI: 10.1016/j.polymertesting.2023.107932.
4. Singh, R. Advanced Vibrational Spectroscopy for Structural Analysis of Functionalized Aromatic Monomers and Polymers / R. Singh, A. Pal, V. Kumar // Vibrational Spectroscopy. – 2020. – Vol. 110. – Art. 103147. – DOI: 10.1016/j.vibspec.2020.103147.

Люштык А.Ю., Каюшников С.Н.

(ОАО «Белшина»)

Шашок Ж.С., Усс Е.П., Кротова О.А.,

Лешкевич А.В., Савицкая Т.Ю.

(УО «Белорусский государственный технологический университет»)

**ХИМИЧЕСКИЙ ПРОМОТОР ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА С КАУЧУКОМ
В СОСТАВЕ ШИННЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ**

Для повышения технических характеристик шинных резин в рецептурах эластомерных композиций может применяться химический промотор взаимодействия технического углерода с каучуком, который улучшает диспергирование наполнителя в эластомерной матрице (снижает эффект Пейна), а также увеличивает напряжения при растяжении, прочность на разрыв и усталостную прочность при изгибе [1].

Целью работы являлось установление зависимостей влияния химического промотора взаимодействия технического углерода с натуральным каучуком (НК) на свойства эластомерных композиций.

Объектами исследования являлись эластомерные композиции на основе НК и химический промотор взаимодействия технического углерода с каучуком марки CSC920, который вводился в резиновые смеси в дозировке 1,6 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука.

В таблице приведены результаты исследований шинных эластомерных композиций с химическим промотором взаимодействия CSC920 и без него.

Таблица – Свойства шинных эластомерных композиций

Наименование показателей	Без добавки	CSC920
Связанный каучук, %	68,1	74,8
Условная прочность при 300%-ом удлинении	12,0	13,2
Условная прочность при растяжении, МПа	24,3	24,4
Относительное удлинение при разрыве, %	510	480
Средняя молекулярная масса отрезка молекулярной цепи, заключенного между двумя поперечными связями, кг/моль	14888	14005
Количество поперечных связей в 1 см ³ вулканизата, см ³	3,8	4,0
Плотность поперечного сшивания, моль/см ³	6,2	6,6
Модуль упругости, МПа	5,144	5,433
Модуль потерь, МПа	0,536	0,551
Тангенс угла механических потерь tgα	0,1043	0,1015

Из представленных данных видно, что применение химического промотора взаимодействия технического углерода с каучуком приводит к увеличению содержания связанного каучука (68,1 % до 74,8%) за счет повышения межфазного взаимодействия наполнителя и эластомера, которое включает физическую адсорбцию, хемосорбцию и механическое взаимодействие [2].

Определено, что использование в составе эластомерных композиций химического промотора марки CSC920 приводит к некоторому увеличению (до 10,0 %) показателя условного напряжения при 300 %-ом удлинении. При этом значение условной прочности при растяжении для исследуемых резин практически равнозначны, а показатель относительного удлинения при разрыве меньше для резин с исследуемым компонентом (480 % – при использовании в составе композиции CSC920 и 510 % – без добавки).

Выявленный характер изменения упруго-прочных свойств вулканизатов связан с улучшением взаимодействия поверхности технического углерода с макромолекулами каучука, что приводит к повышению содержания связанного каучука в объеме эластомерной композиции, изменению структуры вулканизата и, как следствие, отражается на основных прочностных свойствах исследуемых вулканизатов [1]. Результаты определения показателей пространственной сетки подтвердили различия в структуре резин при введении в композицию химического промотора CSC920.

Введение в состав эластомерных композиций химического промотора взаимодействия технического углерода с каучуком приводит к увеличению модуля упругости резин и модуля потерь. Однако, в результате применения в резиновых смесях CSC920 выявлено снижение гистерезисных потерь резин, поскольку показатели тангенса угла механических потерь для резины с химическим промотором имеет меньшее (0,1015) значение, чем для резины без исследуемого компонента (0,1043).

Уменьшение гистерезисных потерь резин с химическим промотором взаимодействия технического углерода с каучуком может быть обусловлено снижением дефектности структуры резины за счет улучшения диспергирования наполнителя в объеме эластомерной матрицы и равномерности распределения поперечных связей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин Б.С. Теория и практика усиления эластомеров. Состояние и направления развития. – Казань: КНИТУ, 2016. – 420 с.
2. Mark, J. Science and technology of rubber / J. Mark. – Academic Press, 2005. – 768 p.

УДК 546.47:66.081.3

Щербина Л.А., Будкуте И.А.

(Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий)

Прокопчук Н.Р.

(Белорусский государственный технологический университет)

ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Производство химических волокон в Республике Беларусь является важнейшим народно-хозяйственным сегментом, обеспечивавшим до девяностых годов прошлого века существенную долю национального дохода БССР. Сегодня экспорт всех химических волокон и нитей, выпускаемых в Республике Беларусь, составляет около 80 %, а полиакрилонитрильных (ПАН) волокон – около 90 %.

Мировое производство ПАН (или акриловых) волокон всегда занимало не самую большую, но стабильную долю на рынке текстильных материалов. В настоящее время наметился среднегодовой прирост объема рынка акрилового волокна в размере более 3,6 %, который в 2025 году составляет около 1,57 млн. тонн (или 5,52 млрд. долларов США) и, предположительно, достигнет 1,81 млн. тонн к 2030 году.

ПАН волока выпускают несколько десятков фирм. Важнейшие из них расположены в Турции, Китае, Японии и США. Основной прирост производства ПАН волокон в прошедшие годы отмечался в Китае и на Тайване, в Южной Корее и Индии, в Турции и Иране. Вклад регионов планеты в рынок ПАН волокна в 2023 г. распределился следующим образом: Северная Америка – 20 %, Азиатско-Тихоокеанский регион – 45 %, Европа – 25 %, Латинская Америка – 5 %, Ближний Восток и Африка 5 – %. В 2025 году мировая доля производства ПАН волокна в Азиатско-Тихоокеанском региона превысила 49 %, а ожидаемый среднегодовой темп роста производства в данном регионе в период с 2026 по 2035 год прогнозируется выше 5 % в год, преимущественно за счет производства в Китае и Индии. Это связано с растущим спросом на ПАН волокна в таких отраслях, как текстиль, автомобилестроение, композитные материалы. Около 50 % ПАН волокна текстильного ассортимента идет на производство одежды, а около 30 % для выпуска ковровых изделий, обивки и др. Есть мнение, что в ближайшие годы текстильный сектор будет расти в среднем на 5 %. В целом, на рынке акриловых волокон сегмент текстильной промышленности в 2025 году занял более 68,6 %. Этому способствуют достижения в технологии производства волокон, в частности, разработка низкопиллинговых и высокопрочных волокон, инновации, повышающие долговечность и эксплуатационные

характеристики акриловых тканей, решая проблему износа у потребителей. Интерес потребителей к изделиям на основе ПАН волокон объясняется множеством их достоинств.

Во-первых, по тактильным ощущениям и визуально они превосходят тонкорунную шерсть, создают ощущение уюта, лёгкие, хорошо окрашиваются в разнообразные цвета, быстро сохнут после стирки; сохраняют тепло не хуже шерсти, не выгорают на солнце, не поедаются молью и микроорганизмами, не вызывают аллергических реакций, не сминаемы, не скользят и не усаживаются при стирке, не притягательны в уходе, плохо удерживают загрязнения и почти не впитывают влагу, износостойки, доступны по стоимости. ПАН волокна используются как индивидуально, так в смеске с натуральными и химическими волокнами во всех вариантах бытового текстиля, включая трикотажные изделия, искусственный мех, носки и спортивную одежду, верхнюю одежду, одеяла, ковры, обивочные материалы и многое другое. В данном сегменте ПАН волокна имеют «потребительскую» нишу в объеме около 0,3 кг на человека в год.

Во-вторых, уникальность ПАН волокон не только в возможности производства технического текстиля, такого как защитная одежда, фильтровальные материалы, армирующие наполнители, рыболовные сети и т.п., но еще и в том, что они являются благодатными прекурсорами для высокотехнологичных материалов специального назначения. Например, они прекрасно модифицируются в сорбенты различного назначения, а также являются важнейшими сырьем для выпуска термостойкого окисленного ПАН волокна и углеродных волокнистых материалов (УВМ). При этом доля ПАН волокон специального назначения в объеме прекурсоров УВМ доходит до 90 %. И спрос на них продолжает неуклонно расти, так как этому есть ряд веских причин. Одна из них, активное повышение спроса на композиционные материалы.

К ПАН волокнам, как к преурсорам УВМ, предъявляются более жесткие требования по их морфологической и химической структуре и физико-механическим свойствам (например: к однородности структуры волокна, ее дефектности, высокой идентичности филаментов в жгуте, степени ориентации макромолекул вдоль оси филаментов, а также сомномерному составу, определяющему протекание цепных термохимических превращений ПАН субстрата прекурсоров в одну из форм структурной организации в УВМ).

В-третьих, технологическое оформление предложенных и на практике реализованных вариантов производства ПАН волокон текстильного и технического назначения, вероятно, имеет самое большое разнообразие. Они могут отличаться композиционным составом используемых

сополимеров акрилонитрила и применяемыми растворителями. Большинство ПАН волокон текстильного и технического назначения производят, как правило, из тройных сополимеров: акрилонитрила (не менее 85 %), винилового сомономера (6-12 %), вводимого для улучшения перерабатываемости и потребительских свойств (метилакрилат, метилметакрилат, винилацетат и др.), и ионогенного сомономера (1-3 %), придающего волокну сродство к определенной группе красителям (например, 2-акриламид-2-метилпропансульфокислота, аллилсульфонат натрия, итаконовая кислота, акриловая – к катионным красителям, винилпирдин – к кислотным красителям). Синтез ПАН ведут либо гомофазным, либо гетерофазным методом (в водной среде путем сусpenзионной и реже эмульсионной полимеризации). Прядильные растворы получают демономеризацией реакционной массы после гомофазного синтеза или растворением сополимера, полученного гетерофазным методом.

Выпускают ПАН волокна, в основном, в виде штапелированного (около 63,7 т на 2025 г.) или жгутового волокна. Только около 1 % продукции выпускают в виде комплексных нитей. Основные методы получения: мокре (около 60 % на 2023 г.), сухо-мокре и сухое (40 %) формование из растворов ПАН. Существует также вариант формования ПАН волокна из пластифицированного состояния. Прорабатываются способы его получения из расплава и механотропным методом. Нетканые ПАН материалы можно получить еще и методом электродинамического формования. В качестве растворителей в промышленности широко используют диметилформамид (ДМФ), диметилацетамид, диметилсульфоксид, водные растворы пропилен- и этиленкарбоната (85 %-ный), роданида натрия (51,5 %-ный), $ZnCl_2$ (60%-ный). Известны варианты с использованием растворов HNO_3 (65-70 %-ные), перхлората магния, роданида кальция и другие.

На рынке ПАН волокон доминируют Aksa Akrilik (Турция), Dralon (Германия), Aditya Birla (Индия), Mitsubishi Chemical (Япония), Formosa Plastics (Тайвань), Jilin Chemical Fiber (Китай), Kaltex (Мексика), Sinopec (Китай), Pasupati Acrylon (Индия), Toray Industries (Япония). При этом у каждой из них свое технологическое решение.

Несмотря на то, что ПАН волокна, получаемые различными вариантами, хотя и имеют определенные различия в свойствах и структуре, но имеющаяся информация не позволяет выделить наиболее экономически целесообразный технологический вариант для их производства. Много зависит от сырьевой базы, соблюдения авторских прав, наличия лицензий, логистики, масштабов производств, исторического стечения обстоятельств, «привычек» переработчиков, пригодности отдельных видов волокон для специальных применений. Например, наиболее

высокотехнологичные прекусоры для высококачественных УВМ получают в Японии по водно-роданидному, который как бы считают архаичным для производства текстильных ассортиментов ПАН волокна. И это при том, что данным способом формируются ПАН волокна, имеющие наиболее комфортные тактильные ощущения.

В Республике Беларусь также имеется многолетний опыт производства ПАН волокон по диметилформамидному и водно-родному методам из сополимеров акрилонитрила, синтезируемых гомофазным способом. Существовало также производство модакрилового волокна мокрым методом из ацетоновых растворов поликарилонитрил (60–40 %) – со – винилхлорид (40-60 %)], синтезируемого эмульсионным методом.

Сегодня интерес может представлять выпуск высокоусадочных, бактерицидных, высокопрочных, короткорезаных, очень тонких, с регулируемой пористостью, фибриллирующих, смарт («умных»), инклюзионно-модифицированных, электропроводящих, термостойких, огнестойких, термостабилизированных (заменителей асбеста), прекурсоров УВМ и других видах ПАН волокон. Рассматривая возможность реализации такого разнообразия ассортимента ПАН волокон, необходимо отметить, что организовывать это на существующем оборудовании нецелесообразно из-за его высокой мощности и узкой текстильной специализации. Для производства этих материалов необходимы «гибкие» технологические цепочки, имеющие комплекс оборудования для перехода с одного ассортимента на другой. Это необходимо хотя бы из тех соображений, что потребители и их требования постоянно меняются, а технологическое оборудование должно удовлетворять этому в течение нескольких десятков лет. Поэтому, чтобы следовать мировым трендам, необходимо создавать новые производственные мощности.

УДК 666.151.016.2:546.311-31

Грицкевич К.С., Павлюкевич Ю.Г.
(Белорусский государственный технологический университет)

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ЛИСТОВЫХ СТЕКОЛ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ ОКСИДОВ

Аннотация. В данной работе проведено исследование технологических и физико-химических свойств листовых стекол со сниженным содержанием щелочных оксидов. Установлены особенности влияния состава на вязкостные характеристики стекол.

В последние годы наблюдается рост интереса к разработке новых составов листовых стекол, которые сочетают в себе высокие эксплуатационные характеристики и низкое содержание щелочных оксидов. Постоянно растущие требования к качеству и разнообразию стеклянной продукции стимулируют поиск новых решений и оптимизацию существующих технологических процессов. В условиях высокой конкуренции на рынке строительных материалов, снижение себестоимости производства при одновременном повышении качества продукции и улучшении эксплуатационных характеристик, является ключевым фактором успеха для стекольных предприятий [1–2]. В связи с этим актуальна проблема выбора оптимального состава листового стекла, обеспечивающего следующие требования:

- удовлетворительные варочные свойства, позволяющие получать гомогенную и осветленную стекломассу;
- высокие выработочные характеристики, обеспечивающие возможность формования методом флоат технологии;
- эксплуатационные свойства, удовлетворяющие требованиям применения в различных областях.

В настоящее время в Республике Беларусь основным производителем листовых стекол является ОАО «Гомельстекло». Разработка новых составов представляет практический интерес для предприятия.

Целью исследования является оптимизация состава листового стекла по содержанию оксидов щелочных металлов.

Объектом исследования явились составы листовых стекол, синтезированные в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$.

Для оптимизации состава листового стекла по содержанию Na_2O , который вводится наиболее дорогостоящим компонентом шихты – кальцинированной содой, проведена его частичная замена на SiO_2 , Al_2O_3 , CaO и MgO . При приготовлении шихты использовались следующие сырьевые материалы: кварцевый песок, сода кальцинированная, известняк, доломит, полевой шпат, сульфат натрия, углеродсодержащий материал. Синтез стекол проводили в газовой печи. Температура варки стекол составляла 1500 ± 10 °С. Скорость подъема температуры 300 °С/ч с выдержкой при максимальной температуре 1 ч. В процессе синтеза поддерживались окислительные условия варки. Для снятия внутренних напряжений после выработки стекла отжигались в электрической муфельной печи при температуре 600 °С.

Изучены технологические и физико-химические характеристики стекол.

Вязкость является важнейшей технологической характеристикой стекол. Она влияет на процессы варки (стеклообразование, гомогенизация,

осветление стекломассы), формования и обработки изделий. Состав стекла сильно влияет на вязкость, так как на эту зависимость влияет прочность связей между ионами и степенью связности кремнекислородного каркаса. Ввод оксидов щелочных металлов приводит к резкому снижению показателей вязкости, в связи со снижением прочности связей Me–O. Введение щелочноземельных оксидов способствует снижению показателей вязкости, однако оксиды CaO и MgO в большей степени понижают вязкость в области высоких температур и в меньшей степени в области низких. Тугоплавкие оксиды (SiO_2 , Al_2O_3), в свою очередь, вызывают повышение вязкости, благодаря им можно регулировать «длину» стекла. Установлено, что при замене Na_2O на CaO и MgO наблюдается повышение максимальной температуры варки, это связано с уменьшением содержания легкоплавкого компонента в шихте. Варьирование содержания основных компонентов позволило снизить данный показатель. Снижение щелочного компонента приводит к росту температур, отвечающих значениям $\lg \eta = 2,1 - 3,0 \text{ Па}\cdot\text{s}$ (температура начала формования) и температуры отжига. Установлено, что при одинаковом содержании Na_2O замена MgO на CaO приводит к снижению температуры формования и росту температуры отжига, что отвечает требованиям, предъявляемым к листовому стеклу.

По результатам градиентной термообработки можно сделать вывод, что разработанные стекла имеют склонность к кристаллизации. Для всех испытуемых образцов характерно наличие поверхностной пленки (кристаллической пленки) после термической обработки. При уменьшении содержания Na_2O безопасный интервал формования снижается, однако остается достаточно большим, из чего можно предположить, что кристаллизация расплава не будет технологической проблемой.

Плотность стекол зависит от входящих в состав оксидов. Установлено, что снижение суммарного содержания щелочных оксидов ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) до 12,5 мас.% при одновременном увеличении доли CaO и MgO приводит к увеличению плотности листовых стекол.

Показано, что ТКЛР стекол снижается при замене Na_2O на CaO. При замене MgO на CaO ТКЛР стекла возрастает.

Все полученные опытные стекла относятся к III классу водостойкости. Химическая устойчивость алюмосиликатных стекол зависит от соотношения SiO_2 и Al_2O_3 в составе, чем выше содержание SiO_2 относительно Al_2O_3 , тем более устойчивы стекла в растворах воды и кислот.

Оптимизированы составы стекол по содержанию основных компонентов, обеспечивающих требуемые технологические и физико-химические характеристики листовых стекол. Оптимальное содержание

щелочного компонента составляет 12,5 мас. %, что на 1,2 мас. % ниже используемого в настоящее время на ОАО «Гомельстекло».

Следует отметить, что проведенные исследования вносят существенный вклад в оптимизацию составов листового стекла, направленную на снижение себестоимости и повышение конкурентоспособности продукции без ухудшения, а зачастую и с улучшением его ключевых свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1 Терещенко И.М. Технология листового стекла. – Минск: БГТУ, 2009. – 360 с.

2 Encyclopedia of Glass Science, Technology, History, and Culture. – New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2021. – P. 67–80.

3 Eric Le Bourhis. Glass. Mechanics and Technology. – Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2014. – P. 211–234.

4 Uusitalo, Ol. Float Glass Innovation in the Flat Glass. – New York: Springer Cham Heidelberg, 2014 – 109 p.

УДК 546.47:66.081.3

Радковский И.С., Щербина Л.А., Будкуте И.А.

(Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, г. Могилев, Республика Беларусь)

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКОН, СОДЕРЖАЩИХ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Благодаря достижениям в развитии технологий производства высокодисперсных материалов, а также, в целом, нанотехнологий, открываются перспективы внутриструктурного модифицирования различных полимерных материалов с целью придания им востребованных практикой характеристик, отличных от базовых. При этом следует исходить из того, что надмолекулярная структура полимерных материалов представлена флуктуационными надмолекулярными образованиями, которые формируются в результате теплового движения макромолекулярных сегментов, имеющих среднестатистический размер около 10–40 нм. При введении в структуру полимеров наноразмерных модификаторов, обладающих высокой поверхностной энергией и сопоставимыми с сегментами макромолекул размерами высока вероятность образования ассоциативных структур, способных формировать специфические свойства наномодифицируемых полимерных материалов. Такие ассоциативные

структуры могут быть принципиально уподоблены ультрамикрогетерогенным системам с коллоидной дисперсностью. Поэтому их свойства будут значительно отличаться и от свойств гомогенных систем с молекулярной дисперсностью, и от свойств грубодисперсных гетерогенных систем, наполненных крупными агломератами, и, видимо, от свойств обычных, принципиально термодинамически нестабильных низкомолекулярных коллоидных систем. Последнее обусловлено тем, что каждая макромолекула, входящая в полимерную матрицу по принципу молекулярного войлока участвует в формировании многочисленных ассоциативных структур. Тем самым обеспечивается, как минимум, кооперативный эффект во влиянии на свойства материалов, инклюдирующих наноразмерные частицы ассоциативных надмолекулярных структур в полимерной матрице, а также большая стабильность достигаемых наномодификаций показателей.

Поэтому сегодня развивается интерес к аспектам, связанным с особым физическим влиянием наноразмерных структур на свойства нанокомпозитных систем. Например, наноразмерные частицы (НЧ) Cu, Zn и их оксиды проявляют антибактериальные эффекты. Повышение огне- и термостойкости полимерных материалов можно ожидать при введении в них ZnO и MgO. Электрофизическую активность полимерам могут придавать материалы на основе Fe.

Исходя из перспективности исследований в данном направлении, целью данной работы явилась оценка возможности распространения этих тенденций на материалы с анизотропной структурой, например, такие как полиакрилонитрильные (ПАН) волокна, в том числе используемые в качестве прекурсоров углеродных волокнистых материалов (УВМ) и текстильных материалов.

Одной из проблем при реализации данной научно-технической задачи на примере высокоанизотропных структур, которые могут быть представлены волокнистыми и пленочными материалами, состоит в том, что их базовые потребительские свойства определяются высокой степенью ориентации макромолекул и их организацией в различные надмолекулярные образования. Первичный вопрос состоит в том, насколько удачно смогут интегрироваться НЧ в надмолекулярную структуру волокнообразующих полимеров, существенно не ухудшая их базовые свойства: способность к волокнообразованию, переработываемость и эксплуатацию в виде волокнистых материалов.

Отсутствие достаточных сведений о том, как повлияют НЧ на стабильность протекания технологических процессов получения и переработки ПАН волокнистых материалов сдерживает широкое внедрение перспективных наноразмерных модификаторов в производственную практику.

Для оценки возможности формирования модифицированных НЧ различной природы ПАН волокон были использованы прядильные растворы (ПР) на основе диметилформамида (ДМФ) и волокнообразующего терсополимера (ВТП) полигакрилонитрил (91) – со – метилакрилат (8) – со – 2-акриламид-2 метилпропансульфокислота (1 % (масс)). В ПР вводили НЧ Cu, CuO, Zn, ZnO, MgO, Fe₃O₄, SiO₂, имеющие первичный размер от 20 до 110 нм и удельную площадь поверхности от 5 до 200 м²/г. Общее содержание «ВТП–НЧ» в ПР составляло ($21,0 \pm 0,3$) % (масс.). Содержание НЧ в ПР (в % от массы системы «ВТП–НЧ») составляло: 0, 0,1, 0,5, 5,0. НЧ диспергировали воздействием на их дисперсию ультразвуковых колебаний частотой 44 кГц при мощности генератора 400 Вт. Реологическое поведение ПР исследовали с помощью вискозиметра Брукфильда «Brookfield DV-II+Pro». Формирование ПАН волокон осуществляли в условиях, близким к производственным.

Анализ реологического поведения ПР показал, что с увеличением в них содержания НЧ наблюдается тенденция к росту динамической вязкости ПР (рисунок 1). Наиболее активно возрастает вязкость при введении в ПР частиц Zn и, особенно, Cu. Поэтому с ПР, содержащими более 0,1 % Cu, не удалось провести все запланированные исследования. Помимо этого, в присутствии малых количеств (0,1 %) НЧ SiO₂ отмечается экстремум, характеризующий некоторое снижение вязкости ПР.

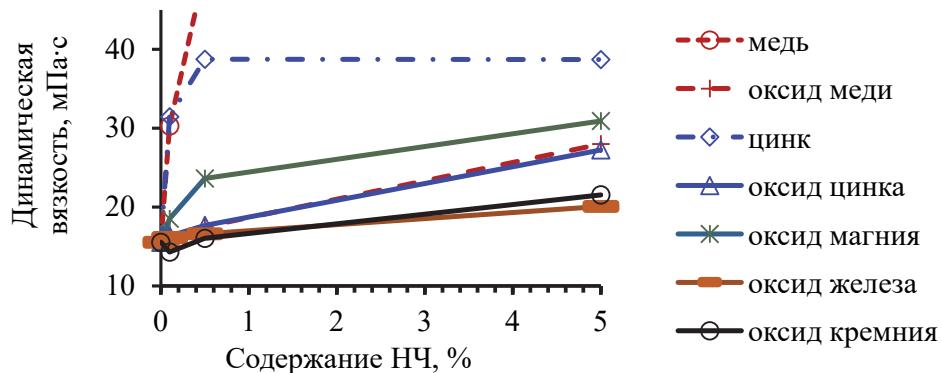


Рисунок 1 – Влияние НЧ на динамическую вязкость ПР

Также отмечено увеличение числа гель-частиц в ПР по мере роста в них содержания НЧ, что может быть объяснено протеканием самоагрегирования. Наиболее активно структурные неоднородности накапливались в ПР, содержащих 5 % MgO и 5 % Fe₃O₄.

В целом, процесс формования ПАН волокон выявил тенденцию к антибатности влияния природы и содержания НЧ на динамическую вязкость (рисунок 1) и прядомость ПР (рисунок 2), а также и то, что в присутствии

минимальных количеств (0,1 %) НЧ SiO_2 , Fe_3O_4 наблюдался некоторый рост деформируемости струи прядильной жидкости, из которой формируется гель-структура волокна в процессе фильтрного вытягивания в осадительной ванне. Однако дальнейшее повышение содержания НЧ в ПР во всех случаях приводило к снижению прядомости. Несмотря на приемлемые для формования реологические показатели ПР, при содержании 5 % НЧ ZnO наблюдалась повышенная обрывность филаментов из-за закупоривания отверстий фильтр. При получении волокон, модифицированных НЧ SiO_2 , Fe_3O_4 и MgO , такой проблемы не отмечалось.

Результаты оценки деформируемости гель-структуры свежесформованных ПАН волокон на основе данных о максимальной кратности пластификационного вытягивания были в полной мере симбатны результатам оценки прядомости. При этом ПР, содержащие НЧ SiO_2 или Fe_3O_4 , продемонстрировали не только наилучшую деформируемость, но и при их использовании отмечались наиболее высокие значения максимального пластификационного вытягивания.

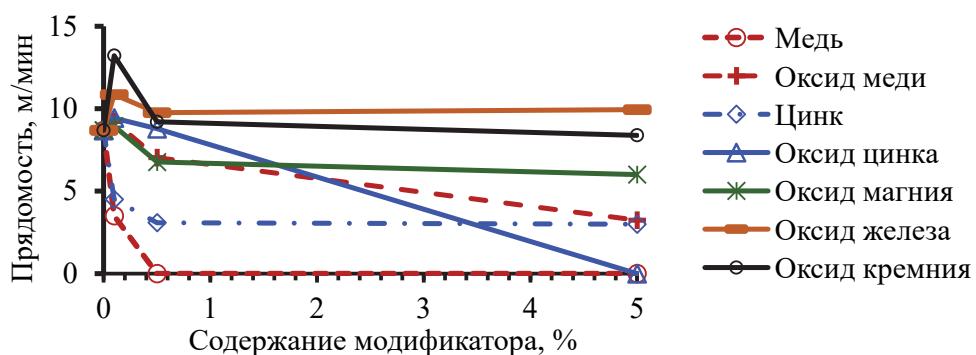


Рисунок 2 – Влияние НЧ на прядомость

Микроскопирование гель-волокон и поперечных срезов волокон в сухом состоянии не позволило выявить принципиального влияния природы НЧ на структурно-морфологические особенности модифицированных волокнистых материалов. Можно лишь отметить, что наибольшей оптической однородностью структуры отличались волокна, модифицированные пирогенным SiO_2 .

Что касается модификации введением рассматриваемых НЧ некоторых свойств ПАН волокон, то можно отметить следующее:

- введение 0,1 % НЧ Cu в ПАН волокна подавляет развитие *E. Coli* на 85 %,
- введение 5 % НЧ CuO и Zn тормозит развитие *E. Coli* на 45 % и 100 %, соответственно, а развитие колоний *St. aures* – на 80 % и 100 %, соответственно.

При этом не отмечено существенного изменения кислородного индекса (КИ) для модифицированных ПАН волокон, по всей видимости, по причине автотермичности процесса перестройки их структуры. При этом введение SiO₂ марки Aerosil R972 даже снижает КИ с 19,2÷19,3 до 18,3÷18,5 %.

Таким образом, исследование продемонстрировало влияние природы и содержания НЧ в ПР на процесс формирования ПАН волокон. Отмечены ограничения в возможности использования некоторых видов НЧ для модификации ПАН волокон, получаемых мокрым методом в условиях, близким к производственным.

UDK 678.4

Karimova S.S., Mammedov B.A.

(Baku State University)

Balayeva O.O.

(Institute of Polymer Materials, Ministry of Science
and Education of the Republic of Azerbaijan)

THE SYNTHESIS OF CU-AL LDHS AND THEIR STABILISATION WITH PVA

Layered Double Hydroxides (LDHs) are materials with a wide range of applications. They are characterized by the ability to modify both their structural configurations and interlayer ions according to specific requirements. These materials exhibit high ion exchange capacities, are economically feasible to synthesize, and the whole procedure has minimal environmental impact.

Inclusion of LDHs within polymer matrices is promising for creating composite materials with diverse structures and functionalities.

Cu-Al Layered Double Hydroxides (LDHs) are synthesized using the co-precipitation method [1], where we have used CuSO₄ and Al₂(SO₄)₃ salts as precursors. The procedure has been controlled with pH. The synthesis has been carried out at pH=8-9. The characteristic properties of the synthesized LDH were studied.

The Cu-Al LDH synthesis process was carried out employing the co-precipitation method under cold conditions in a PVA medium, and the intercalated nanocomposite was synthesized.

When it comes to adding PVA to the synthesis of Cu-Al LDH, PVA chains can be intercalated between the LDH layers or adsorbed onto the surface. "In this case, the interlayer distance increases, resulting in a reduced

tendency of LDH to aggregate. Consequently, the LDH particles do not “stick” to each other but are instead homogeneously dispersed [2].

The addition of a 10% PVA solution to the synthesis of Cu-Al LDH enhances the structural stability and mechanical and thermal durability of the nanocomposite, ensures uniform dispersion of the LDH, and significantly improves the barrier and functional properties of the material. Cu-Al LDH naturally shows antimicrobial activity, ion-exchange capability, and catalytic behavior. When it is combined with a PVA matrix, it can be used to create materials such as antibacterial films, sensors, and catalytic membranes.

REFERENCES

1. A.I. Boulahbal, L. Santamaría, A. Azizi, M. Boutahala, S.A. Korili, A. Gil, Synthesis of Cu-Al layered double hydroxides from aluminum saline slags, Minerals Engineering, Volume 204, December 2023, 108413.
2. A. T. Hibino & W. Jones., “Intercalation of poly(vinyl alcohol) in layered double hydroxides”, Journal of Materials Chemistry, 2001.

УДК 621.865.8:69.057

Ивановская И.С., Ивановский В.В.

(Белорусский государственный технологический университет)

КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ РОБОТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ РОБОТИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Робототехника играет ключевую роль в развитии современных строительных технологий. Ее цель – улучшение строительных процессов – делает роботов взаимодополняющими и важными элементами современного строительства. Их использование может привести к значительным преимуществам для предприятий, стремящихся к инновациям и эффективности.

Целью работы является определение основных преимуществ использования строительных роботов. Основной задачей работы является определение степени изменения строительных процессов при росте уровня их роботизации и выявления факторов способствующих внедрению новых технологий. Степень актуальности применения робототехники в производственных и строительных процессах можно потвердить вовлением в систематизацию данного вопроса крупных международных организаций. Такие организации, как Американский национальный институт стандартов (ANSI) и его подгруппа A3 (Ассоциация по развитию автоматизации) вместе с Международной организацией по стандартизации (ISO) разработали и опубликовали стандарты безопасности

ANSI/RIA R15.06 и технические спецификации ISO/TS 15066, которые предоставили рекомендации по безопасной работе роботов в контролируемых условиях.

Роботизация процессов – это тренд, который охватил практически все сферы деятельности, от сферы услуг до промышленного производства и транспорта. Однако строительные процессы до последнего времени оставались трудоемкими по причине сложности адаптации роботов к условиям на строительной площадке. Для снижения трудоемкости и внедрения автоматизации строительные процессы переводили в промышленные цеха, в которых было возможно создать условия для функционирования роботов и систем автоматизации. Это привело к росту удельного веса модульного строительства и префабрикации в общей массе строительных процессов.

Однако из всего многообразия строительных процессов обеспечить префабрикацию оказалось возможным лишь для незначительной части. Основная масса строительных процессов должны были осуществляться в условиях функционирования строительной площадки.

По данным международных исследовательских организаций (FutureBridge, The businessresearch company, Grand View Research) мировой строительный рынок подвержен воздействию следующих факторов:

- 91% компаний сталкиваются с нехваткой рабочей силы, а руководители все больше отдают предпочтение решать эту проблему с помощью автоматизации;
- за пять лет количество смертельных случаев на строительных площадках мира выросло на 145% (в основном из-за найма на субподряд низкоквалифицированных организаций, использующих дешевую рабочую силу), что толкает к внедрению робототехники, ориентированной на безопасность;
- практика применения строительных роботов показывает рост эффективности проведения работ на 15%, на 38% рост скорости проведения работ и на 30% уменьшение отходов.
- рынок строительной робототехники стоимостью 1,3 млрд долларов США растет среднегодовыми темпами в 15%, в гонке участвуют Северная Америка, Европа и Азия.
- новые модели роботов и автоматизированных механизмов выходят за рамки операций по сносу и перемещению грузов, и выполняют такие сложные строительные процессы, как возведение конструкций, отделочные, фасадные и кровельные работы;
- рост уровня урбанизации населения в ближайшие годы потребует возведения до 14 тысяч новых зданий в день, что невозможно при сохранении высокого уровня ручного труда в строительстве;

– робототехника в строительстве обеспечивает точность, эффективность и безопасность в масштабе.

– венчурные и частные инвестиционные компании наращивают объемы инвестиций в цифровую трансформацию экономики, что в конечном итоге приведет к необходимости трансформации строительных процессов.

Самыми значительными препятствиями на пути автоматизации строительных процессов являются медленная интеграция роботизированных систем в традиционную систему организации строительных работ, высокие первоначальные затраты и необходимость общеотраслевого внедрения цифровых инструментов, таких как BIM (Building Information Modeling).

В свою очередь ключевыми преимуществами, которые ускоряют процесс автоматизации строительных процессов являются: точность и эффективность работы строительных роботов, сокращение количества человеческих ошибок, рост безопасности для человека, сокращение отходов и выбросов, рост экологичности строительных проектов, обеспечение получения более быстрых и стабильных результатов от инвестиций в строительство.

Высокая капиталоемкость автоматизации и роботизации строительных процессов является одной из трудностей, с которой сталкиваются строительные организации. В 2025 г. цена одного строительного робота для отделочных работ колеблется в пределах между 90-120 тыс. долл. США, что достаточно дорого для массового внедрения строительных роботов. Рынок ожидает роста серийности производства роботов и снижения их цены до 40-50 тыс. долл. США, что позволит их активному внедрению в строительные процессы. Существует также определенная зависимость от промышленности строительных материалов, приведения к определенному уровню точности поставляемых материалов, которую необходимо соблюдать для автоматизации работ и корректной работы строительных роботов. Дополнительная трудность заключается в необходимости стандартизации программного и аппаратного обеспечения, используемого архитекторами, инженерами, производителями строительных материалов и строительных предприятий, вовлеченных в процесс строительства. Предпосылкой для автоматизированных строительных технологий является другими словами точное определение всех стандартов программного и аппаратного обеспечения, а также соответствующих интерфейсов.

Также есть риск падения эффективности строительства за счет того, что многие строительные организации попадают в ловушку инноваций и квалификации. Вместо инвестиций в новые строительные технологии,

которые сейчас связаны с автоматизацией и роботизацией строительных процессов, а также изменением структуры работников, за счет обучения их взаимодействию с автоматизированными системами, крупные строительные организации заключают договора субподряда с организациями с низкими издержками и низкой заработной платой. Это размывает финансовые ресурсы, не позволяет развивать и накапливать опыт работы с автоматизированной системой строительства. В конечном итоге, отказ от инновационных преобразований в технологии строительства не позволит строительным организациям успешно конкурировать на международном строительном рынке, а с ростом отставания в качестве и цене работ, такие организации не смогут работать и на внутреннем рынке, даже при высоком уровне протекционизма местных властей.

На рисунке 1 покажем какое влияние оказывает роботизация на изменение показателей структуры, численности и производительности труда звена облицовщиков.



Рисунок 1 – Влияние роботизации строительных процессов на численность и производительность

Рост производительности обеспечивается изменением структуры работ, выполняемых рабочими, с увеличением доли специализированных и обслуживающих технику операций.

В заключении можно сделать вывод, что процесс автоматизации строительных работ – это комплексная задача, которая только в малой степени зависит от роста инвестиций в роботизацию процесса строительства. В первую очередь развитие автоматизации зависит от уровня организации производства работ, от готовности к переходу на цифровые технологии всех участников процесса и самое главное, подготовки персонала, обладающего нужной квалификацией, поиска решений по компенсации сокращения доходов тем работникам, которые теряют свое место работы. Также фактической преградой является необходимость одновременного перехода на новые стандарты всех участников строительного процесса. Это потребует активной работы по координации взаимодействия, поиска инвестиций на проведение перехода. На данный момент, роботизация отдельных строительных процессов позволит наработать строительным организациям необходимый опыт взаимодействия работников с роботами, нашупать сильные и слабые стороны в их применении. Так как за последние десять лет объем производства строительной роботизированной техники увеличился в десятки раз, невозможно оставаться в стороне от данного процесса. Отставание в степени автоматизации строительных работ будет вызывать большие проблемы, самые крупными из которых будут замедление структурной перестройки производственной системы страны и структуры трудовых ресурсов, что приведет к отставанию в системе образования, проблемами с миграцией трудовых ресурсов, высокой стоимости инвестиций из-за роста доли строительно-монтажных работ, ухудшения качества жизни населения.

Из-за высокой сложности процесса строительства и застоя в технологических преобразованиях необходима долгосрочная подготовка для адаптации отрасли к передовым методам строительства. Архитекторы, инженеры и все другие участники строительного процесса должны быть интегрированы в этот процесс адаптации. Краткосрочное и долгосрочное развитие автоматизации будет происходить поэтапно и будет ориентировано на разработку новых стандартов и требований. Использование роботов будет тем эффективнее, чем более правильно они будут интегрированы в цепочки строительных производственных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы затрат труда на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы № 19 «Устройство полов», утвержденном постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 22.06.2009 №201.

УДК 621.923

Вишневский К.В., Шашок Ж.С.

(УО «Белорусский государственный технологический университет»)

Jin H., Wu YD.

(Wenzhou University, China)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Фторкаучуки занимают лидирующее положение в семействе специальных эластомеров благодаря своей уникальной совокупности свойств. Они демонстрируют исключительную стойкость к действию высоких температур (до 200–250 °C), масел, топлив, агрессивных химических реагентов и озона. Благодаря этому они нашли широкое применение в критически важных отраслях, таких как аэрокосмическая, автомобильная и химическая промышленность, где используются для изготовления уплотнений, шлангов, манжет и защитных оболочек.

Однако постоянное ужесточение эксплуатационных требований, в частности, необходимость работы в условиях повышенных термических нагрузок (около 300 °C) и в присутствии открытого пламени, выявило и ограничения стандартных марок фторкаучуков. К ним относятся склонность к термоокислительной деструкции при температурах выше 250 °C, горючесть, а также образование токсичных продуктов разложения. Для преодоления этих недостатков перспективным направлением является модификация эластомерных композиций добавками, способными повысить термическую стабильность и придать материалу огнезащитные свойства. Одним из наиболее эффективных классов таких модификаторов являются металлокомплексы соединения, в частности, ферроцен, который подобно фуллерену создал целый класс новых производных соединений, обладающих уникальными свойствами [1].

Ферроцен (дициклопентадиенилжелезо, $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) представляет собой так называемое «сэндвичевое» металлоорганическое соединение, в котором атом железа расположен между двумя ароматическими циклопентадиенильными лигандами (рис.). Благодаря своей структуре ферроцен обладает рядом ценных для модификации полимеров свойств [2]:

1. Термическая стабильность. Он устойчив до температур около 400 °C, что позволяет ему функционировать в условиях высокотемпературной эксплуатации изделий на основе фторкаучуков.

2. Окислительно-восстановительная активность. Способность к обратимым реакциям окисления и восстановления лежит в основе его антиоксидантного действия.

3. Способность к миграции. Молекулы ферроцена способны перемещаться в объеме полимера к поверхности, что является ключевым для механизма его действия, поскольку зачастую источник окисления полимера находится на поверхности изделия.

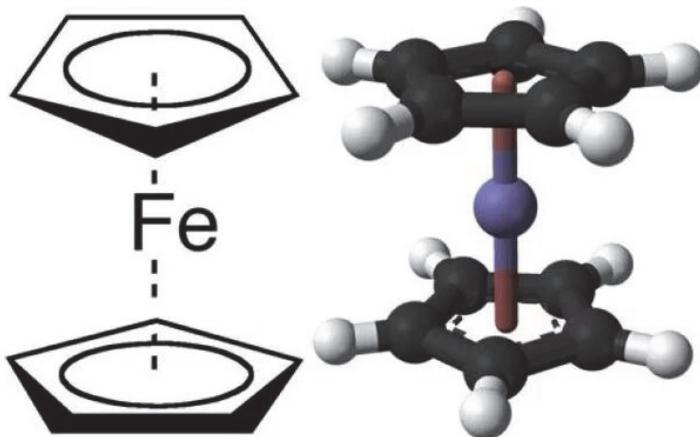


Рисунок – Структурная формула ферроцена

Для проверки теоретических предпосылок, в данной работе, нами были проведены механические испытания образцов эластомерных композиций на основе фторкаучука без добавки (FKM) и содержащих ферроцен в количестве 1,0 и 5,0 масс. ч. на 100 масс. ч. каучука (обозначение FKMFI и FKMF5 соответственно). Для вулканизации использовалась перекисная система. Полученные результаты, представлены в таблице и наглядно демонстрируют комплексное влияние металлогорганического соединения на прочностные свойства исследуемых композиций.

Таблица – Прочностные свойства эластомерных композиций

Наименование показателя	FKM	FKMF1	FKMF5
Условная прочность при рас- тяжении, МПа	4,6	4,8	5,1
Относительное удлинение при разрыве, %	496	444	380
Напряжение при удлинении 100%, Н	9,0	9,2	11,1
Напряжение при удлинении 300%, Н	13,4	19,6	28,3

Анализ полученных данных показал, что введение ферроцена в количестве 1,0 и 5,0 масс. ч. оказало значительное влияние на прочностные и деформационные характеристики фторкаучуковой композиции. Так, наблюдается умеренный рост условной прочности при растяжении: с 4,6 МПа для образца сравнения до 4,8 МПа и 5,1 МПа, при содержании ферроцена 1,0 и 5,0 масс. ч. соответственно. Это указывает на некоторое упрочнение матрицы, вероятно, связанному со взаимодействием высокодисперсных частиц ферроцена и макромолекул полимера. Это предположение подтверждается при рассмотрении изменения модуля упругости (жёсткости материала), что видно по росту напряжений при заданных деформациях. Напряжение при 100% удлинении увеличилось на 2% для FKMФ1 и значительно – на 23% для FKMФ5 (с 9,0 до 11,1 МПа). Напряжение при 300% удлинении возросло ещё заметнее: на 46% для FKMФ1 и на 111% для FKMФ5 (с 13,4 до 28,3 МПа). При этом, установлено значительное снижение относительного удлинения при разрыве по мере увеличения содержания ферроцена: с 496% (FKM) до 444% (FKMФ1) и далее до 380% (FKMФ5).

Таким образом, добавка ферроцена действует как активный модификатор, приводящий к формированию более жёсткой и прочной, но менее эластичной композиции. Эффект проявляется сильнее с увеличением содержания ферроцена с 1,0 до 5,0 масс. ч. Полученные данные согласуются с моделью, в которой частицы ферроцена выступают в роли функциональных частиц, ограничивающих подвижность полимерных цепей фторкаучука, что и приводит к повышению модуля упругости и прочности. Данные исследования будут продолжены с целью установления влияния ферроцена на термическую стойкость и стойкость к действию агрессивных сред эластомерных композиций на основе фторкаучука.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антуфьева А. Д., Кабелицкая Ю. М., Шкляева Е. В., Абашев Г. Г. Ферроцен-содержащие соединения для химии материалов I. Ферроцен-содержащие полимеры // Вестник ПГУ. Химия. 2013. №4 (12). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ferrotsen-soderzhaschie-soedineniya-dlya-himii-materialov-i-ferrotsen-soderzhaschie-polimery> (дата обращения: 05.11.2025).
- 2 Несмейнов А. Н., Кочеткова Н.С. Основные направление практического использования ферроцена и его производных // Успехи химии. – 1974. Т. – XLIII. В. – №9. – С. 1513–1523.

УДК 678.002.3:658.567.1

Вернигоров К.Б., Машуков В.И.

(ООО «СИБУР ПолиЛаб»)

Кулыгин А.В., Потапов О.А., Русанова С.Н.,

Казаков Ю.М., Стоянов О.В.

(Казанский национальный исследовательский технический университет)

Бушков В.В., Тутов С.В.

(ООО «СИБУР»)

Касперович А.В.

(УО «Белорусский государственный технологический университет»)

Ефремов С.А.

(Казахский национальный университет имени аль-Фараби)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ
ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО И ОХОДОВ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ
В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И МОДИФИКАТОРОВ
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В настоящее время в полимерном материаловедении все большее внимание уделяется использование в качестве сырья для производства компонентов наполненных композиционных полимерных материалов (ПКМ) новых, ранее неиспользуемых отходов растениеводства, деревообрабатывающей, горно-добывающей, металлургической промышленности, а также продуктов и отходов их переработки.

Такой подход позволяет не только решать задачи по снижению экологической нагрузки на окружающую среду, но и расширить ассортиментный ряд минеральных и природных наполнителей и модификаторов, что существенным образом увеличивает возможности применения ПКМ в различных областях деятельности человека.

С точки зрения эффективности применения различных наполнителей и других добавок, они должны не только повышать эксплуатационные показатели ПКМ, но и снижать стоимость материалов за счет существенно более низкой цены добавки по сравнению с ценой полимера.

В последние годы в научной литературе появилась информация о использовании в качестве дисперсных наполнителей полимерных материалов – отходов техногенного происхождения (после обогащения полиметаллических руд рудника Бала-Саускандык), шунгитов, многие из которых также являются техногенными отходами и карбонизированных отходов растениеводства (стеблей и шелухи риса).

Данные материалы представляют несомненный интерес, поскольку являются комплексными системами, имеющими в своем составе углерод,

двуокись кремния, некоторые оксиды других элементов и органические вещества.

Например, по данным работы [1] карбонизированные растительные отходы являются эффективной частичной заменой технического углерода в резиновых смесях.

При введении таких добавок в количестве до 20% масс. в полиолефины и некоторые эластомеры повышается их термическая стабильность, а также адгезия к металлам, в частности, при использовании механически активированных отходов добычи углистых сланцев и ряда кубовых остатков процессов карбонизации [2-5].

Полифункциональное модифицирующее действие исследованных добавок обусловлено присутствием в их составе органической части, в которой имеютсяmono- и полициклические и ароматические углеводороды с различными кислородсодержащими функциональными группами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эластомерные композиции, наполненные продуктом переработки риса/ В.В. Боброва, Н.Р. Прокопчук, С.А. Ефремов, С.В. Нечипуренко, О.В. Стоянов // Вестник Технологического Университета. – 2023. – Т. 26. – № 2. – С. 60-63.
2. Влияние углерод-минерального наполнителя на деформационно-прочностные характеристики полиэтилена в процессе термического старения /Бушков В.В., Вернигоров К.Б., Русанова С.Н., Ефремов С.А., Казаков Ю.М., Стоянов О.В. // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2025. – № 2. – С. 35–38.
3. Сравнительная характеристика термической стабильности полиэтилена в присутствии комплексных наполнителей на основе природного сырья / Русанова С.Н., Вернигоров К.Б., Бушков В.В., Казаков Ю.М., Ефремов С.А., Стоянов О.В. // Пластические массы. – 2024. – № 4. – С. 48–52.
4. Использование модифицированного углистого сланца месторождения Бала-Саускандык в качестве дисперсного наполнителя для полиэтилена / Русанова С.Н., Бушков В.В., Вернигоров К.Б., Нечипуренко С.В., Зиганшина А.С., Казаков Ю.М., Ефремов С.А., Стоянов О.В. // Вестник Технологического Университета. – 2024. – Т. 27. – № 9. – С. 47–50.
5. Влияние наполнителей, получаемых из природного сырья, на адгезионные свойства некоторых полиолефинов / Бушков В.В., Вернигоров К.Б., Русанова С.Н., Тутов С.В., Ефремов С.А., Касперович А.В., Казаков Ю.М., Стоянов О.В. // Клей. Герметики. Технологии. – 2024. – № 12. – С. 2–7

УДК 678

Шашок Ж.С., Усс Е.П., Касперович А.В.
(УО «Белорусский государственный технологический университет»)
Люштык А.Ю., Каюшников С.Н., Юшкевич Т.С.
(ОАО «Белшина»)

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И СОДЫ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНТИАДГЕЗИОННОГО СОСТАВА

В технологии изготовления многослойных резиновых изделий важное место занимают антиадгезионные композиции, применяемые для изоляции листовых и гранулированных маточных резиновых смесей для шинного производства и производства резинотехнических изделий [1].

Вязкость водных растворов антиадгезионных составов играет важную роль для защиты резиновых смесей от слипания. Известно [2], что повышение вязкости раствора антиадгезионного состава, с одной стороны, способствует улучшению смачивания поверхности резиновой смеси и, следовательно, изолирующих свойств, а с другой стороны, приводит к увеличению продолжительности ее высыхания.

Целью работы являлось установление зависимости изменения реологических свойств водных растворов антиадгезионного состава от дозировки минеральных наполнителей и соды.

Объектом исследования являлся антиадгезионный состав в виде коллоидного раствора,ключающего минеральные наполнители, поверхностно-активные вещества, соду, пеногаситель и воду.

Изменение вязкости водного раствора возможно достичь путем варьирования количественного содержания минеральных наполнителей (мела и бентонита), регулирующих коллоидно-химические и физические свойства антиадгезионных растворов. При этом наибольший вклад в увеличение вязкости антиадгезионной системы вносит бентонит, который проявляет склонность к набуханию и образованию цепочечных структур в водных растворах [3, 4]. Необходимость регулирования дозировки соды направлена на поддержание необходимой pH среды водного раствора антиадгезионного состава в связи с изменением дозировок наполнителей. В связи с этим представляло интерес провести сравнительные испытания по оценке вязкости водных растворов антиадгезионных составов с различным содержанием наполнителей и соды.

Выявлено, что водные растворы исследуемых антиадгезионных составов при содержании бентонита выше 35 % мас. характеризуются достаточно высокими значениями вязкости, полученными методом

капиллярной вискозиметрии. В данном случае вязкость водных растворов составов с содержанием бентонита 35–43 % мас. изменяется в диапазоне от 49 до 67 с. Определено, что при дозировке бентонита 31–33 % мас. происходит снижение вязкости раствора от 41 до 36 с. Для состава, содержащего наименьшее количество бентонита, установлена наименьшая вязкость (36 с) раствора антиадгезионного состава, что может ухудшить его изолирующие свойства и повысить слипаемость смесей при последующем хранении вследствие недостаточного количества антиадгезионного компонента на их поверхности.

Необходимо отметить, что на поверхности резиновых смесей обнаружена равномерная антиадгезионная пленка при использовании водных растворов антиадгезионных составов с различным содержанием наполнителей и соды. При этом выявлена неоднозначная зависимость изменения времени высыхания раствора антиадгезионного состава от содержания в нем бентонита.

Данная работа выполнялась в рамках Государственной научно-технической программы «Перспективные химические и биологические технологии» на 2021-2025 год по заданию «Разработка рецептуры и технологии получения антиадгезионного импортозамещающего состава для изоляции листовых и гранулированных маточных резиновых смесей при производстве автомобильных шин и резинотехнических изделий» подпрограммы «Малотоннажная химия».

ЛИТЕРАТУРА

1. Осошник И. А. Производство резиновых технических изделий / И. А. Осошник, Ю. Ф. Шутилин, О. В. Карманова. Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2007. – 972 с.
2. Каштанова, П.Д. Изолирующие композиции для защиты резиновых смесей от слипания / П.Д. Каштанова, А.А. Базилева, В.В. Гейнц // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л. П. Кулёва и Н. М. Кижнера, Томск, 16–19 мая 2022 г.: в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2022. – Т. 2. – С. 264–265.
3. Сравнительная характеристика бентонитовых глин месторождений Республики Хакасия «10-й Хутор» и «Кайбальское-2» / В. А. Голубков В. А. [и др.] // Журн. Сиб. федер. ун-та. Химия. – 2023. – № 16(3). – С. 459–471.
4. Резниченко, С. В. Большой справочник резинщика : в 2 т. / редкол.: С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. – Москва, 2012. – Т. 1: Каучуки и ингредиенты. – 2012. – 735 с.

Усс Е.П., Шашок Ж.С.,

Касперович А.В., Лешкевич А.В.

(УО «Белорусский государственный технологический университет»)

Люштык А.Ю., Каюшников С.Н., Юшкевич Т.С.

(ОАО «Белшина»)

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
В АНТИАДГЕЗИОННЫХ СОСТАВАХ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ**

В технологии резинового производства применяется целый ряд вспомогательных материалов, к их числу относятся антиадгезивы для листов и гранул резиновых смесей.

В настоящее время лучшими изолирующими составами являются дисперсии стеаратов металлов, которые имеют следующие достоинства – хорошие антиадгезионные свойства, шероховатая, нескользящая поверхность обработанных резиновых смесей, возможность визуального контроля пленки антиадгезива, минимальное влияние на адгезию резины с другими материалами. Они не оказывают загрязняющего действия на пресс-форму, поскольку стеараты металлов плавятся при температурах ниже температуры вулканизации [1].

В рецептурах антиадгезионных составов также используются минеральные наполнители различной природы с большим содержанием полярных групп, такие как мел и бентонитовая глина [2, 3]. В связи с этим для обеспечения легкого ввода компонентов антиадгезива в полярную среду (воду) при непосредственном приготовлении коллоидного раствора, диспергирования наполнителей необходимо применение поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые должны исключать образование осадка и при этом антиадгезионный раствор в их присутствии должен смачивать неполярные поверхности, такие как резиновая смесь.

Целью работы явилось установление наиболее перспективных марок поверхностно-активных веществ для использования в составе антиадгезива для листов и гранул резиновых смесей.

Объектом исследования являлся антиадгезионный состав в виде коллоидного раствора, который включал воду, минеральные наполнители, соду, пеногаситель и ПАВ.

Для исследования влияния на свойства водных растворов антиадгезионных составов были выбраны различные катионные, анионные и неионогенные поверхностно-активные вещества.

На основании полученных данных выявлено, что в качестве анионного ПАВ для антиадгезионного состава успешно зарекомендовал себя

олеат натрия, поскольку позволяет получать растворы с меньшей высотой осадка. Следует отметить, что олеат натрия обладает хорошей растворимостью в воде [4].

В результате исследований свойств растворов антиадгезионных составов с рядом неионогенных ПАВ с различными гидрофильно-липофильным балансом и природой были определены марки неионогенных ПАВ, обеспечивающих стабильность коллоидного раствора при статическом хранении через 1 ч. При этом полученные растворы антиадгезионных составов с их использованием хорошо смачивали поверхность резиновой смеси.

Таким образом, результаты исследований показали, что для получения высококачественного антиадгезионного состава необходимо использовать несколько типов ПАВ, поскольку это обеспечивает достижение оптимальных свойств антиадгезива.

Данная работа выполнялась в рамках Государственной научно-технической программы «Перспективные химические и биологические технологии» на 2021–2025 год по заданию «Разработка рецептуры и технологии получения антиадгезионного импортозамещающего состава для изоляции листованных и гранулированных маточных резиновых смесей при производстве автомобильных шин и резинотехнических изделий» подпрограммы «Малотоннажная химия».

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин, Б. С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных): монография. Ч. 1 / Б. С. Гришин. – Казань: КГТУ, 2010. – 506 с.
2. Патент ВY 1342 C1. Антиадгезионный состав для эластомерных материалов: № 1932; заявл. 23.05.1994; опубл. 16.09.1996 / А. Я. Борзенкова, Л. П. Прокопчик, В. Ф. Барта-шевич, П. В. Васильев, В. А. Мирошников, А. В. Боровский; заявитель ОАО «Белшина».
3. Каштанова, П.Д. Изолирующие композиции для защиты резиновых смесей от слипания / П.Д. Каштанова, А.А. Базилева, В.В. Гейнц // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л. П. Кулёва и Н. М. Кижнера, Томск, 16–19 мая 2022 г.: в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2022. – Т. 2. – С. 264–265.
4. Сергеев В. Н. Курс коллоидной химии для медицинских вузов: учебник для вузов. – М.: Медицинское информационное агентство. – 2007. – 174 с.

УДК 678

Шашок Ж.С., Усс Е.П., Касперович А.В.
(УО «Белорусский государственный технологический университет»)
Каюшников С.Н., Люштык А.Ю.,
Матюшкова Е.С.
(ОАО «Белшина»)

**ВЛИЯНИЕ МАРКИ НЕИОНОГЕННЫХ
ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
НА СВОЙСТВА АНТИАДГЕЗИОННОГО СОСТАВА**

Антиадгезивы применяются в технологии резинового производства для предотвращения «слипания» резиновых смесей при хранении и технологической вылежке [1].

Применение наполнителей в антиадгезионных составах позволяет регулировать коллоидно-химические свойства антиадгезионных растворов, их вязкость и агрегативную устойчивость, снижать стоимость составов и изменять их окраску. Одним из известных доступных материалов склонных к набуханию является бентонит. Бентонит представляет собой экологически безопасный природный продукт. В резиновой промышленности бентонит широко применяется для приготовления водных дисперсий сыпучих ингредиентов латексных композиций. В водной среде бентонит образует цепочечные структуры, что увеличивает вязкость системы и препятствует оседанию ингредиентов в дисперсиях и в латексной композиции [2].

Известно [3], что применение неионогенных поверхностно-активных веществ (ПАВ) в дисперсных системах на основе бентонитов обеспечивает распад агрегатов частиц монтмориллонита до индивидуальных частиц, т.е. позволяет уменьшить размер частиц бентонита и тем самым увеличить активную площадь поверхности и, как следствие, его сорбционную способность. Таким образом, можно предположить, что введение неионогенных ПАВ в состав антиадгезионных композиций позволит повысить адсорбцию компонентов на монтмориллоните.

Целью работы являлось определение влияния марки неионогенных поверхностно-активных веществ на свойства антиадгезионного состава.

Объектами исследования являлись антиадгезионные составы, содержащие бентонит в качестве основного наполнителя и различные марки неионогенных поверхностно-активных веществ.

В таблице приведена сравнительная оценка свойств антиадгезионных составов, приготовленных с использованием доступных марок неионогенных ПАВ.

Таблица – Свойства антиадгезионных составов с различными марками неионогенных ПАВ

Марка неионогенного ПАВ	Стабильность раствора при статическом хранении через 1 ч	Смачиваемость поверхности резиновой смеси
Синтанол АЛМ-3	50 % взвесь	плохая
Синтанол АЛМ-7	50 % взвесь	хорошая
Rokanol GA-8	50 % взвесь	плохая
Rokanol GA-3	50 % взвесь	плохая
Rokanol GA-5	50 % взвесь	плохая
Стенор АРЕ H8.3.9	50 % взвесь (высокое пенообразование)	плохая
Стенор АРЕ H8.3.14	плохо растворяется в воде	–
Стенор АРЕ H8.3.6	50 % взвесь (высокое пенообразование)	плохая
Стенор 24E5P5	50 % взвесь	хорошая
Стенор 24E4P5	50 % взвесь	хорошая

Выявлено, что такие неионогенные ПАВы как синтанол АЛМ-7, стенор 24E4P5 и стенор 24E5P5 обеспечивают стабильность раствора при статическом хранении через 1 ч (50 % взвесь), а полученные растворы с их использованием хорошо смачивают поверхность резиновой смеси.

Данная работа выполнялась в рамках Государственной научно-технической программы «Перспективные химические и биологические технологии» на 2021–2025 год по заданию «Разработка рецептуры и технологии получения антиадгезионного импортозамещающего состава для изоляции листованных и гранулированных маточных резиновых смесей при производстве автомобильных шин и резинотехнических изделий» подпрограммы «Малотоннажная химия».

ЛИТЕРАТУРА

- Гришин, Б. С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных) : монография. Ч. 1 / Б. С. Гришин. – Казань: КГТУ, 2010. – 506 с
- Резниченко, С. В. Большой справочник резинщика : в 2 т. / редкол.: С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. – Москва, 2012. – Т. 1: Каучуки и ингредиенты. – 2012. – 735 с.
- Шоба С.А. [и др.] Природа повышения эффективности применения сорбционно-стимулирующих препаратов для предпосевной обработки семян при введении в их состав неионогенных ПАВ // Доклады Российской Академии наук. Науки о жизни. – 2020. – Т. 494. – С. 513–516.

Шашок Ж.С., Усс Е.П.,

Касперович А.В., Кротова О.А.

(УО «Белорусский государственный технологический университет»)

Люштык А.Ю., Каюшников С.Н.,

Матюшкова Е.С.

(ОАО «Белшина»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АНТИАДГЕЗИОННОГО СОСТАВА С РАЗЛИЧНЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Антиадгезионные составы предотвращают слипание каучуков и резиновых смесей на этапах производства, транспортирования и хранения [1]. На сегодняшний день лидирующие позиции занимают антиадгезионные составы, включающие минеральные наполнители, поверхностно-активные вещества, соду, пеногаситель и воду.

Введение минеральных наполнителей в антиадгезионные составы позволяет регулировать вязкость антиадгезионных растворов, их стабильность, а также снижать себестоимость составов [2].

Целью работы явилось установление влияния типа и содержания минеральных наполнителей на свойства водных растворов антиадгезионного состава.

В качестве минеральных наполнителей в антиадгезионные составы вводили мел гидрофобный марки М-1, мрамор молотый марки РМ-2 и химически осажденный мел (размер частиц 20–70 нм) в различных дозировках (от 43 до 46 % мас.).

В производстве резинотехнических изделий различного назначения широко используется мел в качестве экономичного наполнителя, антиадгезива для обработки несшитых эластомеров [1, 2]. Мел гидрофобный представляет собой тонкодисперсный мел, обработанный стеариновой кислотой. Достоинством этого наполнителя является низкая гигроскопичность при хранении и транспортировке, что делает его перспективным наполнителем антиадгезионных составов.

Мрамор молотый (микрокальцит) представляет собой природный, измельченный порошок карбоната кальция, полученный из высококачественного белого мрамора, со средним и наибольшим размерами частиц соответственно 2–3 мкм и 9–13 мкм.

Химически осажденный мел представляет собой высокодисперсный белый порошок карбоната кальция, который отличается от природного аналога чистотой, дисперсностью, распределением частиц по размерам, абразивностью и др. [2].

Для оценки влияния минеральных наполнителей на свойства водных растворов антиадгезионного состава осуществляли варьирование содержания наполнителей производилось при изменении количества поверхностно-активного вещества (оксиаты жирных высших спиртов натурального происхождения в виде фракций С₁₂...С₁₄) от 1 до 4 % мас. при постоянстве концентраций других компонентов.

Установлено, что применение мела гидрофобного и мрамора молотого не влияет на стабильность полученного водного раствора антиадгезионного состава, а также объем взвеси в этом растворе при хранении последнего в течение 1 ч. Однако их использование не позволяет достичь положительных результатов по смачиванию поверхности резиновой смеси даже при изменении содержания поверхностно-активного вещества и по образованию антиадгезионного слоя на поверхности смеси.

Анализ результатов исследования по влиянию химически осажденного мела на свойства антиадгезионного состава подтвердил его перспективность в качестве наполнителя для разрабатываемой рецептуры антиадгезива. Определено, что применение данного типа минерального наполнителя способствует получению стабильного раствора антиадгезионного состава и повышению гомогенности покрытия раствором эластомерного материала по сравнению с мелом гидрофобным и мрамором молотым.

Таким образом, анализ влияния минеральных наполнителей различных типов на свойства антиадгезионного состава показал, что целесообразно использование в рецептуре антиадгезионного состава химически осажденного мела, который способствует формированию равномерного антиадгезионного слоя на поверхности эластомерной композиции.

Данная работа выполнялась в рамках Государственной научно-технической программы «Перспективные химические и биологические технологии» на 2021-2025 год по заданию «Разработка рецептуры и технологии получения антиадгезионного импортозамещающего состава для изоляции листовых и гранулированных маточных резиновых смесей при производстве автомобильных шин и резинотехнических изделий» подпрограммы «Малотоннажная химия».

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин Б. С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных): монография. Ч. 1 / Б. С. Гришин. – Казань: КГТУ, 2010. – 506 с
2. Резниченко, С. В. Большой справочник резинщика : в 2 т. / редкол.: С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. – Москва, 2012. – Т. 1: Каучуки и ингредиенты. – 2012. – 735 с.

УДК 678.046.3

Масейков С.С.

(ЗАО «Амкодор-Эластомер»)

Касперович А.В., Боброва В.В., Колосовский Р.С.

(УО «Белорусский государственный технологический университет»)

Тихомиров С.Г., Карманова О.В.

(Воронежский государственный университет инженерных технологий)

ВЛИЯНИЕ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

МОДЕЛЬНЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

НА ОСНОВЕ КАУЧУКА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Экологические проблемы, связанные с применением синтетических пластификаторов и мягчителей, вызвали интенсивный поиск устойчивых альтернатив в области полимерного материаловедения. Поскольку потребность в биоразлагаемых материалах становится все более актуальной, исследование добавок на основе биомассы рассматривается как многообещающий подход к снижению негативного воздействия полимерных материалов на окружающую среду [1]. Среди этих добавок интеграция натуральных масел в качестве пластификаторов и мягчителей приобрела значительную известность в последние годы благодаря ряду преимуществ [2]. Международный союз теоретической и прикладной химии (ИЮПАК) определяет пластификаторы и мягчители как вещества, добавляемые к полимерам для улучшения определенных свойств, таких как гибкость, пластичность и др. [3]. Такие добавки играют решающую роль в изменении эксплуатационных характеристик полимеров, позволяя использовать их в широком спектре. Хотя основная функция добавок заключается в улучшении технологичности и механических свойств полимеров, их присутствие настолько значимо, что они считаются неотъемлемой частью рецептур, а не просто добавками [4]. По мере роста потребительского спроса на более безопасные и более устойчивые альтернативы разработка пластификаторов и мягчителей на основе биомассы приобретает все большую популярность. Эти натуральные компоненты предлагают многообещающий путь к улучшению устойчивости полимерных материалов при сохранении или улучшении желаемых свойств полимеров [5].

Целью данного исследования являлось установление влияния технологически активной добавки (ТАД-ЖК) при частичной и/или полной замене отдельных ингредиентов вулканизующей группы на реологические и кинетические характеристики модельных эластомерных композиций на основе синтетического изопренового каучука общего назначения СКИ-3.

Применяемая в данной работе ТАД-ЖК представляет собой органоминеральный комплекс на основе смеси жирных кислот и природного бентонита, полученный модификацией сопутствующих продуктов рафинации масла подсолнечника при введении сернокислого алюминия и ферментного препарата (ООО «Совтех», г. Воронеж, Российская Федерация) [6].

Определено, что частичная замена (до 30%) отдельных компонентов вулканизующей системы (кроме стеариновой кислоты) на ТАД-ЖК в модельных эластомерных композициях на основе каучука общего назначения СКИ-3 приводит к снижению значений показателя вязкости по Муни резиновых смесей до 60,2%. Снижение вязкости исследуемых резин, вероятно, обусловлено эффектом пластификации за счет жирных кислот, входящих в состав ТАД-ЖК. Стоит отметить, что при частичной и полной замене стеариновой кислоты на ТАД-ЖК показатель вязкости по Муни исследуемых резиновых смесей увеличивается на 9,6–59,0% в сравнении с исходной смесью. В случае увеличения процентной замены отдельных компонентов вулканизующей группы на ТАД-ЖК (свыше 50%) определено увеличение показателя вязкости по Муни. Бентонит, входящий в состав ТАД-ЖК, как и другие глины, обладает высокой способностью к образованию межмолекулярных взаимодействий, таких как водородные связи и ван-дер-Вальсовы силы. Модификация бентонита жирными кислотами может изменить его химическую совместимость с непрерывной фазой полимерной матрицы, что приводит к более сильному взаимодействию между компонентами смеси, что в свою очередь, может увеличить вязкость резиновой смеси.

Частичная замена отдельных компонентов вулканизующей группы на ТАД-ЖК приводит к повышению стойкости исследуемых резиновых смесей к подвулканизации, поскольку показатель времени начала вулканизации (t_{50}) возрастает до 57,3%. В случае замены цинковых белил во всех исследуемых дозировках данный показатель уменьшается незначительно. Стоит отметить, что применение исследуемой технологически активной добавки приводит к снижению времени достижения оптимума вулканизации (t_{90}) при замене каждого из ингредиентов вулканизующей группы во всех исследуемых дозировках. Данное изменение кинетических параметров вулканизации резиновых смесей на основе каучука общего назначения с ТАД-ЖК может быть обусловлено наличием в добавке высокого количества металлов (до 13,0%) и серы (до 3,0%), что способствует ускорению процесса вулканизации.

Результаты, полученные в данном исследовании, показали, что технологически активная добавка на основе смеси жирных кислот и природного бентонита является эффективным модификатором для

эластомерных композиций на основе СКИ-3. Она позволяет целенаправленно регулировать свойства резиновых смесей, улучшая их технологичность (снижая вязкость и ускоряя вулканизацию).

ЛИТЕРАТУРА

1. Vieira M.G.A., da Silva M.A., Santos L.O., Verppu M.M. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review // European Polymer Journal. – 2011. – Vol. 47. – P. 254–263.
2. Marturano V., Marotta A., Agustin-Salazar S., Ambrogi V., Cerruti P. Recent advances in bio-based functional additives for polymers // Progress in Materials Science. – 2023. – Vol. 139. – P. 101186.
3. Oh E., Kim B. A Trend and Market in Eco-friendly Plasticizers: Review and Prospective // Composites Research. – 2022. – Vol. 35. – P. 232–241.
4. Xie C., Li H., Li L., Yu Sh. Liu F. Synthesis of plasticizer ester using acid-functionalized ionic liquid as catalyst // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – Vol. 151. – P. 847–850.
5. Jia P., Xia H., Tang K., Zhou Y. Plasticizers Derived from Biomass Resources: A Short Review // Polymers. – 2018. – Vol. 10. – P. 1303.
6. RU 2 396 293 C2, 2010.

УДК 678.074.046.3.03

Касперович А.В., Боброва В.В.

(УО «Белорусский государственный технологический университет»)

Ефремов С.А., Нечипуренко С.В.

(Казахский национальный университет имени аль-Фараби)

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОД-КРЕМНИСТОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В ПРОТЕКТОРНОЙ ЧАСТИ ШИНЫ

Одним из перспективных методов практического использования продуктов переработки рисовой шелухи и стебля является применение их карбонизатов в составе эластомерных композиций в качестве замены промышленных наполнителей [1]. Из-за своей низкой цены и большого содержания кремнезема, по сравнению с другими натуральными материалами, рисовая шелуха была признана подходящей для широкого спектра использования в производственных и прикладных процессах. Уникальные физико-химические характеристики рисовой шелухи, а именно высокое содержание аморфного кремнезема (87–97 мас.% SiO₂), развитая пористая структура, низкая плотность и большая удельная поверхность, обуславливают ее востребованность в различных промышленных

процессах [2]. Учитывая многочисленные проведенные исследования, очевидно, что применение золы рисовой шелухи (ЗРШ) распространено в широком промышленном секторе, в том числе в составе эластомерных композиций.

Стоит отметить, что значительное количество исследований посвящено получению из ЗРШ аморфного диоксида кремния [3, 4], который характеризуется более высокой реакционной способностью и меньшим содержанием примесей по сравнению с кристаллическими формами кремнезема, такими как кварц и кристобалит.

В середине 90-х годов компания Continental одной из первых в шинной индустрии увидела перспективность использования кремнезема (белая сажа) в качестве компонента резиновых смесей. Эксперименты показали многообещающие результаты. Свойства кремнезема проявляются в процессе смешивания резины, когда он вступает в реакцию с силаном, который обеспечивает связь между компонентами. В настоящее время разработчики шинных компаний работают над тем, чтобы сделать белую сажу, как и другие используемые материалы, более экологичной. Применяется белая сажа как наполнитель в протекторной части шины для снижения сопротивления качению, повышения сопротивления износу и увеличения сцепления шины с мокрым дорожным покрытием, а также в брекерной части для снижения теплообразования, что в совокупности приведет к уменьшению расхода топлива и повышению экологичности. Использование ЗРШ в эластомерных смесях для протекторной и брекерной частей шин обычно сводится к двум направлениям: либо изучается возможность частичной замены традиционного кремнезема на кремнезем, полученный из рисовой шелухи, либо исследуются составы с добавлением специальных связующих веществ или модификаторов поверхности для улучшения связи золы с каучуком [5, 6]. Однако, оба этих подхода, как правило, приводят к увеличению стоимости готовой продукции.

Целью данного исследования являлось использование продукта карбонизации сельскохозяйственных отходов (рисовой шелухи и стеблей) – углерод-кремнистый наполнитель (УКН), содержащего как углеродную, так и кремнеземную фракции и не подвергавшегося дополнительной обработке, в качестве частичной замены высоко усиливающего кремнекислотного наполнителя (Экстрасил ВД150) в эластомерных композициях на основе бутадиен-стирольного каучука (БСК), предназначенных для изготовления протектор-беговой части летней легковой шины, а также оценка их технологических, физико-механических, упругогистерезисных и эксплуатационных характеристик с целью удешевления

производства, уменьшения загрязнения окружающей среды при утилизации отходов сельского хозяйства, а также придания резинам особых качеств.

Применение углерод-кремнистого наполнителя в резиновых смесях на основе БСК в случае частичной замены (до 20,0 мас. ч.) коммерческого высокоусиливающего кремнекислотного наполнителя (ККН) Экстрасил 150ВД приводит к снижению вязкости по Муни резиновых смесей до 5,3% и времени достижения оптимумам вулканизации до 9,2%, что, в свою очередь, снизит энергоемкость процесса переработки данных изделий. Выявлено, что введение УКН во всех исследуемых дозировках способствует повышению сопротивления пластической деформации до 7,7% и клейкости резиновых смесей на 31,3–34,4%, что будет способствовать увеличению прочности сцепления дублируемых слоев шины при ее сборке. Показано, что частичная замена ККН на углерод-кремнистый наполнитель приводит к снижению модуля потерь до 24,0% и тангенса механических потерь до 14,3%, что позволит снизить теплообразование в шине и расход топлива. Исследования эксплуатационных характеристик резин для протектора беговой части шины показали повышение усталостной выносливости до 2,7 тыс. циклов и снижение температуры внутри образца до 7°C при использовании в них УКН, что связано с уменьшением взаимодействия «наполнитель-наполнитель», уменьшением потерь энергии на внутреннее трение и меньшим гистерезисом. В то же время, определено некоторое снижение прочностных показателей резин, а именно, условная прочность при растяжении как до, так и после теплового старения снижается на 10,7–27,0%, а истираемость повышается до 43,3% как до, так и после воздействия высоких температур и кислорода воздуха.

Результаты, полученные в данном исследовании, показали, что углерод-кремнистый наполнитель, является жизнеспособной альтернативой традиционному кремнекислотному наполнителю, который используется в шинной промышленности. Свойства эластомерных композиций, наполненных УКН, можно улучшить не только путем уменьшения размера частиц и физической и/или химической модификацией поверхности, а также путем корректировки дозировки ингредиентов резиновой смеси, а именно компонентов вулканизующей группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Li M., Yunqiao P., Thomas V.M., Yoo C.G., Deng Y., Nelson K., Ragauskas A.J. Recent Advancements of Plant-Based Natural Fiber-Reinforced Composites and Their Applications // Composites Part B: Engineering. – 2020. – Vol. 200, no. 2. – P. 254–276.

2. Abe Y., Tomioka M., Kabir M., Kumagai S. Role of SiO_x in rice-husk-derived anodes for Li-ion batteries // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12, no. 1. – P. 1–11.
3. Yunhai M., Shengwang Y., Zichao M., Yihao H., Shichao N., Li L., Guoqin L., Feipeng C. Comparative Study of Different Pretreatment and Combustion Methods on the Grindability of Rice-Husk-Based SiO₂ // Nanomaterials. – 2023. – Vol. 13. – P. 2951–2969.
4. Guojie Z., Ge W., Yang J., Shefing W., Yong Z. Preparation and properties of rice husk ash silica filled natural rubber // Polymer Composites. – 2024. – Vol. 45. – P. 438–447.
5. Moresco S., Sicinski M., Gozdek T., Giovanelia M., Carli L.N., Crespo J. S. Plasma treatment of rice husk ash for application in tire retread compounds based on natural rubber // Polymer Engineering & Science. – 2024. – Vol. 65, no. 2. – P. 700–713.
6. Boonmee A., Sabsiriroht P., Jarukumjorn K. Preparation and characterization of rice husk ash for using as a filler in natural rubber // Materials Today: Proceedings. – 2019. – Vol. 17. – P. 2097–2103.

УДК 678.074.046.3.03

**Касперович А.В., Боброва В.В.,
Колосовский Р.С., Фарафонтов В.Н.**
(УО «Белорусский государственный технологический университет»)

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ КАРБОНИЗАТА РИСОВОЙ ШЕЛУХИ НА СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Отходы сельского хозяйства могут служить сырьевым источником для производства зольных материалов на основе переработки биомассы. Исследования, проведенные в широком географическом диапазоне, показывают, что многие виды отходов сельского хозяйства, в том числе шелуха риса, кукурузы и овса, косточки плодовых деревьев, косточки оливок, виноградные косточки, а также миндаль, скорлупа подсолнечника и др., могут быть использованы в целях получения материалов для применения их в различных отраслях промышленности [1]. Сообщения мировой литературы в области материалов, содержащих растительные биодобавки, обычно включают композиты на основе термопластов и реактопластов [2]. Важным фактором, определяющим свойства композиций, является выбор соответствующих натуральных материалов в качестве

армирующего материала. Одним из методов улучшения характеристик наполнителей композитных эластомеров может быть их модификация различными способами [3]. Модификация наполнителей из биологических масс осуществляется для установления связи усиливающего материала с матрицей, что способствует увеличению совместимости рецептурообразующих компонентов композиции [4].

Ранее проведенные исследования [5] были направлены на снижение размера частиц карбонизата рисовой шелухи (КРШ) путем измельчения его на вибрационной и планетарной мельницах в сухой среде с различным временем воздействия ударных и истирающих сил. Было определено, что обработка КРШ в планетарной мельнице приводит к улучшению его поверхностных характеристик. Это, в свою очередь, усиливает адгезию наполнителя к каучуку и приводит к росту показателя вязкости по Муни для резиновых композиций, повышению стойкости резин к преждевременной подвулканизации и получению вулканизатов с более высокими упруго-прочностными показателями. Однако представляло интерес дальнейшее исследование различных методов модификации КРШ с целью смещения значений размера частиц в диапазон более низких показателей, а также для расширения распределения частиц по размерам. Для достижения более высокой удельной поверхности КРШ и усиления его прочностных характеристик в композициях эластомеров первоначальный материал подвергали разнообразным поверхностным модификациям [6]. На основании проведенных исследований было установлено, что модификация КРШ на измельчительном оборудовании в сухой среде и в среде (этанола) C_2H_5OH позволяет обеспечить получение материала, обладающего повышенными показателями удельной поверхности, распределения частиц по размерам и сорбционного объема за счет увеличения активности поверхности при сравнении с наполнителем без аналогичной модификации. Данное исследования направлено на изучение влияния различных видов модификации КРШ на основные физико-механические и эксплуатационные характеристики промышленных эластомерных композиций на основе каучука специального назначения БНКС-18АМН и комбинации каучуков общего назначения СКИ-3+СКД.

Сравнительный анализ физико-механических характеристик исследуемых эластомерных композиций показал, что применение ЗРШ модифицированной на планетарной мельнице в течение 9 и 12 мин, а также модифицированной в среде этанола в течение 10 мин в качестве замены полуусиливающего технического углерода марки N550 в резинах на основе каучука специального назначения БНКС-18АМН

в дозировке 40 мас. ч., а также при частичной замене (5 мас. ч.) высокоусиливающего технического углерода N772 и полной замене (40 мас. ч.) малоусиливающего технического углерода марки N772 в композициях на основе комбинации каучуков общего назначения СКИ-3+СКД позволяет получать вулканизаты с физико-механическими характеристиками соответствующими требованиям на изделия, изготавливаемые из них.

Определено, что модификация золы рисовой шелухи оказывает влияние на структуру вулканизационной сетки (плотность поперечного сшивания резин на основе каучука специального назначения увеличивается до 44,4 %, а на основе комбинации каучуков общего назначения снижается до 27,3 %).

Исследования влияния различных видов модификации ЗРШ в эластомерных композициях на основе БНКС-18АМН на показатель относительной остаточной деформации при сжатии (ООДС) по сравнению с композициями, наполненными техническим углеродом марки N550, показали, что введение в резиновую смесь ЗРШ модифицированной на планетарной мельнице как в сухой среде, так и в среде этанола в качестве частичной замены синтетического наполнителя практически не оказывает влияние на ООДС (изменение составляет до 0,5 %).

Сравнительный анализ исследований амортизирующей способности резин на основе комбинации каучуков СКИ-3+СКД выявил, что при частичной замене высокоусиливающего технического углерода марки N220 и полной замене малоусиливающего технического углерода марки N772 на ЗРШ модифицированной на планетарной мельнице как в сухой среде, так и в среде этанола происходит уменьшение ООДС до 18,0 % в сравнении с композицией, содержащей промышленные марки наполнителей. Выявленный характер улучшения ООДС исследуемых резин с золой обусловлен повышенной эластичностью сегментов макромолекул между узлами сетки, что способствует обратному возвращению к исходной конформации до сжатия, т.е. к снижению ООДС. Стоит отметить, что значения показателя ООДС в композициях на основе СКИ-3+СКД, содержащих ЗРШ модифицированную на планетарной мельнице в сухой среде в течение 9 и 12 мин, а также в среде этанола во всех исследуемых временных интервалах, фактически достигают значений аналогичного показателя вулканизатов, наполненных техническим углеродом различных марок (изменение составляет до 4,2 %);

Результаты определения стойкости эластомерных композиций на основе каучука специального назначения БНКС-18АМН с ЗРШ, которая подвергалась различным видам модификации, к набуханию в агрессивной

среде выявили, что применение золы в исследуемых дозировках при частичной замене полуусиливающего технического углерода марки N550 приводит к повышению стойкости вулканизатов к воздействию жидкой агрессивной среды на 4,8–17,6 %. Так, значение изменения массы резины с техническим углеродом составляет не более 18,8 %, а для резин с УКН модифицированном на планетарной мельнице в сухой среде при частичной замене технического углерода марки N550 не более 17,9 %, а в среде этанола – не более 17,0 %;

Анализ полученных результатов показал целесообразность модификации золы рисовой шелухи на планетарной мельнице в сухой среде в течение 9 и 12 мин, а также в среде этанола в течение 10 мин, поскольку в данном случае сохраняются основные прочностные характеристики эластомерных композиций и повышаются эксплуатационные свойства готовых резинотехнических изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Das P.P., Chaudhary V. Moving towards the era of bio fibre based polymer composites // Cleaner Engineering and Technology. – 2024. – Vol. 4. – P. 182–196.
2. Faruk O., Bledzki A.K., Fink H.P., Sain M. Progress Report on Natural Fiber Reinforced Composites // Macromolecular Materials and Engineering. – 2013. – Vol. 299. – P. 9–26.
3. Sokolova M.D., Davydova M.L., Shadrinov N.V. The Modification of Surface of Dispersed Fillers for Their Application in Polymer–Elastomer Composites // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. – 2018. – Vol. 54. – P. 845–852.
4. Miedzianowska J., Masłowski M., Strzelec K. Improving performance of natural rubber composites by the application of functional biofiller: horse-tail modified with silane coupling agents // Cellulose. – 2023. – Vol. 30. – P. 10175–10198.
5. V. Bobrova, A. Kasperovich, S. Efremov, S. Nechipurenko, S. Lezhnev, E. Panin. Effect of mechanical activation of natural filler on the properties of elastomeric composites // Polymers and Polymer Composite. – 2024. – Vol. 32. – P. 1–11.
6. Боброва В.В., Касперович А.В., Ефемов С.А., Нечипуренко С.В., Вернигоров К.Б., Казаков Ю.М., Стоянов О.В. Физическая модификация карбонизата рисовой шелухи для уменьшения его дисперсности // Нефтегазохимия – 2024: материалы VII Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск: БГТУ, С. 93–96.

Прокопчук Н.Р., Ленартович Л.А.

(УО «Белорусский государственный технологический университет»)

Рудковский А.Т.

(УП «МИНГАЗ», г. Минск)

**НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ
ИЗОЛЯЦИОННЫХ БИТУМНЫХ ПОКРЫТИЙ
СТАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ПОДЗЕМНОГО ЗАЛЕГАНИЯ**

Для оценки остаточного ресурса работоспособности (долговечности) защитного битумного покрытия в последние годы применяют метод, основанный на определении времени, в течение которого величина его переходного сопротивления снижается до предельно допустимого значения [1]. Предельный срок службы защитного покрытия (в годах) может быть вычислен по формуле:

$$t_{\text{пп}} = \frac{1}{\alpha} * \ln \frac{R_h}{R_{\text{пп}}}, \quad (1)$$

где R_h и $R_{\text{пп}}$ – начальное и предельно допустимое значения переходного электрического сопротивления в $\Omega \cdot m^2$; α – постоянная времени старения покрытия, год⁻¹.

Данная формула соответствует экспоненциальной зависимости изменения защитных свойств покрытия трубопровода от срока его службы [1]. R_h в зависимости от типа и конструкции покрытия определяется по [1] или по данными изготовителя. При этом R_h должно быть не менее 400 $\Omega \cdot m^2$, а $\alpha = 0,125$ год⁻¹. Правильная и своевременная оценка остаточного ресурса работоспособности битумного защитного покрытия крайне важна. По истечении ресурса работоспособности защитное покрытие теряет свою целостность из-за деструкции битумного связующего. В покрытии появляются трещины, через которые вода, водные растворы (электролиты) проникают к поверхности стальных труб, вызывая их коррозию. При этом электрохимический процесс коррозии может протекать весьма быстро.

Существует хорошо зарекомендовавший себя за два десятилетия экспресс-метод определения долговечности по энергии активации термоокислительной деструкции полимерных материалов [2, 3]. Метод определения долговечности полимерных материалов основан на взаимосвязи между долговечностью и значением энергии активации, определяемой качеством материала и уменьшающейся под воздействием эксплуатационных факторов. Ранее, например, при оценке долговечности полимерных труб для инженерно-технических систем определялось значение E_d на материалах из новых, не бывших в эксплуатации труб. Эксплуатационные факторы (температура и давление жидкости) были

жестко зафиксированы соответствующими нормативными документами. Это позволяло оценивать снижение параметра E_d эксплуатационными факторами на величину $\Delta E_{\text{э.ф.}}$. В уравнении долговечности использовалась величина $\Delta E_{\text{расч}} = E_d - \Delta E_{\text{э.ф.}}$. В результате расчетов получались реальные значения долговечности, подтверждаемые на практике.

Однако этот подход применить для битумных антакоррозийных покрытий стальных газопроводов подземного залегания оказалось затруднительным из-за невозможности корректного определения $\Delta E_{\text{э.ф.}}$. Оценить эксплуатационные факторы (температуру, механические воздействия, действие химических агрессивных сред и др.) даже в первом приближении возможно с рядом допущений. Температура битумного покрытия +10 °C в значительной степени условная, т. к. не на всех участках глубина залегания газопровода 1,6 м. Очевидно также, что температура газа внутри стальных труб в течение десятков лет в разных районах РБ не может быть постоянной и равной конкретно +10 °C. Механические напряжения, зависящие от глубины залегания труб, их диаметра и плотности грунта также разные, трудно учитываемые. Еще сложнее учесть воздействие на битумные покрытия за долгие годы водных растворов солей. Кроме того, применение уравнения долговечности для полиэтилена низкой плотности ПЭНП в случае битумных покрытий в значительной степени условно, т. к. химический состав битума не соответствует химическому составу полиэтилена.

В связи с изложенным возникла необходимость впервые применить другой подход для оценки долговечности (остаточного ресурса работоспособности – ОР) бывших в эксплуатации разное количество лет битумных покрытий. Новый подход основан на установлении зависимости ОР – E_d . Аналитический характер этой экспоненциальной зависимости (ее точность) зависит от числа точек на ней, т.е. от числа образцов (исследовано 62 образца). Чем больше образцов с разными сроками эксплуатации ($Cp\ \mathcal{E}$), тем выше точность построения экспоненты ОР – E_d . Долговечность свежего, не бывшего в эксплуатации битума, оцененная при подстановке значения E_d в уравнение для ПЭНП, принимается равной 72 г. Срок эксплуатации: 2024 г. (время отбора образцов) минус год ввода газопровода в эксплуатацию. Тогда остаточный ресурс работоспособности равен $OP = 72 - Cp\ \mathcal{E}$. При этом в новом подходе используется универсальность параметра E_d , его способность адекватно понижаться под воздействием эксплуатационных факторов, даже неизвестных для экспериментатора, т.к. $E_d = E_{x.\text{св.}} + E_{m.\text{вз.}}$, где $E_{x.\text{св.}}$ – энергия химических связей внутри молекул; $E_{m.\text{вз.}}$ – энергия межмолекулярных взаимодействий.

В процессе эксплуатации битумных покрытий они стареют тем больше, чем длительнее срок их эксплуатации. В результате воздействия всех видов эксплуатационных факторов постепенно снижается молекулярная

масса олигомерных молекул битума, что приводит к адекватному снижению межмолекулярных взаимодействий $E_{\text{м.вз.}}$ (чем короче фрагменты молекул битума, тем меньше $E_{\text{м.вз.}}$). Изначально пластичный битум постепенно охрупчивается. При приближении срока эксплуатации, соответствующему ОР близкому к нулю, образец полностью состарившегося битума рассыпается в руках, т.к. $E_{\text{м.вз.}}$ близка к нулю.

Построена экспоненциальная зависимость: остаточный ресурс работоспособности (ОР) – энергия активации термоокислительной деструкции (E_d), математической обработкой которой, минимизируя сумму квадратов ошибок между экспериментальными и модельными значениями, выведено уравнение:

$$\begin{aligned} \text{ОР} &= 0,0432 \cdot e^{0,05985 \cdot E_d} \\ R^2 &= 0,964 \end{aligned} \quad (2)$$

Это уравнение позволяет с достаточной точностью оценивать долговечность битумных покрытий стальных газопроводов подземного залегания экспресс-методом. Взяв пробу покрытия массой несколько грамм (неразрушающий контроль) и определив в течении одного рабочего дня значение параметра E_d , рассчитывается долговечность.

Стальные газопроводы с битумным антикоррозионным покрытием, введенные в эксплуатацию в начале 60-х годов прошлого столетия, эксплуатируются уже около 65 лет. Максимальная долговечность битумных покрытий 72 года, поэтому остаточный ресурс работоспособности таких покрытий не более 5–7 лет. Очевидно, что уже сейчас следует планировать работы по оценке ОР битумных покрытий газопроводов, введенных в эксплуатацию до 70-х годов в конкретных районах РБ, и очередность замены газопроводов с битумными покрытиями на газопроводы из полипропилена высокой плотности или на стальные с полиэтиленовым покрытием.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 58094 Системы газораспределительные. Сети газораспределения. Определение продолжительности эксплуатации стальных наружных газопроводов при проектировании – Введ. 01.10.2018. – М.: Стандарт информации, 2018. – 22 с.
2. СТБ 1333.2–2002 «Изделия полимерные для строительства. Метод определения долговечности труб полимерных для инженерно-технических систем» – Введ. 28.06.2002 (впервые). – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2002. – 8 с.
3. СТБ 1333.0–2002 «Изделия полимерные для строительства. Метод определения долговечности по энергии активации термоокислительной деструкции полимерных материалов» – Введ. 28.06.2002 (впервые). – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2002. – 8 с.

УДК 677.494.6:678.82

Вишневская Т.А., Прокопчук Н.Р.

(УО «Белорусский государственный технологический университет»)

ВЛИЯНИЕ ЗАРЯДА НАНОЧАСТИЦ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ НА МЕЖМОЛЕКУЛЯРНОЕ ВЗАЙМОДЕЙСТВИЕ В ПА-6

В настоящее время, несмотря на развитие науки, технологий и повышения необходимого уровня характеристик к полимерным материалам, полиамид-6 (ПА-6) остается одним из ведущих конструкционных термопластов благодаря удачному сочетанию прочностных характеристик, износостойкости и технологичности. Однако, традиционное наполнение дисперсными частицами в значительных концентрациях (5–20 мас.%) часто приводит к компромиссу между прочностью и пластичностью [1]. Перспективной альтернативой является наномодифицирование, которое предполагает введение сверхмалых количеств наночастиц (менее 0.1 мас. %) не для создания классического композита, а для целенаправленного изменения молекулярной и надмолекулярной структуры полимерной матрицы за счет интенсивного межфазного взаимодействия. Ключевую роль здесь играют нанооксиды металлов и неметаллов, такие как диоксид титана (TiO_2), оксид цинка (ZnO), оксид алюминия (Al_2O_3) и диоксид кремния (SiO_2), обладающие высокой удельной поверхностью, значительным поверхностным зарядом и адсорбционной способностью.

Целью нашей работы являлось экспериментально доказать усиление межмолекулярных взаимодействий, существующих в наномодифицированном полимере, взаимодействием полярных групп макромолекул с электрически заряженными поверхностями наночастиц; показать, что решающая роль в усилении межмолекулярных взаимодействий в ПА-6 принадлежит величине электрического заряда на разных поверхностях наночастиц [2].

В результате проведенных исследований было установлено существенное повышение энергии активации термоокислительной деструкции (E_d), зависимость значения которой от типа вводимой нанодобавки представлена на рисунке 1. Для немодифицированного ПА-6 этот параметр составлял 172 кДж/моль, в то время как для образцов с наночастицами TiO_2 он увеличился до 188 кДж/моль, в случае введения других частиц также наблюдалось увеличение параметра E_d . Рост E_d связан с ограничением молекулярной подвижности за счет дополнительных связей с наночастицами, кроме того, это снижает реакционную способность макромолекул в процессах окисления и затрудняет доступ и миграцию окислителя в объеме полимера. Это эквивалентно увеличению истинной

энергии активации, так как структурная релаксация и перегибридизация атомов углерода при отрыве водорода происходят не синхронно, а с запаздыванием.

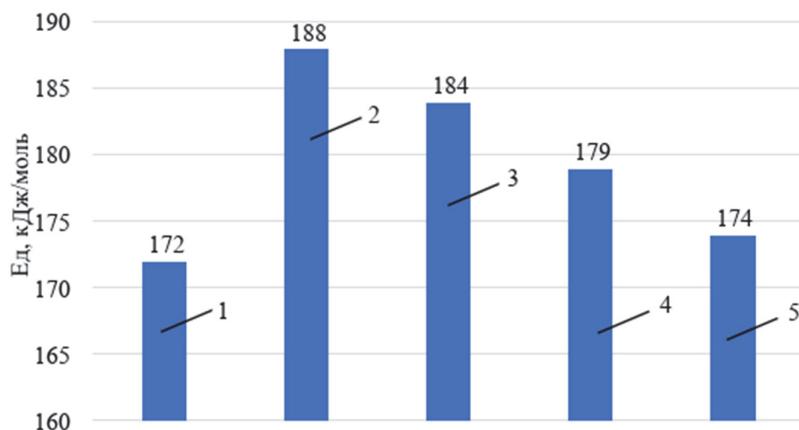


Рисунок 1 – Зависимость значения параметра E_d ПА-6 от типа вводимой нанодобавки (при содержании 0,015% масс.):
1 – без добавок, 2 – TiO_2 , 3 – ZnO , 4 – Al_2O_3 , 5 – SiO_2

Из вышеизложенного следует: поскольку молекулярная подвижность, при неизменной термодинамической гибкости макромолекул ПА-6 определяется уровнем межмолекулярных взаимодействий, рост значений параметра E_d при наномодифицировании ПА-6, обусловлен дополнительными межмолекулярными взаимодействиями, образованными наночастицами оксида титана, цинка, алюминия и кремния с макромолекулами полимера.

Методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и рентгеноструктурного анализа (РФА) был зафиксирован рост степени кристалличности ПА-6 при наномодифицировании. Наночастицы, сохранив частично взаимодействие с полярными группами полимера в расплаве, снижают подвижность звеньев макромолекул при температурах, близких к температуре кристаллизации. Это увеличивает вероятность образования зародышей кристаллов, но снижает скорость их роста, что в итоге приводит к структуре с большим количеством кристаллов меньшего размера, что способствует росту прочности. Наибольший прирост кристалличности наблюдался для TiO_2 .

Усиление межмолекулярного взаимодействия подтвердилось и повышением вязкости расплава полимера. Показатель текучести расплава (ПТР) снизился с 26,3 г/10 мин у исходного ПА-6 до 19,7 г/10 мин для образца, модифицированного 0,015 % масс. TiO_2 , все результаты представлены на рис. 2. Созданные наночастицами дополнительные связи

замедляют перемещение макромолекул друг относительно друга под действием напряжения сдвига.

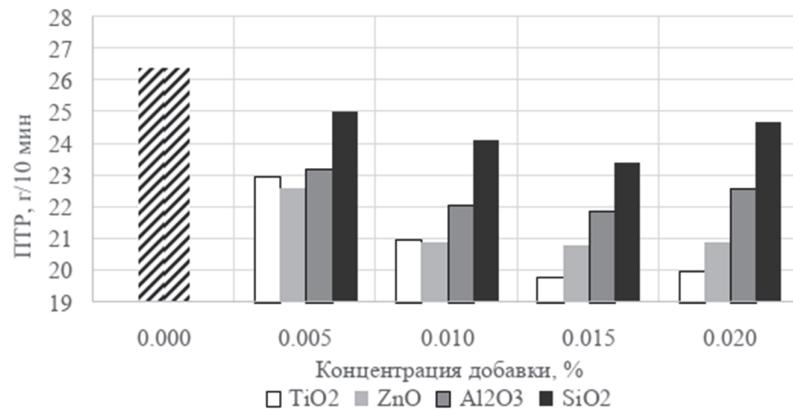


Рисунок 2 – Показатель текучести расплава исследуемых композиций в зависимости от содержания и природы добавки

Максимальное увеличение $T_{ст}$ достигает 12°C. Этот факт подтверждает усиление межмолекулярных взаимодействий наночастицами: звенья макромолекул сильнее связаны с взаимодействиями со звеньями соседних цепей и для предания им исходной (до наномодифицирования) подвижности (переход из стеклообразного в высокоэластичное состояние) требуется большая тепловая энергия и $T_{ст}$ повышается. Следует отметить, что рост температуры стеклования так же усиливается при наномодифицировании ПА-6 наночастицами ZnO (1,0 масс. %) на 7° [3] и при введении в полифениленсульфид нанографена, доппированного декорированного оксидом цинка (0,3 масс. %) на 16°.

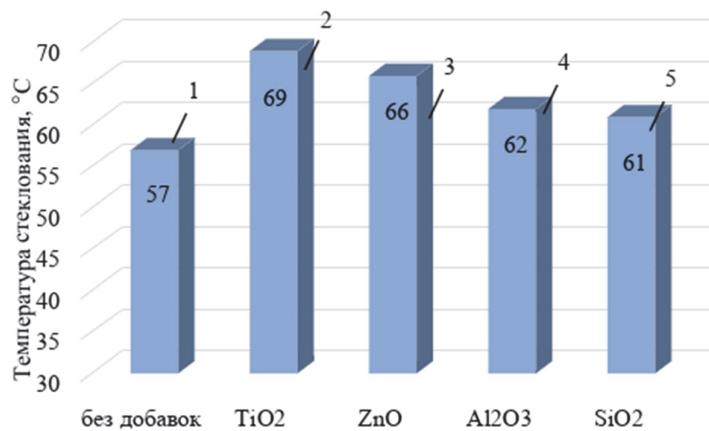


Рисунок 3 – Значения температуры стеклования исследуемых образцов ПА-6, при содержании нанодобавок 0,015% масс.:
1 – без добавок, 2 – TiO₂, 3 – ZnO, 4 – Al₂O₃, 5 – SiO₂

Таким образом, экспериментально доказано, что введение сверхмалых количеств наночастиц оксидов металлов приводит к значительному усилению межмолекулярных взаимодействий в ПА-6. Кроме того, выявлено, что эффективность наночастиц убывает в ряду $\text{TiO}_2 > \text{ZnO} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{SiO}_2$, что коррелирует с убыванием величины поверхностного электрического заряда на их развитой поверхности. Взаимодействие заряженных наночастиц с полярными группами макромолекул ПА-6 повышает потенциальный барьер для отрыва звеньев и затрудняет их перемещение, что в конечном итоге повышает устойчивость наномодифицированного полимера к действию напряжений в том числе в поле повышенных температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рева О.В., Криваль Д.В., Богданова В.В. Изучение механизма ингибирования горения полиолефинов неорганическими азот-фосфорсодержащими композициями // Актуальные проблемы безопасности в техносфере 2025. № 3 (19) С. 6-12 URL:<https://doi.org/10.34987/2712-9233.2025.83.24.001>.
2. Вишневская Т.А., Прокопчук Н.Р. Влияние наночастиц оксидов металлов на механические свойства полиамида 6 // Полимерные материалы и технологии. – 2025. – Т. 11, № 2. – С. 31–38.
3. Лудаш Дуймич А., Радичич Р., Эрцегович Ражич С., Чингесар И.К., Глогар М., Юров А. и Крстулович Н. (2024). Характеристика вторичного полимера РА 6, полученного методом центрифугирования из расплава, путем добавления наночастиц ZnO в процессе экструзии. Полимеры, 16 (13), 1883. <https://doi.org/10.3390/polym16131883>.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ	VI
<i>Ушак С.М. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОАО «СВЕТЛОГОРСКХИМВОЛОКНО».....</i>	IX
<i>Яворский А.С., Сенчук Н.В., Гутикова Н.В. ОАО «ЗАВОД ГОРНОГО ВОСКА»: ПОСТАНОВКА И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ.....</i>	X
<i>Силивоник С.Л. СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ОАО «ГРОДНО АЗОТ» ДО 2030 ГОДА. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ С НАУЧНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ</i>	XIV
<i>Сиротин К. ВЗАИМОСВЯЗЬ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА ПРИМЕНЕНИТЕЛЬНО К ОАО «МОГИЛЕВХИМВОЛОКНО»</i>	XVIII
<i>Войтов И.В., Ковхуто А.М. О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА БЕЛАРУСИ ОТ РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА ДО ИХ ПЕРЕРАБОТКИ</i>	XXI
<i>Кадушко А.И., Насковец И.В. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД».....</i>	XXVI
 <i>Секция 1. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ. ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА. НЕФТЕДОБЫЧА. БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА. ПОДГОТОВКА И ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ</i>	1
<i>Некрасов Д.В. ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОАО «МОЗЫРСКИЙ НПЗ», ПЕРВЫЕ УСПЕХИ В ПРИМЕНЕНИИ КАТАЛИЗАТОРА БЕЛОРУССКОГО ПРОИЗВОДСТВА</i>	1
<i>Климовец А.Н., Шматков А.Л. ЛУЧШИЕ ПРОДУКТЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ УП «АЗОТХИМФОРТИС».....</i>	5
<i>Турко В.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЖОТРАСЛЕВОГО БАЛАНСА В НЕФТЕХИМИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ</i>	8
<i>Гайле А.А., Карнаух В.С., Камешков А.В. ПОЛУЧЕНИЕ МАЛОСЕРНИСТОГО СУДОВОГО ТОПЛИВА ЭКСТРАКЦИОННОЙ ОЧИСТКОЙ СМЕСИ ГЗОЙЛЕЙ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА И ВИСБРЕКИНГА N-МЕТИЛПИРРОЛИДОНОМ</i>	13
<i>Трибуши Н.А., Дормешкин О.Б., Гаврилюк А.Н., Мохорт М.С. РАЗРАБОТКА БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ С ПОЛУЧЕНИЕМ КОРМОВЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ФОСФАТОВ АММОНИЯ</i>	16

<i>Ковалева В.В. СОРБЕНТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ</i>	19
<i>Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Олиферович Н.М., Оробей И.О., Журавлев М.А. ТРАНСФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ.....</i>	23
<i>Войтов И.В., Штепа В.Н., Дернович А.В. КОГНИТИВНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И РЕСУРСНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ</i>	26
<i>Бухтоярова Д.Д., Яблонских Д.В. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРИРОДООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ</i>	30
<i>Кузьмин К.А., Рудко В.А. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ.....</i>	33
<i>Гринвальд Д.Е., Габдулхаков Р.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УЗЛА ПЕРЕРАБОТКИ ФЕНОЛЬНОЙ СМОЛЫ ПУТЁМ ОПТИМИЗАЦИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТАНОВКИ</i>	37
<i>Чебыкина А.А., Утенкова Т.Г., Габдулхаков Р.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА В СИСТЕМЕ «КАМЕННОУГОЛЬНЫЙ ПЕК-ДВУХКОМПОНЕНТНЫЙ РАСТВОРИТЕЛЬ»</i>	39
<i>Ивахнюк Г.К., Фокин Д.Р. СИНЕРГИЗМ ВЛИЯНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА НА ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ МЕТАНОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ.....</i>	43
<i>Сергеев В.А., Морозова Т.Д., Шакирова О.Г. ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩУЮ ОТРАСЛЬ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОЛЕФИНОВ</i>	47
<i>Иванов В.А., Белов Д.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РЕСУРСА И ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ</i>	51
<i>Стоколос О.А., Татур И.Р., Худойбердыева З.Д., Яковleva В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАФТЕНАТА МЕДИ НА ОКИСЛИТЕЛЬНУЮ СПОСОБНОСТЬ БАЗОВЫХ МАСЕЛ.....</i>	55
<i>Удовенко Е.А., Габдулхаков Р.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ОСТАТКА ГИРОКРЕКИНГА ГУДРОНА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ НА ЕГО ОСНОВЕ ПЕКОВОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ</i>	58

<i>Утенкова Т.Г., Кремчеев Э.А., Габдулхаков Р.Р.</i> ТОНКАЯ ОЧИСТКА ФЕНОЛЬНОЙ СМОЛЫ – ТЯЖЕЛОГО ОСТАТКА КУМОЛЬНОГО ПРОЦЕССА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ	59
<i>Авдейчик О.В.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ УСТОЙЧИВОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ	62
<i>Мытько Д.Ю., Гребенчук П.С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В ЦЕНТРОБЕЖНОМ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕ	66
<i>Алламырадов М.Н.</i> МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОКИСЛЕННЫХ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ	70
<i>Караханов В.А.</i> СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕШЛАМОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДАХ ТУРКМЕНИСТАНА	73
<i>Жолнеркевич В.И., Шрубок А.О.</i> ВЛИЯНИЕ КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ НА ПРОЦЕСС ВАКУУМНОЙ ПЕРЕГОНКИ ОТРАБОТАННОГО МИНЕРАЛЬНОГО МАСЛА	76
<i>Ивановская И.С., Ивановский В.В.</i> АСПЕКТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА НА БЕЛОРУССКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	79
<i>Пягай И.Н., Савельев Е.П., Титова М.Е.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА ВЫСОКОПОРИСТОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ИЗ ПРОМЫШЛЕННОГО КРЕМНЕГЕЛЯ	83
<i>Арзаев Н.А., Ивахнюк Г.К.</i> БЕЗРЕАГЕНТНАЯ И РЕАГЕНТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ ОГНЕТУШАЩИХ ПЕН: ПРИМЕНЕНИЕ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	85
<i>Мохорт М.С., Дормешикин О.Б., Гаврилюк А.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ОЧИЩЕННОЙ ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ	87
<i>Колыбельский Д.С.</i> ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА В РФ ЩЕЛОЧНЫХ ДЕТЕРГЕНТОВ КАК ОСНОВЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК	91
<i>Пискунов И.В.</i> ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЕЙ	93
<i>Рудко В.А.</i> РАЗРАБОТКА ОСНОВ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА НЕФТИНОГО ИГОЛЬЧАТОГО КОКСА	95
<i>Дуброва М.В., Шрубок А.О.</i> ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ВТОРИЧНОГО ПЭТ-ПОРОШКА НА ВЯЗКОСТЬ СБС-МОДИФИЦИРОВАННОГО БИТУМА	98

<i>Трусов К.И., Осипёнок Е.М., Юсевич А.И., Агабеков В.Е.</i> ГИДРОКРЕКИНГ ГУДРОНА В ПРИСУТСТВИИ МАСЛОРАСТВОРИМЫХ ПРЕКУРСОРОВ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА	101
<i>Кузёмкин Д.В., Юсевич А.И., Герман Н.А., Осипёнок Е.М., Прищепенко Д.В., Войтов И.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРПЕНО-НЕФТЕПОЛИМЕРНОЙ СМОЛЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ	105
<i>Aripdjanov O.Yu., Hakimov R.I., Zokhidjonov S.A., Olimov A.A.</i> PROSPECTS FOR THE USE OF FOAM GLASS GRANULES IN THE INDUSTRY OF UZBEKISTAN: THERMAL INSULATION AND CORROSION RESISTANCE.....	108
<i>Aripdjanov O.Yu., Sayidaxmedov I.M., Hakimov R.I., Zohidjonov S.A.</i> О'ЗБЕКИСТОН САНОАТИДА ПЕНОСТЕКЛО ГРАНУЛАРИНИНГ ИСИQLIK IZOLYATSIYASIDAGI АHAMИYATI VA ENERGIYA TEJAMKORLIKDAGI ROLI	111
<i>Aripdjanov O.Yu., Sayidaxmedov I.M., Hakimov R.I., Zohidjonov S.A., Olimov A.A.</i> NEFT VA GAZ SANOATIDA USKUNALARING KORROZИYAGA CHIDAMLILIGINI OSHIRISHDA ПЕНОСТЕКЛО ГРАНУЛАРИДАН FOYDALANISH ISTIQBOLLARI	113
<i>Францкевич В.С., Касперович А.В., Боброва В.В., Боровский Д.Н.</i> АНАЛИЗ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТА	116
<i>Секция 2. ПОЛИМЕРНЫЕ, КОМПОЗИЦИОННЫЕ И ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ</i>	121
<i>Карманова О.В., Голякевич А.А., Меренкова Е.А., Шашок Ж.С.</i> ВЛИЯНИЕ СОСТВА КОМПЛЕКСНОГО АКТИВАТОРА ВУЛКАНИЗАЦИИ НА КИНЕТИКУ СШИВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ПОЛИИЗОПРЕНА.....	121
<i>Вишневская Т.А., Прокопчук Н.Р.</i> ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТА РЕБИНДЕРА У НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ ПА-6.....	124
<i>Чикунская В.М., Огородников В.А., Будкуте И.А., Щербина Л.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОНИТРИЛА И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ S- И D-МЕТАЛЛОВ ПРИ ИХ СОВМЕСТНОМ ПРИСУТСТВИИ.....	127
<i>Касперович О.М., Петрушенин А.Ф., Чернявский А.В.</i> УСТОЙЧИВОСТЬ КОМПОЗИЦИЙ С ШУНГИТОМ К ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕСТРУКЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ	131

<i>Пчелова Н.В., Щербина Л.А., Будкуте И.А.</i> МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ С ИОНОГЕННЫМИ ГРУППИРОВКАМИ	133
<i>Лаптик И.О., Прокопчук Н.Р., Постников Д.П.</i> ПОВЫШЕНИЕ НАНОЧАСТИЦАМИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ	137
<i>ДЕМИДОВ Н.Д., СОРОКИН И.А.</i> ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР НА ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	141
<i>Лаптик И.О., Прокопчук Н.Р.</i> ВЛИЯНИЕ ЗАРЯДА ПОВЕРХНОСТИ НАНОЧАСТИЦ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЭПОКСИДНОЙ НА ЭЛЕТРОИЗОЛЯЦИИ	144
<i>Насыбуллина А.А., Шишикина Н.Н., Закирова Л.Ю.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ К СРЕДАМ РЕЗИН С ДОБАВКАМИ НА ОСНОВЕ КАРБАМИДОВ	147
<i>Радковский И.С., Щербина Л.А., Будкуте И.А.</i> ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ НА ПОЖАРООПАСНОСТЬ И АНТИМИКРОБНУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ	150
<i>Сенюк Д.А., Петрунина А.С., Барковская О.А., Черник А.А.</i> ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ СПЛАВА НИКЕЛЬ-ХРОМ ИЗ КОМПЛЕКСНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА	154
<i>Касперович А.В., Касперович О.М., Петрушенин А.Ф., Чернявский А.В.</i> ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫЕ КОМПОЗИЦИИ ПОЛИЭТИЛЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛЫ РИСОВОЙ ЩЕЛУХИ	156
<i>Гулиев К.Г., Вахабова В.А.</i> СИНТЕЗ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 1,4-ФЕНИЛЕН-БИС-(2-ГЛИЦИДИЛОКСИМЕТИЛ) ЦИКЛОПРОПАНА	159
<i>Абед Нодира, Негматов Сайибжан, Шамсиева Сабохат</i> ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ	161
<i>Люштык А.Ю., Каюшников С.Н., Ипонова Е.Ю., Шашок Ж.С., Усс Е.П.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМОЛ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОРЕЗОУСТОЙЧИВОСТИ ПРОТЕКТОРА	163
<i>Куликов А.А., Никифоров А.А., Вольфсон С.И.</i> ПОЛИМЕРНЫЙ ВОДОРАСТВОРИМЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ В 3Д ПЕЧАТИ	167
<i>Лейла Аббасова, Бахтияр Мамедов</i> РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА СОПОЛИМЕРА, ОБРАЗОВАННОГО АЛЛИЛОВЫМ ЭФИРОМ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И СТИРОЛОМ	170

<i>Люштык А.Ю., Каюшников С.Н., Шашок Ж.С., Усс Е.П., Кротова О.А., Лешкевич А.В., Савицкая Т.Ю.</i> ХИМИЧЕСКИЙ ПРОМОТОР ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА С КАУЧУКОМ В СОСТАВЕ ШИННЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ	172
<i>Щербина Л.А., Прокопчук Н.Р., Будкуте И.А.</i> ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ	174
<i>Грицкевич К.С., Павлюкевич Ю.Г.</i> РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ЛИСТОВЫХ СТЕКОЛ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ ОКСИДОВ.....	177
<i>Радковский И.С., Щербина Л.А., Будкуте И.А.</i> ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКОН, СОДЕРЖАЩИХ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	180
<i>Karimova S.S., Mammedov B.A., Balayeva O.O.</i> THE SYNTHESIS OF CU-AL LDHS AND THEIR STABILISATION WITH PVA	184
<i>Ивановская И.С., Ивановский В.В.</i> КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ РОБОТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ РОБОТИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ	185
<i>Вининевский К.В., Шашок Ж.С., Jin H., Wu YD.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ.....	190
<i>Вернигров К.Б., Мащуков В.И., Кулыгин А.В., Потапов О.А., Русанова С.Н., Казаков Ю.М., Стоянов О.В., Бушков В.В., Тутов С.В., Касперович А.В., Ефремов С.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО И ОТХОДОВ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И МОДИФИКАТОРОВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	193
<i>Шашок Ж.С., Усс Е.П., Касперович А.В., Люштык А.Ю., Каюшников С.Н., Юшкевич Т.С.</i> ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И СОДЫ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНТИАДГЕЗИОННОГО СОСТАВА	195
<i>Усс Е.П., Шашок Ж.С., Касперович А.В., Лешкевич А.В., Люштык А.Ю., Каюшников С.Н., Юшкевич Т.С.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В АНТИАДГЕЗИОННЫХ СОСТАВАХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ	197
<i>Шашок Ж.С., Усс Е.П., Касперович А.В., Каюшников С.Н., Люштык А.Ю., Матюшкова Е.С.</i> ВЛИЯНИЕ МАРКИ НЕИОНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА СВОЙСТВА АНТИАДГЕЗИОННОГО СОСТАВА.....	199

<i>Шашок Ж.С., Усс Е.П., Касперович А.В., Кротова О.А., Люштык А.Ю., Каюшников С.Н., Матюшкова Е.С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АНТИАДГЕЗИОННОГО СОСТАВА С РАЗЛИЧНЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ	201
<i>Масейков С.С., Касперович А.В., Боброва В.В., Колосовский Р.С., Тихомиров С.Г., Карманова О.В.</i> ВЛИЯНИЕ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДЕЛЬНЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ КАУЧУКА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ	203
<i>Касперович А.В., Боброва В.В., Ефремов С.А., Нечипуренко С.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОД-КРЕМНИСТОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В ПРОТЕКТОРНОЙ ЧАСТИ ШИНЫ	205
<i>Касперович А.В., Боброва В.В., Колосовский Р.С., Фарафонтов В.Н.</i> ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ КАРБОНИЗАТА РИСОВОЙ ШЕЛУХИ НА СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ	208
<i>Прокопчук Н.Р., Ленартович Л.А., Рудковский А.Т.</i> НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИОННЫХ БИТУМНЫХ ПОКРЫТИЙ СТАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ПОДЗЕМНОГО ЗАЛЕГАНИЯ	212
<i>Вишневская Т.А., Прокопчук Н.Р.</i> ВЛИЯНИЕ ЗАРЯДА НАНОЧАСТИЦ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ НА МЕЖМОЛЕКУЛЯРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ПА-6	215

Научное издание

НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2025

Материалы

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

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *А. В. Дернович*

Компьютерная верстка:

Д. А. Кускильдина, Е. А. Матейко, В. А. Маркушевская

Подписано в печать 03.12.2025. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.

Усл. печ. л. 14,5. Уч.-изд. л. 15,7.

Тираж 30 экз. Заказ .

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.