НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 20 24

МАТЕРИАЛЫ
VII Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке

13–15 ноября 2024 г.
Минск, Республика Беларусь



PETROGASCHEMISTRY – 2024

PROCEEDINGS
VII International Scientific and Technical Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Processing

November 13–15, 2024
Minsk, the Republic of Belarus



НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2024

МАТЕРИАЛЫ
VII Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке

13–15 ноября 2024 г.
Минск, Республика Беларусь

УДК 665.7

Р е ц е н з е н т ы :
И.В. Войтов, проф., д-р техн. наук;
*Н.Р. Прокопч*ук, член-кор. НАНБ, проф., д-р хим. наук;
Э.Т. Крутько, проф., д-р техн. наук;
В.Н. Марцуль, проф., канд. техн. наук;
Ж.С. Шашок, проф., д-р техн. наук;
А.И. Юсевич, доц., канд. хим. наук;
Д.В. Куземкин зав. кафедрой НГПиНХ, канд. техн. наук;
А.В. Касперович, зав. кафедрой ПКМ, доц., канд. техн. наук;
В.С. Францкевич, зав. кафедрой МиАХиСП, доц., канд. техн. наук;
К.В. Вишневский, директор РНПЦ НХТиП, доц., канд. техн. наук;
А.В. Дернович, зам. директора РНПЦ НХТиП;
П.С. Гребенчук, доц., канд. техн. наук

НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2024 : материалы VII Междунар. науч.-техн. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 13–15 ноября 2024 г. – Минск : БГТУ, 2024. – 312 с.
ISBN 978-985-897-224-0.

Сборник составлен по материалам докладов VII Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2024».

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

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

ISBN 978-985-897-224-0

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2024

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР

НЕФТЕБИТУМНЫЙ ЗАВОД

Производственное унитарное предприятие «Нефтебитумный завод» является одним из крупнейших производителей битумов и битумных материалов в Республике Беларусь. 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 Беларуси, и обладает высокими физико-техническими характеристиками и потребительскими свойствами, удовлетворяющими самым строгим запросам клиентов.

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



ПАРТНЕРЫ

1. Открытое акционерное общество «Гродненский научно-исследовательский и проектный институт азотной промышленности и продуктов органического синтеза 1»

ОАО «ГИАП»

Предоставляет комплекс услуг по разработке проектной и другой технической документации в области нового строительства, технического перевооружения, реконструкций и ремонта производств химической, нефтегазодобывающей и нефтегазоперерабатывающей промышленности, объектов общезаводского и подсобно-вспомогательного назначения. Осуществляет техническое сопровождение проектной документации при прохождении госэкспертизы.

2. ОАО «Гомельский химический завод»

BelFert
ОАО «Гомельский химический завод»

Является одним из ведущих предприятий нефтехимической отрасли Беларуси и специализируется на выпуске комплексных фосфорсодержащих удобрений, а также продукции неорганического синтеза под брендом BelFert.

Наши усилия направлены на то, чтобы узнать и удовлетворить потребности наших клиентов, доставляя продукцию высокого качества в разные страны мира.

Наши основные принципы – это инновации, эффективность и гармоничное развитие.

ОАО «Гомельский химический завод» имеет возможность производства азотно-фосфорно-калийных удобрений по индивидуальному заказу конкретного потребителя, что позволяет максимально точно удовлетворить имеющуюся потребность.

Удобрения бренда BelFert обладают рядом преимуществ в принципиально важных моментах:

- наличие всех макрокомпонентов исключительно в водорастворимой форме;
- возможность производства NPK–удобрений со сбалансированным содержанием азота, фосфора и калия, что очень важно для восстановления плодородия почв;

- достижение максимально возможной концентрации по сумме макроэлементов снижает транспортно-коммерческие издержки;
- широкий ассортимент марок удовлетворяет самым разнообразным требованиям в соответствии с составом почвы и многообразием сельско-хозяйственных культур;
- наличие в удобрениях водорастворимой серы в сульфатной форме;
- возможность внесения в удобрения различных микроэлементов (Zn, Mg, B и др.)

Производство химической продукции:

- Сульфит натрия фотографический первого сорта;
- Алюминий фтористый технический AlF_3;
- Аэросил технический;
- Криолит искусственный технический марки КП;
- Электролиты для аккумуляторов.

Система менеджмента качества предприятия соответствует ISO 9001:2015, система управления окружающей средой (СУОС) соответствует требованиям СТБ ISO 14001-2017, ISO 14001:2015, а система менеджмента охраны труда (СМОТ) соответствует новой версии стандарта требованиям ISO 45001:2018.

3. ОАО «Лакокраска»

ОАО «Лакокраска» г. Лида входит в состав концерна «Белнефтехим» и является самым крупным предприятием Республики Беларусь по производству лакокрасочной продукции для предприятий промышленного сектора и розничной торговли.

Производственные мощности ОАО «Лакокраска» позволяют выпускать в год более 120 тыс. тонн лакокрасочной продукции.

Ассортимент лакокрасочных материалов включает органо-разбавляемые и водно-дисперсионные грунтовки и эмали для антикоррозионной и атмосферостойкой защиты металла, железобетонных конструкций, дерева, а также фталевый ангидрид, полуфабрикатные лаки, поливинилацетатную дисперсию, отвердители и растворители.

ОАО «Лакокраска» единственный производитель фталевого ангидрида высшего европейского качества в республике Беларусь, который соответствует требованиями Регламента (ЕС) № 1907/2006 (REACH).

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПОДГОТОВКА КАДРОВ В БГТУ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО С ПРЕДПРИЯТИЯМИ КОНЦЕРНА «БЕЛНЕФТЕХИМ»

Белорусский государственный технологический университет приветствует участников VII Международного научно-технического форума по химическим технологиям и по нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2024», представителей Правительства Республики Беларусь, специалистов предприятий, университетов Республики Беларусь и зарубежных гостей, представленных дипломатическими, образовательными и научными организациями. Позвольте от себя лично и от имени Белорусского государственного технологического университета поблагодарить всех вас за участие в Форуме.

Форум стал традиционной площадкой для обсуждения вопросов подготовки кадров, проведения научных исследований, обсуждения инноваций в нефтегазохимической отрасли Республики Беларусь и мире.

*Белорусский государственный технологический университет (далее БГТУ) является учреждением образования с почти 95-летней историей и занимает ведущие позиции в образовательной и научной сферах. В 2018 году приказом Министра образования Республики Беларусь БГТУ утвержден в качестве экспериментальной площадки для апробации новой модели «Университет 3.0», которая предусматривает акцент на развитие инновационной деятельности (**Слайд 2**).*

Слайд 2



Университет аккредитован в качестве научной организации Европейской ассоциации ВУЗов, включен в состав Ассоциации ведущих технических университетов России и стран ближнего зарубежья. БГТУ первым среди университетов страны награждён Премией Правительства в области качества.

*БГТУ и Казанский федеральный университет определены опорными вузами для работы Сетевого университета высоких технологий Союзного государства, который будет ориентирован на подготовку кадров, востребованых экономиками обоих государств (**Слайд 3**)*

Слайд 3



БГТУ готовит кадры для концерна «Белнефтехим», Минстройархитектуры, Минпрома, предприятий Минлесхоза, концерна «Беллесбумпром», Минздрава, Госстандарта, ПВТ, Мининформации, Минсельхозпрода, Управления делами Президента и др.

БГТУ является инновационным университетом 3.0 с вертикально интегрированной структурой, куда входят кафедры, колледжи, научные центры, учебно-производственные лесхозы.

В университете обучается 10520 студентов, учащихся по более 140 специальностям.

89% – инженеры, технологи.

В настоящее время функционирует 35 филиалов кафедр на предприятиях и в организациях Республики, в том числе филиалы кафедр с предприятиями концерна Белнефтехим:

– филиал кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии на базе ОАО «ГродноАзот»;

– филиал кафедры технологии стекла и керамики на базе ОАО «Полоцк-Стекловолокно»;

– филиал кафедры машин и аппаратов химических и силикатных производств на базе ОАО «Крион»;

– филиал кафедры полимерных композиционных материалов на базе ОАО «Белшина».

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

Подписано соглашение о создании филиала кафедры на нефтегазопереработки и нефтехимии Мозырском НПЗ и отраслевой лаборатории.

Профессорско-преподавательский состав включает около 500 чел. Остепененность ППС высокая 70%. Средний возраст ППС – 49 лет. Учебная нагрузка – 815 часов в год. Средняя зарплата ППС – 2735 руб.

*Приём абитуриентов в университет за год в целом незначительно вырос, составил 3105 человек (**Слайд 6**).*

Вырос прием: на бюджет, на целевую подготовку (в два раза), на платной основе.

100% выпускников получают распределение.

Университет открывает 3 новые специальности:

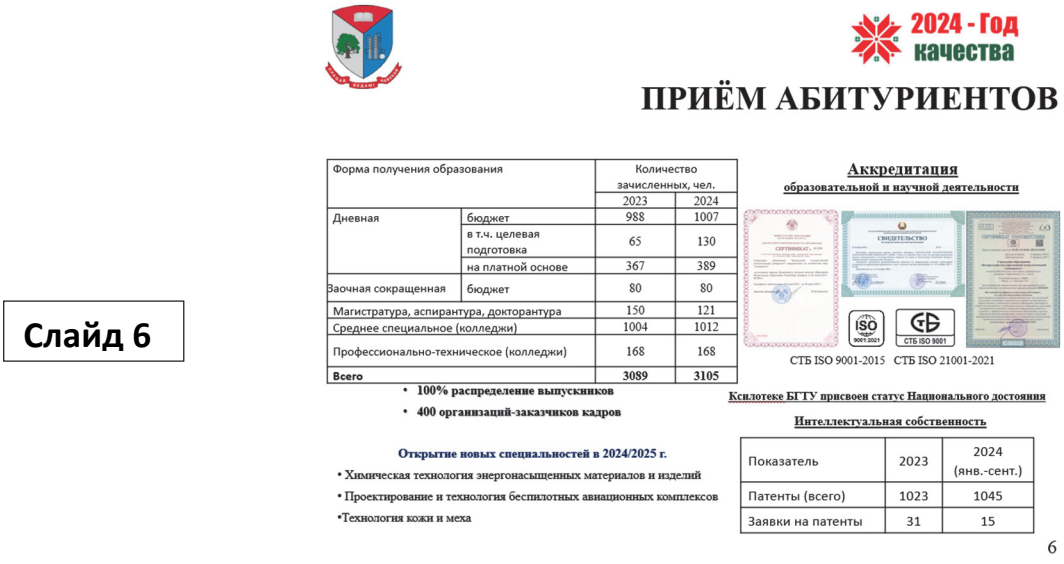
- Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий,

- Проектирование и технология беспилотных авиационных комплексов,

- Технология кожи и меха.

Подготовка магистрантов будет вестись по новой специальности «Геологоразведка и технологии нефтедобычи».

Слайд 6



БГТУ аккредитован как образовательный и научный комплекс по международной и национальной системе стандартизации, ведет активную патентную работу.

Ксилотеке БГТУ присвоен статус Национального достояния, что важно для перспективного направления технологии биополимеров.

*БГТУ является научным центром (**Слайд 7**). Имеет высокое обеспечение аналитическим оборудованием, выполняет более 400 НИОК(Т)Р в год, из них – 45% по заказу промышленного сектора.*

Слайд 7



Направление исследований:

- Химические технологии

- Технологии удобрений

- Шинные технологии

- Биотехнологии

- Строительные материалы

- Машины лесного и химического комплекса

- Информационные технологии

Университет БГТУ активно работает по подготовке кандидатов и докторов наук, ежегодно присваивается более 15 ученых званий и степеней.

*Важнейшим направлением для университета является идеологическая и воспитательная работа. БГТУ проводит ежемесячно диалоговые площадки с руководителями госорганов (**Слайд 8**).*

Слайд 8



В студенческом совете задействовано 100% студентов. 90% студентов – члены профсоюза. 65% – члены БРСМ. Работает 49 студенческих отрядов. Активно работают молодые ученые

*Экспорт и международное сотрудничество – важные направления работы. В БГТУ учатся более 500 иностранных граждан из 37 стран мира (в т.ч. новых – Зимбабве и Экваториальной Гвинеи). Экспорт образовательных услуг на сегодняшний день составил более 1 млн. долларов (**Слайд 9**).*

Экспорт промышленной продукции БГТУ за пять лет превысил 4,5 млн. долларов США.

Динамичное развитие международных контактов, академического сотрудничества с зарубежными партнерами способствует качественной подготовке высококвалифицированных специалистов.

В настоящий момент между БГТУ и зарубежными образовательными и научными организациями действуют 217 договоров о сотрудничестве, 16 из них были заключены в течение 2024 года. За указанный период нашими партнерами стали:

– учебные и научные организации Китайской Народной Республики: Дэянский сельскохозяйственный колледж, Харбинский университет Хуаде, Университет науки и технологий Циндао, Уханьский университет, Пекинский институт нефтехимических технологий;

– университеты Российской Федерации: Сахалинский государственный университет, Национальный исследовательский университет ИТМО, Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Пензенский государственный университет, Курский государственный университет, Башкирский государственный аграрный университет;

– университеты стран СНГ: Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (Узбекистан), Ташкентский международный университет Кимё (Узбекистан), Инновационный Евразийский университет (Казахстан);

– Баня-Лукский университет (Босния и Герцеговина).

*БГТУ на протяжении длительного времени успешно осуществляет **переподготовку** специалистов предприятий нефтегазохимического комплекса Республики Беларусь по следующим специальностям:*

«Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий»;

«Химическая технология вяжущих веществ и строительных материалов на их основе»;

«Технология переработки эластомеров»;

«Производство изделий из композиционных материалов»;

«Промышленная экология и рациональное использование природных ресурсов».

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

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

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

- повысить уровень профессиональных компетенций руководящих работников и специалистов;

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

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

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

*В рамках выполнения целей, поставленных в Стратегии развития нефтехимического комплекса до 2030 года на базе БГУТ создан Республиканский научно-практический центр нефтехимических технологий и производств (РНПЦ), задачей которого является курирование и согласование работ отраслевой науки, сконцентрированной в университете, в т.ч. отраслевых лабораторий и предприятий нефтехимического комплекса. В состав центра входят отделы, научные и отраслевые лаборатории. Кроме того, РНПЦ тесно сотрудничает с кафедрами университета и центром физико-химических методов исследования, это позволяет повысить эффективность научной работы на базе БГТУ (**Слайд 11**).*

Ученые университета выполняют широкий спектр исследований для предприятий нефтехимического комплекса. Это перспективные полимерные, композиционные материалы и наноматериалы, химические волокна, эластомеры, шины, лаки и краски, прогрессивные технологии основного неорганического и органического синтеза, нефтепереработки, производства удобрений и солей, высокоэффективные машины и оборудование, продукты глубокой химической переработки древесины, химические реагенты и компоненты для различных отраслей промышленности,

вопросы природопользования и промышленной экологии, охраны окружающей среды, автоматизация и управление химико-технологическими процессами, экономика отрасли, IT-технологии.

Общий объем финансирования РНПЦ по хозяйственным договорам, выполненным совместно с учеными кафедр, ежегодно составляет до 1 млн. руб. Высокую эффективность работы показывают отраслевые лаборатории, работа которых организована прямо на базе предприятий, на ОАО «Полоцкстекловолокно» и ОАО «Белшина».

В БГТУ функционирует 8 отраслевых лабораторий, 4 отраслевые лаборатории, входящие в структуру РНПЦ, работают в интересах предприятий Концерна Белнефтехим.

Отраслевая лаборатория стекла и волокнистых материалов

*В настоящее время по заказу ОАО «Полоцк-Стекловолокно» базе ОЛСВ и кафедры ТСК и ВМ выполняется НИР «Анализ химического состава сырьевых материалов и стекол для непрерывного волокна методом АЭС» (н.рук. Павлюкевич Ю.Г.). В 2025 г. планируется заключение договора на выполнение НИР и продолжение работ по данному направлению (**Слайд 12**).*

Слайд 12



Университет заинтересован в работе с ОАО «Полоцк-Стекловолокно» по следующим актуальным для предприятия направлениям в области производства стекла и волокнистых материалов:

– разработка технологии производства штапельного волокна из отходов (ECR-стекла, алюмонатрийсиликатного стекла, базальтового стекла);

– разработка состава стекла и технологии производства высокомодульного, высокопрочного волокна;

– совершенствование технологии стекловарения с целью снижения затрат на производство стекловолокна (энергосбережение за счет

обогащения воздуха кислородом, новых тенденций в приготовлении шихты и стекловарения, в том числе для снижения уноса шихты и др.).

Предприятиям интересна разработка «Стеклянные дисперсные наполнители», выполненной базе университета и обсуждается возможность реализации проекта по созданию производства стеклошариков на ОАО «Полоцк-Стекловолокно».

***Отраслевая лаборатория шинной промышленности**, которая является совместным проектом БГТУ и ОАО «Белшина» функционирует, в том числе, на базе предприятия и на постоянной основе обеспечивает проведение испытаний по омологации новых марок и типов сырья, разработку новых рецептур и технологии получения полуфабрикатов, а также научное сопровождение существующих технологических процессов (**Слайд 13**).*

Слайд 13



В настоящее время выполняется целый ряд проектов:

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

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

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

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

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

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

Университет и лаборатория принимают активное участие в Программе совместных работ по повышению ходимости цельнометаллокордных сверхкрупногабаритных шин, в рамках которых выполняют работы по разработке новых рецептур для деталей шин:

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

– повышение уровня связи на границе раздела протектор-брекер (прочность расслоения деталей шин);

– разработка рецептурных приемов по повышению эксплуатационных свойств протекторных резин (сопротивление раздиру, упругогистерезисные показатели).

Кроме того, ОЛШП участвует в выполнении задания подпрограммы «Малотоннажная химия» государственной научно-технической программы «Перспективные химические и биологические технологии» на 2021-2025 год, в рамках которой выполняет проект «Разработка рецептуры и технологии получения антиадгезионного импортозамещающего состава для изоляции листованных и гранулированных маточных резиновых смесей при производстве автомобильных шин и резинотехнических изделий».

В 2024 году комиссия по финансированию проектов за счет РЦИФ высоко оценила результаты, достигнутые специалистами ОЛШП, и приказом ГКНТ были выделены 2036,0 тыс. руб. на развитие МТБ лаборатории, за счет которых планируется приобретение следующих позиций оборудования:

– Анализатор порезов и проколов

– Динамический флексометр

– Машины для испытания резины на многократное растяжение при повышенных температурах

– Лабораторный вулканизационный гидравлический пресс с комплектом пресс-форм для вулканизации стандартных образцов

– Лабораторные смесительные вальцы со станцией темперирования

– Озоновая испытательная камера

– Прибор для определения газопроницаемости резин

На 2025 год также подана заявка на развитие МТБ ОЛШП.

Общий экономический эффект от внедренных разработок отраслевой лаборатории шинной промышленности на ОАО «Белшина» за 3 года составил более 4,5 млн. рублей.

Отраслевая лаборатория по переработке фосфатного сырья *для базового предприятия ОАО «Гомельский химический завод» (**Слайд 14**).*

Слайд 14



В последние годы выполнила целый ряд научно- исследовательских работ, по заказу ОАО «Гомельский химический завод», ОАО «Гродно-Азот» и РУП «Управляющая компания холдинга «Белорусская стекольная компания» среди которых:

– исследование стабильности фазового состава минеральных удобрений, выпускаемых в цехе аммонизированного суперфосфата, и технических солей, представленных ОАО «Гомельский химический завод»;

– изучение влияния калорийности природного газа на величину расхода природного газа на тонну аммиака;

– в рамках реализации государственной научно-технической программы учеными университета исследованы физико-химические закономерности комплексной очистки экстракционной фосфорной кислоты на основе апатитов и фосфоритов различных месторождений от ионогенных примесей и разработана технология получения ортофосфорной кислоты технической квалификации.

Учеными университета в рамках хоздоговорной темы выполнен цикл исследований по изучению возможности использования галитовых отходов в технологии производства соды кальцинированной и их влияния на состав сопутствующих продуктов в производстве соды – жидкого и гранулированного хлористого кальция, которые показали возможность получения продукта заданного качества.

Дальнейшие планы работы лаборатории включают в себя:

– разработку технологической схемы разложения фосфатного сырья с включением дополнительного существующего экстрактора на базе ОАО «Гомельский химический завод»;

– будут продолжены работы по исследованию распределения примесей тяжелых металлов в не упаренной и упаренной экстракционной фосфорной кислоте, изучению влияния отдельных технологических

параметров на процесс очистки экстракционной фосфорной кислоты и установлению оптимального режима получения ортофосфорной кислоты технической (пищевой) квалификации.

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

***Отраслевая лаборатория «Инжиниринговый центр по апробации наноматериалов в нефтехимическом и промышленном комплексах»**.*

Проводятся исследования в направлении лакокрасочных материалов и покрытий:

– антикоррозионные лакокрасочные материалы;

– биозащитные лакокрасочные материалы;

– оценка долговечности лакокрасочных покрытий в агрессивных средах;

*– синтез пленкообразователей на водной и органической основе **(Слайд 15)**.*

Слайд 15



В настоящее время лаборатория выполняет работы по работы по следующим проектам:

«Выбор лакокрасочных материалов и разработка технологического процесса их нанесения на опоры контактной сети городского электротранспорта»

Проведена обобщенная оценка эффективности различным систем лакокрасочных покрытий для защиты поверхности опор контактной сети городского электротранспорта г. Минска. Выбраны наиболее эффективные системы лакокрасочных покрытий и разработаны технологии их нанесения для окраски опор контактной сети городского электротранспорта с целью обеспечения антикоррозионной защиты поверхности и надлежащего внешнего вида.

«Разработка научных основ и технологий наномодификации на различных этапах получения полиэфирных волокнистых материалов с целью улучшения их эксплуатационных свойств»

Предложены технологии окрашивания ПЭТ-волокон, обеспечивающие равномерность окраски поверхности волокна, а также установлено влияние нанооксидов титана и цинка на окрашиваемость ПЭТ-волокон, полученных на основе разработанных композиций, содержащих оптимальное количество вводимых при синтезе наночастиц оксидов металлов, при котором достигаются максимальные показатели наномодифицирования. По данной работе получены положительные результаты ОАО «Могилевхимволокно».

***Лабораторией нефтегазопереработки и нефтехимического синтеза** и кафедрой нефтегазопереработки и нефтехимии совместно с лабораторией дисперсных систем Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси выполнен ряд экспериментов по очистке нефтяных коксов в реакторе электротермического кипящего слоя (ЭТКС). При очистке в ЭТКС кокса нефтяного анодного марки Б (АО «ТАНЕКО») и кокса прокаленного марки Ч Челябинского электродного завода при температурах 2200–2500°С удалось снизить содержание серы в образцах в 10–20 раз, зольность – в 2–4 раза. Существенно, что наряду с очисткой кокса в нем активно формируется фаза графита. По результатам проведенных экспериментов была установлена принципиальная возможность получения в ЭТКС высокочистых дисперсных углеграфитовых материалов из сырого нефтяного кокса УЗК с организацией непрерывного технологического процесса. Ведутся работы по поиску возможных направлений использования нефтяного кокса ОАО «Нафтан», например, в строительных материалах и в качестве сорбента (**Слайд 16**).*

Слайд 16



*В совместной лаборатории нефтехимических продуктов Белорусского государственного технологического университета и Института химии новых материалов НАН Беларуси изучаются процессы суспензионной гидроконверсии тяжелых нефтяных остатков и их смесей с возобновляемым сырьем (древесной биомассой) в присутствии сульфидов переходных металлов. Синтезирован новый маслорастворимый прекурсор дисульфида молибдена на основе тетратиомолибдата аммония и четвертичной аммонийной соли **(слайд 17)**.*

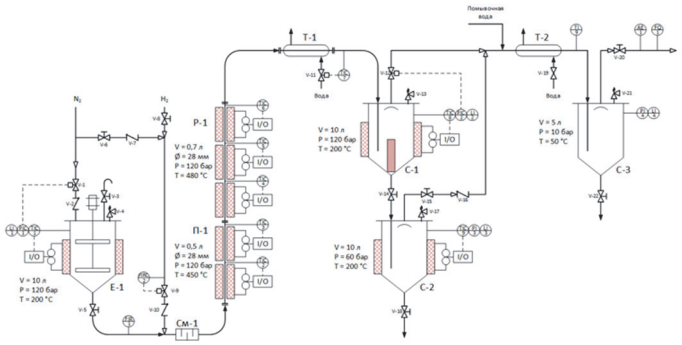
В процессах гидрокрекинга тяжелых нефтяных остатков с кипящим слоем катализатора типа H-Oil ограничивающим фактором для глубины переработки является разрушение нефтяной дисперсной системы с выделением из нее фазы асфальтенов при достижении определенной степени конверсии сырья. Асфальтены осаждаются на катализаторах, блокируя доступ к активным центрам, формируют коксовые отложения на внутренней поверхности оборудования и трубопроводов, нарушая оптимальный гидродинамический и тепловой режим процесса, забивают трубную арматуру, снижая надежность и управляемость системы. Решением проблемы видится развитие процессов суспензионного гидрокрекинга с использованием наноразмерных катализаторов, синтезируемых insitu из водо- или маслорастворимых прекурсоров.

Прекурсор проявляет свойства ионной жидкости, растворим в ароматических углеводородах, разлагается в углеводородной среде до сульфидов при температурах 240–340°C, не требует дополнительного сульфидирующего агента, образует частицы диаметром 50–100 нм, проявляющие высокую каталитическую активность в реакциях гидроконверсииасфальтенов. Как видно, в результате гидрокаталитической переработки асфальта в нем уменьшилось содержание асфальтенов более чем в 2 раза преимущественно за счет их превращения в смолы и нейтральные масла. С целью масштабирования процесса разработан проект пилотной установки гидроконверсии нефтяного гудрона и его смесей с древесной биомассой в присутствии наноразмерных катализаторов ***(слайд 18)***.

Слайд 18

ЛАБОРАТОРИЯ НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКИ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

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



Проект пилотной установки гидроконверсии нефтяного гудрона производительностью 1 кг/ч

18

В процессе каталитического крекинга углеводородов нефти образуется отработанный катализатор – материал высокой степени дисперсности и однородного состава. Разработана технология переработки отработанного катализатора каталитического крекинга, позволяющая получать сорбент, не уступающий по сорбционной способности цеолитам, и лантансодержащий концентрат. Полученный сорбент может использоваться для извлечения из воды тяжелых металлов, азота аммонийного. Сорбционная емкость в зависимости от сорбируемого иона может достигать 4 мг-экв/г ***(слайд 19)***.

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

В университете проводятся работы по созданию и изучению свойств новых и импортозамещающих катализаторов нефтехимических процессов. Так, по разработанной в БГТУ технологии в Республике Беларусь налажено производство катализатора жидкофазной димеризации пропилена «Димеркат». Катализатор поставляется в ОАО «Мозырский НПЗ», где используется на установке получения высокооктанового компонента автобензинов.

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

В настоящее время проводится работа «Исследования влияния повышенного содержания сероводорода в нефти на скорость коррозии конструкционных материалов, из которых изготовлены технологические трубопроводы и оборудование установки первичной переработки нефти (ЭЛОУ-АТ); исследований негативного влияния поглотителей сероводорода в нефти на процессы её переработки»

Лаборатория промышленной экологии, энергоэффективности и промышленной безопасности

– совместно с кафедрами Полимерных композиционных материалов и Механики и конструирования постоянно ведутся работы направленные на поиск технологий вторичной переработки полимерных материалов, в том числе термореактивных (резины, смолы) ***(слайд 20).***

Слайд 20



– совместно с кафедрой Механики и конструирования разработана пултрузионная технология производства армированных термопластов ***(слайд 21).***

Слайд 21



В дальнейших планах лаборатории тесное сотрудничество с кафедрой промышленной экологии, энергоэффективности и промышленной безопасности.

Так, в БГТУ разработан гель на основе комплекса флавоноидов с ранозаживляющей активностью. В основе рецептуры данного препарата лежат экстракты лекарственных растений, в составе которых

присутствует комплекс флавоноидов, обладающий репаративными и антимикробными свойствами. Препарат прошел доклинические испытания, доказана его высокая биологическая активность.

А также разработана электронная база данных «Активный ил», которая дает возможность оперативного и простого определения систематической принадлежности организмов активного ила, позволяет наглядно проследить за изменением соотношения основных индикаторных групп организмов и делает удобным хранение большого объема информации о биоценозе активного ила и его изменениях под действием различных факторов. База данных внедрена в производство на ряде предприятий республики (ГП «Брестводоканал», РУП СПО «Химволокно», УПУП «Гомельводоканал», «Полимир» ОАО «Нафтан», УП «Витебскводоканал» и др.).

Планируется дальнейшее развитие направления:

– создание гидролизных производств на основе древесного и другого целлюлозосодержащего сырья ***(слайд 22)****;*

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

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

Слайд 22



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

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

Отраслевыми лабораториями БГТУ в 2023 году выполнены научные исследования и разработки на сумму порядка 1,5 млн. руб., что выше, чем в 2021-2022 годах, также возросло внебюджетное финансирование по отраслевой науке. Экономический эффект на предприятиях, полученный от внедрения результатов НИР за последние 2 года превысил 6 млн. бел. руб.

Экспортная ориентированность отраслевых лабораторий БГТУ за 2023 год составляет порядка 8 %.

В настоящее время ведутся работы по расширению материально-технической базы существующих отраслевых лабораторий, а также прорабатываются направления для создания отраслевых лабораторий по новым направлениям.

Специалисты РНПЦ Нефтехимических технологий и производств совместно с учеными БГТУ ежегодно организуют и проводят международный форум по вопросам нефтехимической и газовой переработки «Нефтегазохимия», который способствует налаживанию контактов между учеными и специалистками предприятий ***(слайд 23).***

Слайд 23



Учеными БГТУ ведутся разработки и в других отраслях промышленности:

1. Ежегодно Беларусь импортирует только для производства портландцемента около 300 тыс. т природного гипсового камня. На кафедре ХТВМ разработана технология производства и применения искусственного гипсового камня из фосфогипса. В настоящее время апробация технологии происходит на предприятиях Белорусской цементной компании. Проведена опытно-промышленная апробация технологии искусственного гипсового камня на «Гродненском комбинате строительных материалов». Полученный искусственный гипсовый камень был успешно апробирован в лабораториях цементных заводов. По своим свойствам искусственный гипсовый камень не уступает природному гипсу.

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

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

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

Динамика капиллярной пропитки используется в двух направлениях. Первое – оценка гидрофобности осадков в процессах их получения, обработки и обезвоживания осадков. У БГТУ имеется опыт для оптимизации процессов очистки сточных вод и нефтедобычи, в частности, при механическом обезвоживании плотных глинистых суспензий и осадков промывных фильтров при очистке воды; обработке активных илов; для установки параметров работы фильтров и центрифуг и множество других применений при обработке минералов в угольной и горнодобывающей промышленности; при производстве бумаги; сахара; в металлургии.

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

4. Одной из значимых проблем предприятий-переработчиков плотных горных пород, например, гранитов, является образование побочного продукта переизмельченной породы (отсевов дробления) с размером частиц <5 мм.

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

В БГТУ в ходе изучения отсевов гранитоидных пород Микашевичского месторождения выявлена зависимость их химико-минералогического состава от размеров частиц породы. Проведенными исследованиями в лабораторных условиях, а также полупромышленными испытаниями в условиях ОАО «Полоцк- Стекловолокно» доказана пригодность обогащенных отсевов пород Микашевичского месторождения к производству минерального волокна.

В завершении хотелось бы отметить, что дальнейшее развитие нефтехимического комплекса Республики Беларусь видится в углублении нефтепереработки с увеличением доли химических продуктов, в том числе мономеров и полимеров. Указанное направление требует переориентации производства на получение альфаолефинов (в первую очередь это этилен и пропилен) и ароматических углеводородов с дальнейшим развитием цепочек на их основе.

Считаю, что Форум «Нефтегазохимия-2024» будет способствовать укреплению прямых контактов с партнерами и инвесторами в новых направлениях для совместного решения научно-технических и экономических задач, определяющих направления дальнейшего развития белорусской промышленности.

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

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

Ректор УО «Белорусский государственный технологический университет» **И.В. Войтов**

Участникам VII Международного научно-технического и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2024»
Уважаемые участники форума!

От Министерства образования Республики Беларусь поздравляю вас с началом работы VII Международного научно-технического и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2024» и приветствую зарубежных коллег, ученых и руководителей организаций нефтехимической отрасли нашей страны.

Рассматриваемая проблематика является чрезвычайно актуальной для мирового сообщества, а сам форум – это мероприятие, в рамках которого создаются условия для выработки важных решений и выбора направлений роста.

Развитие нашей страны невозможно без внедрения новых перспективных технологий, направленных на создание инновационных материалов и производств, ресурсо- и импортозамещение, информатизацию всех сфер жизни, минимизацию последствий воздействия производства на окружающую среду. На форуме будут обсуждены актуальные проблемы нефтехимии, переработки полимерных композиционных материалов, внедрения цифровых технологий, рассмотрены вопросы усиления практико-ориентированной составляющей в подготовке кадров для нефтехимического комплекса.

Опорой для развития должна стать научно-исследовательская деятельность молодого поколения: студентов, магистрантов, аспирантов. Ведь именно им предстоит в ближайшей перспективе противостоять будущим вызовам современности и решать основные задачи отрасли.

Считаю, что форум «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2024» будет способствовать увеличению вклада науки, производства, высшей школы в решение социально-экономических задач, стоящих перед Республикой Беларусь, а представленные к обсуждению материалы будут с интересом встречены учеными и практиками, станут предметом дальнейших исследований заинтересованных лиц.

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

Министр образования
Республики Беларусь,
член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор химических наук **А.И. Иванец**

Уважаемый Игорь Витальевич!
Уважаемые коллеги и партнеры!

От коллектива Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения сердечно приветствую всех участников VII Международного научно-технического форума по химическим технологиям «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2024»!

Сотрудничество в науке и образовании, объединение интеллектуального и творческого потенциала, плодотворный обмен идеями и мнениями – таковы движущие силы прогресса. Переоценить значение слаженной партнерской работы на благо промышленной модернизации сегодня решительно невозможно. Тем более, когда речь идет о флагманских отраслях развития всего содружества независимых государств – нефтегазопереработке и нефтехимии, десятилетиями определявших экономический статус и уровень жизни граждан наших стран.

Очевидно, что сегодня вопросы цифровизаиии и импортозамещения нефтехимических технологий, дальнейшей экологической оптимизации производственных процессов, подготовки отраслевых кадров имеют исключительную актуальность и решать их необходимо сообща. В этом контексте форум «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ», проходящий в стенах Белорусского государственного технологического университета, представляется авторитетной экспертной площадкой для обмена мнениями, научных дискуссий и выработки общей стратегии решения насущных вопросов.

Дорогие друзья, я желаю вам интересного и продуктивного диалога, новых идей и наилучшего их воплощения на благо науки, индустрии и укрепления содружества наших государств! Успехов и открытий форуму «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ-2024»!

С уважением,

Ректор ГУАП **Ю.А. Антохина**

Уважаемые участники Международного научно-технического форума «Нефтегазохимия-2024»!

От имени Красноярского государственного аграрного университета и от себя лично приветствую вас на этом значимом мероприятии, посвящённом развитию химических технологий и нефтегазопереработки. Российская Федерация и Республика Беларусь исторически имеют тесные экономические и научные связи, особенно в сфере нефтегазовой и химической промышленности. Взаимное сотрудничество в области энергетики, научных исследований и инноваций имеет огромное значение для укрепления экономической и технологической независимости обеих стран. Сегодня, когда геополитическая ситуация меняется быстро и непредсказуемо, важно усилить наше сотрудничество в сфере науки. Объединив усилия, мы сможем достичь больших успехов в разработке и внедрении новых цифровых технологий, модернизации оборудования и увеличении производительности предприятий. Особенно важно отметить необходимость обмена опытом между специалистами из разных стран и организаций. Такое сотрудничество позволит нам находить новые решения, внедрять лучшие практики и повышать общую эффективность работы в отрасли.

Красноярский государственный аграрный университет активно участвует в научно- исследовательской деятельности и готов предложить свои знания и опыт для решения задач. Наш вуз располагает высококвалифицированными кадра ми, современным оборудованием и передовыми цифровыми технологиями, которые могут быть полезны для развития химического и нефтегазохимического комплекса. Мы убеждены, что взаимное сотрудничество в сфере науки и технологий позволит обеим странам укрепить свои позиции на мировом рынке и обеспечить устойчивое развитие экономики. В заключение хочу выразить благодарность организаторам форума за предоставленную возможность участия и пожелать всем участникам плодотворной работы, успешной защиты инновационных проектов, новых идей и успешных решений!

Ректор Красноярского *ГАУ* **Н.И. Пыжикова**

Уважаемые организаторы, участники и гости VII Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ - 2024»!

От имени коллектива МИРЭА - Российского технологического университета искренне поздравляю вас с началом этого значимого мероприятия!

Форум, проводимый под эгидой Белорусского государственного технологического университета, представляет собой уникальную платформу для обмена знаниями, планами и достигнутыми результатами в области химической и нефтегазохимической промышленности.

В условиях стремительно меняющегося мира, где для обеспечения прогресса необходимы новые технологии, очень важно делиться опытом и совместными усилиями находить пути решения проблем. Выбор тематики форума говорит о его актуальности и широте охвата вопросов: от перспектив развития нефтехимии до экологических проблем и новых подходов в обучении специалистов, которые безусловно станут основой инновационного развития нашей отрасли. Стимулирование их активности и поддержка на пути к научным достижениям – это важные задачи, над которыми мы должны работать сообща.

Ректор РТУ МИРЭА **С.А. Кудж**

Уважаемые коллеги!

От имени коллектива Высшей школы нефти и от себя лично приветствую участников и гостей VII Международного научно- технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ - 2024».

Международный научно-технический форум объединяет на одной площадки представителей федеральной власти и руководства ведущих компании, отраслевых экспертов, дает уникальную возможность для обмена научно-техническими достижениями в области нефтегазо-химической отрасли.

Уверен, что участие специалистов в Форуме, развернутые выставочные экспозиции дают важный импульс в развитии международных деловых связей.

Желаю Всем участникам, гостям и организаторам VII Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ - 2024» интересной, плодотворной работы и успешного осуществления задуманных проектов!

Ректор **А.А. Дьяконов**

ВЫСШАЯ ШКОЛА НЕФТИ
АЛЬМЕТЬЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

— XXX —

Уважаемые коллеги, участники и гости VII Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕГАЗОХИМИЯ- 2024»!

От имени ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России и от себя лично рад приветствовать вас на этом значимом событии! Форум собрал под одной крышей ведущих ученых, практиков и специалистов, которые стремятся продвигать науку и технологии в области химии и нефтегазопереработки.

В условиях стремительных изменений и вызовов времени, такие мероприятия становятся особенно важными. Они позволяют обмениваться опытом, продвигать инновации и находить новые решения для комплексных проблем, стоящих перед нашей отраслью. Уверен, что ваши идеи и научные разработки найдут применение и помогут в дальнейшем развитии химической науки и технологий.

Желаю всем участникам плодотворной работы, интересных дискуссий и новых знакомств. Надеюсь, что форум станет стартовой площадкой для многих успешных проектов и сотрудничества.

С уважением,
Ректор ФГБОУ ВО СПХФУ
Минздрава России **И. А. Наркевич**

Участникам, гостям и организаторам
VII Международного
научно-технического форума
по химическим технологиям
и нефтегазопереработке
«Нефтегазохимия - 2024»

Уважаемые коллеги! Дорогие друзья!

Приветствую вас на VII Международном научно-техническом форуме «Нефтегазохимия – 2024» – важной площадке для обмена знаниями и опытом в области химических технологий и нефтегазопереработки.

Здесь собрались люди, заинтересованные в развитии нефтегазохимии, для того, чтобы обсудить актуальные вызовы и возможности, стоящие перед нашей отраслью, а также укрепить связи между предприятиями, научно-исследовательскими институтами и ведущими вузами. Уверен, что продолжение нашего сотрудничества станет основой для новых идей и инновационных решений.

Сегодня мы отмечаем значительный рост интереса к конструктивному взаимодействию между промышленностью и наукой. Совместные проекты, исследовательские инициативы и образовательные программы помогают нам не только решать текущие задачи, но и формировать будущее нефтехимической отрасли. Важно, чтобы наши предприятия активно использовали результаты научных исследований и разработок и внедряли передовые технологии, что позволит повысить эффективность производства.

Давайте использовать эту уникальную возможность для обмена опытом, обсуждения новых идей и формирования стратегий, которые помогут нам справиться с вызовами времени. Желаю всем участникам успешной работы и вдохновения в поиске новых путей развития нашей отрасли!

Заместитель Председателя Белорусского
государственного концерна
по нефти и химии **В.В.Сизов**

УДК 544.77; 622.692.4

Крутько Н.П., Яковец Н.В.
(ГНПО «Химические продукты и технологии»,
ГНУ «Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси»)

О РАБОТЕ ГНПО «ХИМИЧЕСКИЕ ПРОДУКТЫ И ТЕХНОЛОГИИ» В ОБЛАСТИ ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Основными задачами деятельности Государственного научно-производственного объединения «Химические продукты и технологии» (далее – ГНПО) являются: 1) организация выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ по наиболее актуальным проблемам химических и смежных наук, техники и производства, 2) научное сопровождение работ по внедрению новых технологий и материалов на предприятиях Республики Беларусь и за рубежом. В состав ГНПО входят Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (далее – ИОНХ НАН Беларуси), Институт физико-органической химии НАН Беларуси, ОДО «Химавтодорсервис», ТПЧУП «Белуниверсалпродукт». Научно-технологические разработки ИОНХ НАН Беларуси как головной организации ГНПО в области нефтехимической промышленности связаны с получением эмульгаторов, адгезионных добавок и дорожно-строительных материалов на основе битумных эмульсий и модифицированных битумов, которые получили внедрение в Республике Беларусь и Российской Федерации [1]. Активно развивается научное направление, касающиеся разработки химических полифункциональных реагентов на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ) для регулирования вязкости тяжелых нефтей [2, 3].

В ИОНХ НАН Беларуси изучены физико-химические свойства образцов двух тяжелых высоковязких нефтей (**ТН**) Ашальчинского месторождения (ПАО «Татнефть»), модифицированных разработанными добавками, состоящими из ПАВ и органических растворителей полярной и неполярной природы. Измерения вязкости образцов ТН проведены на приборе Physica MCR 101 (Anton Paar) с использованием инструмента «пластина-пластина» (измерительная система PP25-SN10505, d=0,05 мм) в диапазоне изменения скорости сдвига от 1 до 300 $с^{-1}$ при 20 °С.

В результате исследований образцов ТН № 1 получены типичные реологические кривые течения, которые представляют собой прямые линии (рисунок 1), проходящие через начало координат, что указывает на то, что при 20 ^{0}С они являются ньютоновскими высоковязкими жидкообразными

системами. Вязкость ТН № 1 снижается с увеличением концентрации наиболее эффективной комплексной химической добавки (КХД) на основе производных жирных кислот рапсового масла с амино- и фосфатными группами и легкокипящего растворителя нефраса С2 (деароматизированного бензина каталитического риформинга) (таблица 1), которая снизила вязкость нефти почти на 47 % [2].

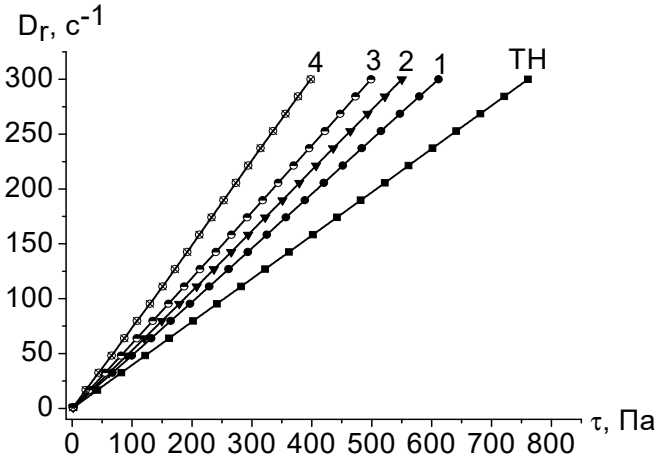


Рисунок 1 – Зависимости скорости сдвига от напряжения для ТН № 1 в присутствии добавки (КХД + нефрас С2):
1 – 0,1 мас. %, **2** – 1 мас. %; **3** – 2 мас. %; **4** – 3 мас. %

Таблица 1 – Результаты измерения вязкости ТН № 1 и определения индекса эффективности добавки (КХД + нефрас С2)

Образец	Средняя динамическая вязкость, мПа*с	$J_{эф.}$
ТН № 1 (без добавок)	2533,20	-
ТН № 1 + 0,1 % добавки	2052,25	1,2
ТН № 1 + 1 % добавки	1862,05	1,4
ТН № 1 + 2 % добавки	1679,30	1,5
ТН № 1 + 3 % добавки	**1344,50**	**1,9**

Для регулирования вязкости ТН № 2 использовали реагенты (таблица 2): Белэм-М – алкилмоноамидполиэтиленполиамин жирных кислот рапсового масла; Белад – эфиры полифосфорной кислоты и триглицеридов жирных кислот рапсового масла; их смеси, содержащие в своем составе амино- и фосфатные группы, разработанные совместно ИОНХ НАН Беларуси и ОДО «Химавтодорсервис»; а также А-1000 (производства BASF). Их растворяли в изопропаноле, толуоле, нефрасе марки С2, промышленных реагентах (ВК-1, ВК-2 и ВК-3), в состав которых входят смеси углеводородов (м-ксилол, п-ксилол, о-ксилол, этилбензол, толуол, метанол) в разных соотношениях.

Таблица 2 – Состав добавок, модифицирующих ТН № 2

№	ПАВ	Растворитель	Соотношение компонентов в добавке	Концентрация добавки в нефти, мас. %
1	Белэм-М	изопропанол	50:50	0,1
2	Белэм-М+Белад (1:3)	нефрас С2		1
3	Белэм-М+Белад (1:5)	ВК-2		0,1
4	А-1000 + Белад (1:1)	толуол	30:70	1
5	–	ВК-1	–	0,05
6	–	ВК-3	–	0,1

Снижение вязкости ТН № 2 (рисунок 2) происходит в присутствии композиций 2 и 4, содержащих наибольшее количество функциональных полярных групп в составе.

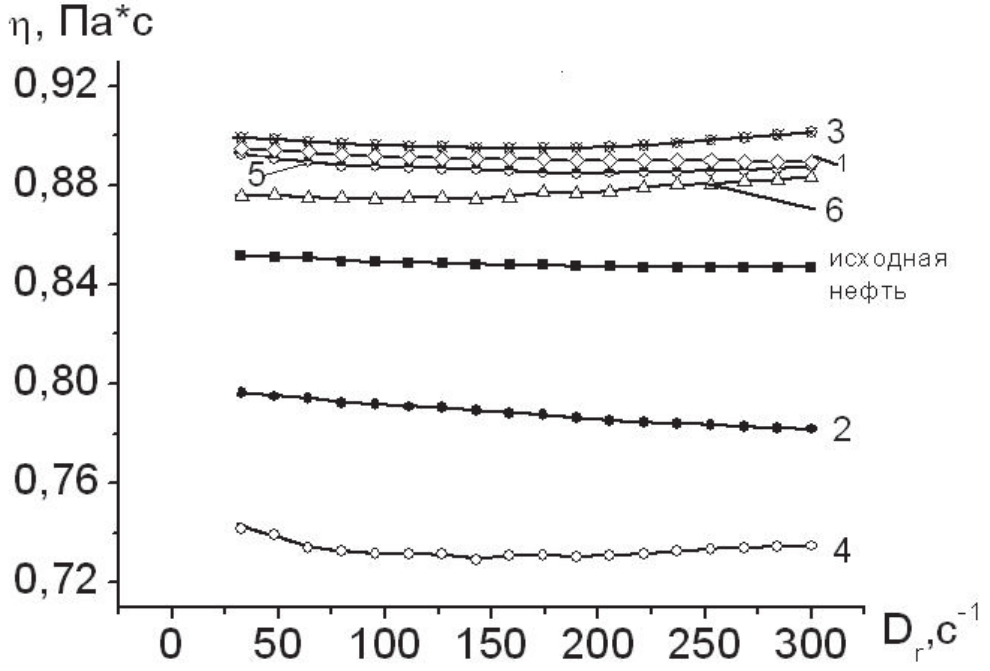


Рис. 2. – Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига для образцов ТН № 2 в присутствии исследуемых добавок

Добавки 2 и 4 оказывают наибольшие изменения на свойства ТН № 2 (таблица 3), так как в их состав входят амфифильные реагенты, содержащие одновременно большое количество амино- и фосфатных групп, растворенные в неполярном ароматическом растворителе (толуоле) или органической смеси (бензине каталитического риформинга), которые снизили вязкость ТН № 2 на 19,6 и 33,7 Па и позволили на 7,0 и 12,6 % согласно индексу их эффективности $J_{эф.}$ улучшить качество и вязкостные свойства исследуемой ТН № 2 [3].

Таблица 3 – Результаты определения вязкости ТН № 2 и определения индекса эффективности исследуемых добавок

Образец	Средняя динамическая вязкость, мПа*с	$J_{эф.}$
ТН № 2 (без добавок)	847,27	-
ТН № 2 + добавка № 1	890,66	0,95
ТН № 2 + добавка № 2	**787,70**	**1,08**
ТН № 2 + добавка № 3	896,02	0,95
ТН № 2 + добавка № 4	**740,17**	**1,14**
ТН № 2 + добавка № 5	889,13	0,95
ТН № 2 + добавка № 6	878,27	0,96

Установлено, что предлагаемые добавки способны эффективно взаимодействовать с полярными гетероатомами нефтей, что позволяет защитить нефтяные дисперсные частицы от слипания и образования агрегатов и способствует переходу от турбулентного течения нефти в потоке к ламинарному характеру течения, что свидетельствует о потенциальной возможности использования разработанных добавок для увеличения добычи и облегчения транспортировки и перекачки высоковязких нефтей [2, 3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Опанасенко, О. Н. Свойства и применение битумных дисперсий и битумно-эмульсионных материалов / О.Н. Опанасенко, Н.П. Крутько. – Минск : Беларус. навука, 2014. – 270 с.

2. Яковец, Н.В. Регулирование вязкости тяжелой нефти полифункциональными добавками на основе поверхностно-активных веществ / Н.В. Яковец, Н.П. Крутько, В.Г. Шкадрецова // Вестник технологического университета. – 2024. – Т. 27. – № 4. – С. 73-79.

3. Яковец, Н.В. Вискозиметрические исследования тяжелой нефти в присутствии композиций из амфифильных соединений и органических растворителей / Н.В. Яковец, Н.П. Крутько, О.В. Лукша, В.Г. Шкадрецова // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2024. – Т. 68. – № 4. – С. 296-304.

Секция I

ПЕРСПЕКТИВЫ, СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ. ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА. НЕФТЕДОБЫЧА. ПОДГОТОВКА И ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ НА ВСЕХ СТУПЕНЯХ ДИПЛОМНОГО И ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 66.094.3.097:536.4
УДК 665.52.061.5

Гайле А.А., Ахмад М.
(Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
Камешков А.В.
(ООО ПО «Киришинефтеоргсинтез»)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПРЯМОГОННЫХ НЕФТЯНЫХ ФРАКЦИЙ И ГАЗОЙЛЕЙ ВТОРИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ

Для образования гетерогенной системы и возможности проведения экстракции в данной работе, целью которой было сравнение степени извлечения экстрагируемых компонентов из различных видов сырья при одинаковых параметрах экстракции с использованием одного и того же экстрагента, состав которого лимитируется экстракционной очисткой легкого газойля каталитического крекинга, применили смесь N-метилпирролидона с этиленгликолем при массовом соотношении компонентов 60 : 40 % мас. Смешанный растворитель такого состава применяется в процессе «Arosolvan» для экстракции бензола, толуола и ксилолов из риформатов.

Одноступенчатые экстракции образцов сырья проводили 40˚С и массовом соотношении смешанного экстрагента 1 : 1.

Физико-химические свойства образцов сырья и рафинатов представлены в таблице 1. Состав образцов сырья и рафинатов, а также цетановые индексы охарактеризованы в таблице 2.

По степени обессеривания при экстракции нефтепродукты располагаются в следующий ряд:

легкий вакуумный газойль < атмосферный газойль < тяжелая дизельная фракция < газойль висбрекинга < легкая дизельная фракция ~ керосиновая фракция < легкий газойль каталитического крекинга.

Экстракционная очистка легкого и тяжелого газойлей замедленного коксования от сернистых соединений протекает ещё легче, чем газойля висбрекинга [1].

Таблица 1 – Физико-химические свойства образцов сырья и рафинатов одноступенчатой экстракции

Номер образца	Наименование	n_D^{20}	ρ_4^{20}	ρ_4^{15}
1	Керосиновая фракция	1,4380	781,7	785,7
2	Рафинат	1,4350	769,5	773,6
3	Легкая дизельная фракция	1,4610	829,5	833,2
4	Рафинат	1,4570	815,7	819,5
5	Тяжелая дизельная фракция	1,4820	866,4	869,8
6	Рафинат	1,4770	854,7	858,2
7	Атмосферный газойль	1,4860	869,8	873,2
8	Рафинат	1,4810	859,2	862,7
9	Легкий вакуумный газойль	1,5060	906,5	909,7
10	Рафинат	1,5000	888,2	891,5
11	Газойль висбрекинга	1,4740	846,0	849,6
12	Рафинат	1,4690	839,5	843,1
13	Легкий газойль каталитического крекинга	1,5420	934,0	937,0
14	Рафинат	1,5255	888,0	891,3

Как следует из данных таблицы 3, экстракционная очистка прямогонных фракций от сернистых соединений осложняется при утяжелении их фракционного состава, что обусловлено удлинением алкильных заместителей и увеличением числа насыщенных циклов в их молекулах, это приводит к повышению коэффициентов активности сераорганических компонентов в полярных растворителях. Эти факторы оказывают более значительное влияние на степень извлечения, чем появление в тяжелой дизельной фракции и вакуумном газойле гомологов дибензотиофена, легче экстрагирующихся по сравнению с другими сераорганическими компонентами.

Степень обессеривания газойля висбрекинга выше, чем близкокипящих тяжелой дизельной фракции и атмосферного газойля, что можно

объяснить частичной деструкцией алкильных заместителей даже при непродолжительном времени пребывания сырья процесса висбрекинга в печи и сокинг-камере – около 15 мин при 430 – 500˚С. Происходит частичная деструкция и насыщенных сераорганических соединений с невысокой энергией разрыва связи S – C с алифатическими атомами углерода, равной 213 – 222 кДж/моль в молекулах диалкилсульфидов и тиациклановов, не образующих π-комплексов с полярными растворителями и труднее экстрагирующихся, чем термически стабильные бензологи тиофена.

Таблица 2 – Характеристика образцов сырья и рафинатов одноступенчатой экстракции

Номер образца	Содержание серы, мас. %	Содержание азота, ppm	Содержание аренов, мас. %			Бромное число, г Br_2 / 100 г	Цетановый индекс
			моно-	ди-	три+-		
1	0,216	1,3	16,2	1,0	0,0	1,8	42,1
2	0,198	-	14,4	0,6	0,0	1,5	47,3
3	0,790	16	20,6	6,2	0,1	4,4	51,3
4	0,697	-	19,9	4,5	0,0	4,2	56,3
5	1,38	320	22,2	10,8	0,4	6,4	50,5
6	1,27	140	23,3	9,5	0,2	6,0	54,0
7	1,57	250	25,4	12,9	0,7	9,4	46,8
8	1,42	140	25,9	10,2	0,2	7,7	51,1
9	1,89	1700	46,3	14,0	1,4	9,1	42,6
10	1,76	660	25,5	5,7	0,3	9,7	47,1
11	2,00	470	24,0	8,0	0,1	35,9	48,0
12	1,72	83	23,5	6,9	0,0	34,6	50,2
13	2,1	880	21,4	39,0	10,7	12,3	31,1
14	1,62	295	22,6	35,4	4,1	9,4	41,4

С учетом выхода рафинатов и составов сырья и рафинатов рассчитана степень извлечения экстрагируемых компонентов (таблица 3).

Процессы деструкции алкильных заместителей, насыщенных циклов молекул тиациклановов усиливаются при многочасовом пребывании сырья в камерах замедленного коксования или в присутствии катализаторов. В газойлях коксования и каталитического крекинга остаются в основном метилпроизводные бензотиофена и дибензотиофена, которые легко экстрагируются селективными растворителями.

Ещё легче по сравнению с аренами и сераорганическими соединениями экстрагируются азотистые компоненты, так как преобладающие в газойлях производные индола и карбазола образуют с N-метилпирролидоном ещё и водородные связи.

Таблица 3 – Выход рафинатов и степень извлечения компонентов при экстракционной очистке образцов сырья

Номер образца	Выход рафината, мас. %	Степень извлечения, мас. %					
		Сернистых компонентов	Азотистых соединений	моно-аренов	ди-аренов	три+-аренов	олефинов
1	67,1	38,5	-	40,4	59,7	-	44,1
3	69,6	38,6	-	32,8	49,5	100	34,0
5	75,1	30,9	67,2	21,2	34,0	62,5	29,6
7	78,3	29,2	56,2	20,2	38,1	77,6	35,9
9	87,2	18,8	66,1	52,0	64,5	81,3	7,1
11	75,0	35,5	86,8	26,6	35,3	100	27,7
13	64,1	50,6	78,5	32,3	41,8	75,4	51,0

Таким образом, экстракционное обессеривание и деазотирование газойлей термических и термокаталитических процессов перспективно для производства судовых топлив, так как позволяет проводить их очистку при соотношениях к сырью в несколько раз меньших, чем прямогонных дистиллятов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gaile A.A., Kameshkov A.V., Klement'ev V.N., Vereshchagin A.V. Production of Marine Fuel Components by Extraction Treatment of Vacuum Gasoils and Gasoils from Secondary Oil Refining Processes (A Review) // Pet. Chem. – 2023. – Vol. 63. – № 3. – P. 489-509.

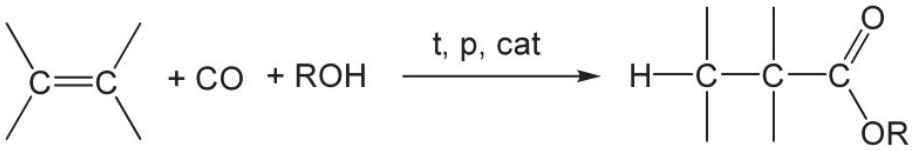
2. https://doi.org/10.1134/S0965544123040047

УДК 66.095.62+547.295+544.47

Севостьянова Н.Т., Баташев С.А.
(ФГБОУ Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого)

СОВМЕЩЕННЫЕ В ОДНОМ РЕАКТОРЕ ПРОЦЕССЫ ДЕГИДРАТАЦИИ СПИРТОВ И АЛКОКСИКАРБОНИЛИРОВАНИЯ ОБРАЗУЮЩИХСЯ АЛКЕНОВ В СИНТЕЗЕ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ

Алкоксикарбонилирование позволяет получать сложные эфиры из ненасыщенных соединений, CO и спиртов в одну стадию (реакция (1)).

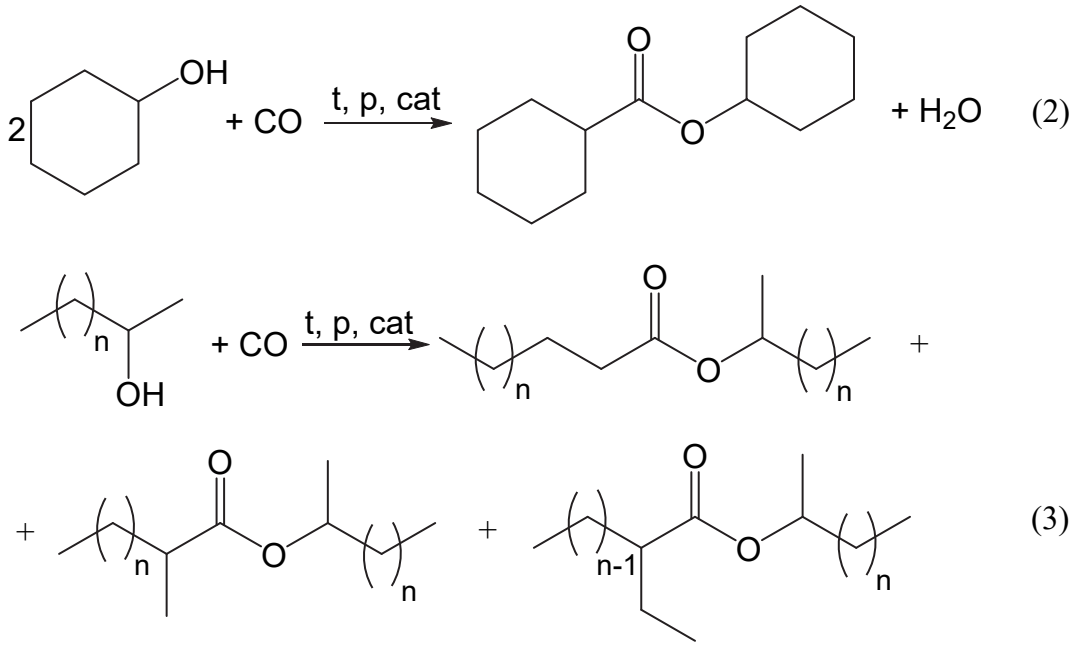


(1)

В присутствии гомогенных Pd-фосфиновых каталитических систем реакция протекает в мягких условиях. В отличие от традиционного способа получения сложных эфиров путем кислотнокаталитической этерификации карбоновых кислот спиртами алкоксикарбонилирование протекает необратимо. На сегодняшний день в промышленности реализуется процесс метоксикарбонилирования этилена как одна из стадий в синтезе метилметакрилата. В этом процессе используются наиболее доступные и простые реагенты, а продуктом является единственный сложный эфир – метилпропионат [1]. В то же время для синтеза более тяжелых сложных эфиров необходимы ненасыщенные соединения с большей молекулярной массой. В ряде случаев спирты являются более доступными соединениями по сравнению с алкенами с тем же числом атомов С. В этой связи карбонилирование спиртов в сложные эфиры является процессом, альтернативным алкоксикарбонилированию ненасыщенных соединений. Однако в традиционном карбонилировании спиртов используют гомогенные родиевые и иридиевые катализаторы с добавками иодидов, в присутствии которых процесс протекает в более жестких условиях по сравнению с алкоксикарбонилированием. Промежуточными продуктами при этом являются алкилиодиды и иодистые ангидриды, а побочными продуктами – углеводороды и простые эфиры [2]. Поскольку в Pd-катализируемом алкоксикарбонилировании ненасыщенных соединений побочными продуктами, как правило, являются лишь изомерные сложные эфиры, этот процесс представляется более предпочтительным по сравнению с традиционным карбонилированием спиртов. В этой связи нами разработаны синтезы сложных эфиров из вторичных спиртов и CO как совмещенные в одном реакторе процессы кислотнокаталитической дегидратации и алкоксикарбонилирования образующихся алкенов.

Катализаторами первой стадии выступали сильные протонные кислоты, являющиеся сокатализаторами Pd-фосфиновых каталитических систем на второй стадии. Следует отметить, что на сегодняшний день в литературе описаны примеры совмещения алкоксикарбонилирования с другими реакциями. Так, алкоксикарбонилирование-циклизация 2-аллилфенола была использована для получения лактона [3]. Путем одноreакторного алкоксикарбонилирования-полимеризации 10-ундеценола-1 был получен поли(додецилоат) [1]. Подобная организация процессов, основанная на совмещении в одном реакторе двух реакций, нацелена на использование дешевого и доступного сырья, не требует выделения

и очистки промежуточного продукта и является фактором снижения капитальных и энергозатрат при внедрении. Как следствие, разрабатываемые процессы характеризуются высоким уровнем экономичности, ресурсосбережения и экологической безопасности [4].



В модельном процессе на основе циклогексанола и CO (реакция (2)) нами были апробированы различные палладиевые предшественники, органофосфины и сильные протонные кислоты HA [5]. Установлено, что добавки солей NaA и KA оказывают положительный эффект на выход целевого сложного эфира – циклогексилциклогексанкарбоксилата. Зафиксировано образование циклогексена как промежуточного продукта совмещенного модельного процесса и циклогексанкарбоновой кислоты как побочного продукта. Наибольшую активность и устойчивость к образованию палладиевой черни проявили Pd(PPh3)2Cl2 и Pd(XANTPHOS)Cl2. Среди апробированных сильных протонных кислот и органофосфинов наибольшая активность с точки зрения выхода целевого продукта установлена для метансульфокислоты, трифторметансульфокислоты и п-толуолсульфокислоты с добавками их натриевых солей. Среди апробированных органофосфинов наибольшую промотирующую способность в совмещенном модельном процессе проявил дифосфин XANTPHOS. Установлены оптимальные условия достижения выходов циклогексилциклогексанкарбоксилата более 80%. Впервые процессы дегидратации вторичных линейных спиртов C6, C7 и C9 были совмещены в одном реакторе с изомеризационным алкоксикарбонилированием, катализируемым Pd-системами с промотором XANTPHOS.

Изомеризационное алкоксикарбонилирование интернальных алкенов включает две стадии – миграцию связи C=C в терминальное положение и последующее алкоксикарбонилирование [1]. Однореакторные процессы на основе вторичных линейных спиртов С6, С7 и С9 приводили к образованию изомерных сложных эфиров, среди которых 60–73% составляли сложные эфиры карбоновых кислот линейного строения как продукты терминального присоединения CO к алкенам. В близких условиях проведено сравнительное исследование активности циклопентанола, циклогексанола, гексанола-2, гептанола-2 и нонанола-2 в совмещенных синтезах соответствующих сложных эфиров. Обнаружено, что во всех случаях процесс протекает через промежуточное образование циклоалкенов и алкенов соответственно. Проведение совмещенного процесса в среде толуола приводит к существенному сокращению времени процесса и увеличению выходов целевых сложных эфиров по сравнению с процессом, осуществляемым без растворителя толуола. Впервые осуществлен совмещенный процесс синтеза нонилдеканоата из смеси нонанола-1, нонанола-2 и CO. Сделан вывод о более высокой (в 3 раза) активности в этом процессе первичного спирта по сравнению с вторичным спиртом как нуклеофильных агентов на стадии алкоксикарбонилирования [5]. Разработанные процессы с использованием вторичных спиртов и CO, основанные на принципе совмещения в одном реакторе двух реакций, представляются перспективными для синтеза сложных эфиров, в том числе линейных карбоновых кислот, с точки зрения ресурсосбережения, экологической безопасности и сокращения капитальных и энергозатрат на производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Севостьянова, Н.Т. Алкоксикарбонилирование ненасыщенных субстратов растительного происхождения с использованием палладиевых катализаторов как путь к получению сложноэфирных продуктов / Н.Т. Севостьянова, С.А. Баташев // Катализ в промышленности. – 2024. – Т. 23. – № 1. – С. 37-55.

2. Севостьянова, Н.Т. Катализаторы карбонилирования спиртов для получения карбоновых кислот и сложных эфиров (обзор) / Н.Т. Севостьянова, С.А. Баташев // Журнал прикладной химии. – 2022. – Т. 95. – № 8. – С. 947-970.

3. Amezquita-Valencia, M. PdI2-Catalyzed regioselective cyclocarbonylation of 2-allyl phenols to dihydrocoumarins / M. Amezquita-Valencia, H. Alper // Organic Letters. – 2014. – V. 16. – P. 5827-5829.

4. Севостьянова, Н.Т. Совмещенный процесс синтеза циклогексилциклогексан-карбоксилата из циклогексанола и CO, катализируемый

системой Pd(OAc)2–PPh3–п-толуолсульфокислота / Н.Т. Севостьянова, С.А. Баташев, А.С. Родионова // Тонкие химические технологии. – 2023. – Т. 18. – № 1. – С. 29-37.

5. Sevostyanova, N.T. One-pot esters synthesis from secondary alcohols and CO catalyzed by Pd-phosphine systems / N.T. Sevostyanova, S.A. Batashev, A.S. Rodionova, D.K. Kozlenko // Tetrahedron. – 2023. – V. 146. – 133653.

УДК 66.07

Жагфаров Ф.Г., Мищенко Е.С., Сигунова А.А.
(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ В РЕЦЕПТУРЕ МЕМБРАННОЙ КОМПОЗИЦИИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

Развитию топливно-энергетического комплекса способствует внедрение технологических процессов, отличающихся низкими показателями энергопотребления наряду с высокой эффективностью. В последние годы растет мировой интерес использования мембранной технологии для разделения газовых смесей. В настоящей работе предложена полимерная композиция для разделения углеводородных газов на основе полиуретанов. Рассмотрено применение цеолита ИК-17-1 в качестве наполнителя, улучшающего газоразделительные свойства мембраны. Проведены испытания полученной мембраны на примере модельной смеси, состоящей из углеводородных газов, при этом представлено обоснование выбора каждого из компонентов, входящих в состав мембраны. При увеличении содержания цеолита удалось повысить показатели селективности и проницаемости.

Мембранная технология широко развивается в последние годы в области разделения газовых смесей. Основными игроками на рынке газоразделительных мембран являются Air Products and Chemicals, Inc., Air Liquide Advanced Separations, UBE Corporation, Schlumberger Limited, FUJIFILM Manufacturing Europe B.V., Parker Hannifin Corp., Membrane Technology and Research, Inc., DIC Corporation, Honeywell International, Inc., Generon, Evonik Industries AG, Atlas Copco AB, АО «Грасис», Toray Industries, Inc. и GMT Membrantechnik GmbH.

На воздухоразделение приходится 60% мембранного рынка. За рубежом компаниями-производителями воздухоразделительных мембран являются Generon, Parker Hannifin Corp., Evonik Industries AG, UBE Corporation, Biogeneral, Inc. и Air Products and Chemicals, Inc. На территории Российской Федерации также успешно реализовано производство

воздухоразделительных мембранных модулей компанией АО «Грасис» на основе полиимидов и НПО «Гелиймаш» на основе полифенилоксида. В таблице 1 представлены основные воздухоразделительные мембраны.

Таблица1 – Основные воздухоразделительные мембраны

Компания-производитель	Наименование мембраны	Используемый полимер
Generon	Generon	Тетрабромполикарбонат
Parker Hannifin Corp.	Parker	Поли-2,6-диметилфениленоксид
Evonik Industries AG	SEPURAN	Полиимид P84
UBE Corporation	UPILEX	Полиимид BPDA-pp'ODA
Biogeneral, Inc.	Teflon™ AF 2400	Сополимер тетрафторэтилена и перфтордиоксола
Air Products and Chemicals, Inc.	PRIZM	Полисульфон
АО «Грасис»	Мембранные азотные генераторы	Полиимид
НПО «Гелиймаш»	Мембранные воздухоразделительные установки	Поли-2,6-диметилфениленоксид

В секторе газопереработки успешно реализованы мембраны для извлечения кислых компонентов и гелия из природного газа. Крупнейший завод мембранной газоподготовки природного газа в мире относится к месторождению Чакеравала (Малайзия). Мощность мембранного модуля на основе триацетата целлюлозы составляет 36.2 млн м3 в сутки, при этом удается снизить содержание CO2 с 30% до 8% [1]. В Российской Федерации также успешно реализованы мембранные модули АО «Грасис» на основе полиимидов и полиэфирэфиркетонов. Извлечение гелия из природного газа успешно реализовано на Чаяндинском месторождении, при этом мембранные модули изготовлены из полых волокон на основе полиимида и полиарамида [2].

Разделение водородсодержащих газов также успешно промышленно реализовано за счет мембранных материалов на основе полиимидов, полиарамидов и полисульфона. Первая в мире мембрана такого типа была изготовлена из поливинилтриметилсилана в ИНХС РАН, срок службы которой составил более 20 лет на АО «Невинномысский азот» [3].

Перспективными направлениями для расширения рынка мембранных технологий являются разделение олефинов и парафинов, выделение тяжелых компонентов, извлечение углекислого газа из сбросных газов, а также выделение азота из природного газа. Основной проблемой разделения газов предельного и непредельного состава является их высокая схожесть по физико-химическим параметрам, для успешной реализации такой технологии необходима проницаемость по олефинам более

0.1 нм^3/(м^2·ч·бар) и селективность по олефинам не менее 5. В реализации извлечения углекислого газа из его смеси с азотом необходимы плоскорамные модули с минимальным перепадом давления в каналах очищаемого газа (0.1 бар) и пермеата (0,05 бар). За рубежом эксплуатируются такие мембранные модули на основе полиамидов и полиэфиров, блок-сополимеров полиэтиленоксида и полибутилентерефталата, а также поливиниламина. На территории Российской Федерации разработкой таких мембранных модулей занимается ЗАО НТЦ «Владипор» совместно с ООО «МЕТАКС». Мембранная установка для выделения азота из природного газа успешно эксплуатируется в США, мембранный модуль выполнен на основе полисилоксана и представляет собой композиционную мембрану с селективным слоем [4].

Отрасль мембранного газоразделения растет и меняется. С учетом ужесточения требований к сжиганию попутного нефтяного газа, быстрорастущего спроса на сжиженные углеводородные газы и газомоторное топливо на их основе необходима разработка высокоселективных мембранных материалов для разделения углеводородных газов [5-6]. Существенному развитию мембранных технологий способствует получение новых полимерных материалов, изменяя компоненты мембранного материала можно добиться одновременного повышения селективности и проницаемости мембранного модуля. Правильный выбор полимера напрямую влияет на производительность мембранного модуля, его срок полезного использования, а также на показатели газоразделения при рассмотрении конкретных газовых смесей.

В настоящей работе для синтеза мембранной композиции выбран полиуретан. Схематично изображая полиуретановые материалы, можно отметить, что они состоят из мягких и жестких сегментов, что изображено на рисунке 1. Мягкий сегмент состоит из полиола, а жесткий сегмент включает диизоцианат и удлинитель цепи [7].

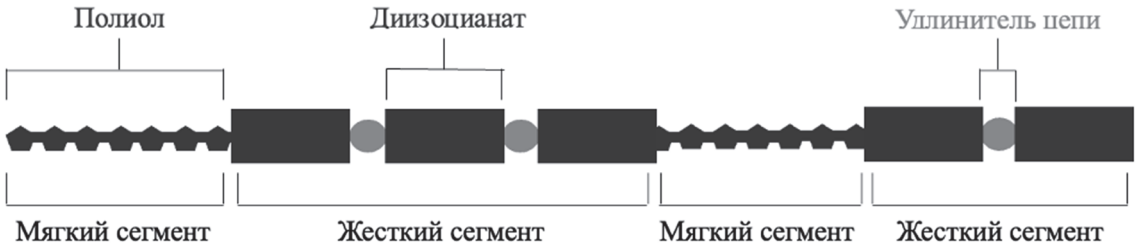


Рисунок 1 – Схематичное изображение структуры полиуретана

В качестве полиола в настоящей работе выбран полиэтиленгликоль, а в роли изоцианата для экспериментальных исследований свойств

мембранных материалов выступали гексаметилендиизоцианат и метилендифенилдиизоцианат. Для синтеза выбран диэтиленгликоль в качестве удлинителя цепи, наличие которого в структуре полиуретановой композиции приводит к большему разделению фаз ввиду более сильной водородной связи с жестким сегментом. В результате синтезированные полиуретановые композиции проявляют более высокие гистерезисные свойства. Для улучшения проницаемости и избирательности мембран возможно использование различных наполнителей [8], в качестве которого в данной работе выбран цеолит ИК-17-1 производства ПАО «Новосибирский завод химконцентратов» с соотношением SiO_2/Al_2O_3=36 с размером пор 0,5-0,6 нм.

Полиуретан синтезирован с помощью двухступенчатого процесса полимеризации в растворе. На первом этапе в четырехгорлой колбе, снабженной мешалкой, полиэтиленгликоль реагировал с гексаметилендиизоцианатом/метилендифенилдиизоцианатом в течение 2 часов при температуре 85-90°C в атмосфере N_2 с получением макродиизоцианатного форполимера в растворе N,N-диметилацетамида. Затем проводили удлинение цепи форполимера путем добавления удлинителя цепи диэтиленгликоля при комнатной температуре, при этом молярное соотношение компонентов в полимере было следующим: полиол/диизоцианат/удлинитель цепи = 1:3:2.

Для получения полиуретановых мембран 1 г синтезированного полимера растворяли в 9 г N,N-диметилформамида (10 мас.%) при непрерывном перемешивании при температуре 80°C. После охлаждения до комнатной температуры приготовленный раствор отливали в тефлоновую чашку Петри. Мембраны получали выпариванием растворителя в печи в течение 24 ч при температуре 60°C.

Мембраны, содержащие в своей структуре цеолит, были приготовлены аналогичным образом, за исключением того, что в раствор полимера добавляли частицы цеолита, которые были диспергированы в N,N-диметилформамиде. Стакан, содержащий смесь цеолита и N,N-диметилформамида, погружали в емкость со льдом, а затем подвергали ультразвуковой обработке в течение 15 мин для разрушения кристаллических агрегатов с получением гомогенизированной смеси. Раствор N,N-диметилформамида с цеолитом и раствор полимера перемешивали при температуре 60°C в течение 2,5 часов.

Исследования мембранных композиций на селективность и проницаемость проводились на установке, представленной на рисунке 2. Данная экспериментальная установка предусматривает вакуумную откачку под мембраной. Модельная смесь углеводородных газов заданного состава готовилась в соответствии с ГОСТ 8.578-2014 [9] путем смешения

метана, этана и пропана в генераторе смесей 1. Смесь направлялась на разделение в мембранный блок 2, откуда выходили пермеат и ретентат, давления которых измерялись с помощью манометров 7 и 3 соответственно. Посредством клапанов 5 и 8 предусмотрен отвод смесей газов на анализ в газовый хроматограф Хроматэк-Кристалл 5000.

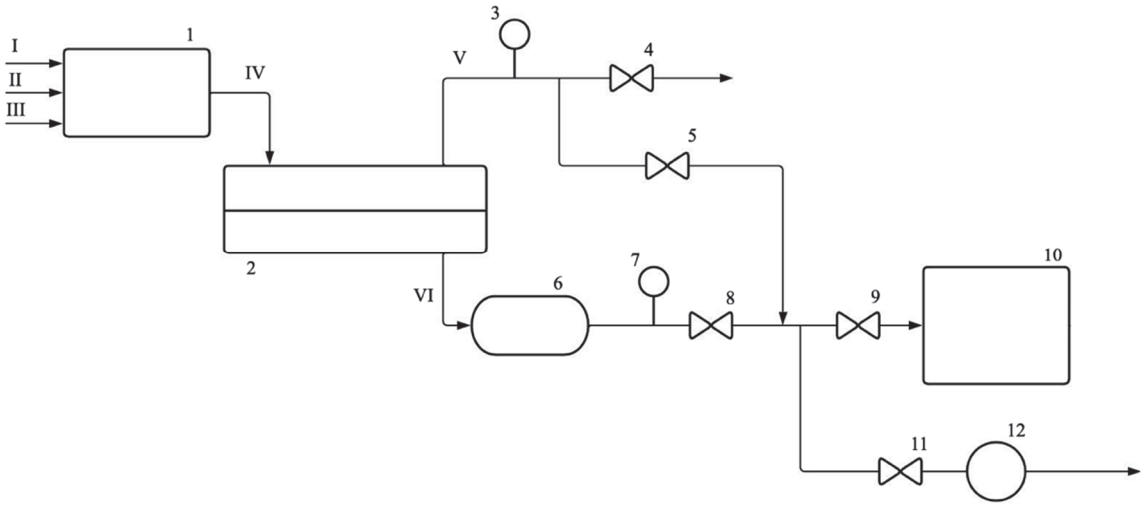


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки
1 – генератор смесей; 2 – мембранный блок; 3, 7 – манометр;
4, 5, 8, 9, 11 – клапан; 6 – буферная емкость;
10 – газовый хроматограф; 12 – компрессор
Потоки: I – метан; II – этан; III – пропан; IV – модельная смесь;
V – ретентат; VI – пермеат

Коэффициент проницаемости газа через мембрану рассчитывался согласно формуле (1).

$$P = \frac{q \cdot c \cdot l}{A \cdot \Delta p}, \quad (1)$$

где P – коэффициент проницаемости газа, баррер; q – объемная скорость, м^3/с; c – мольная доля компонента; l – толщина мембраны, м; A – рабочая площадь мембраны, м^3; Δp – разность давлений модельной смеси и пермеата, Па.

Идеальная селективность для пары газов рассчитывалась по формуле (2).

$$\alpha_{A/B} = \frac{P_A}{P_B}, \quad (2)$$

где P_A и P_B – проницаемость компонентов А и В соответственно, баррер.

Испытанию подвергались мембраны с использованием в качестве основы гексаметилендиизоцианата и метилендифенилдиизоцианата. Каждый эксперимент с исследованием проницаемости повторяли три раза на двух образцах каждой мембраны. Данные, представленные в таблицах 2 и 3, усреднены по трем повторным экспериментам.

Таблица 2 – Экспериментальные данные исследования проницаемости мембранной композиции на основе метилендифенилдиизоцианата

Содержание цеолита, % масс.	Коэффициент проницаемости, баррер			Идеальная селективность	
	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_2H_6/CH_4	C_3H_8/CH_4
0	24,1	43,2	74,2	1,79	3,08
5	31,8	59,9	99,4	1,88	3,12
10	32,4	65,1	103,2	2,01	3,18

Таблица 3 – Экспериментальные данные исследования проницаемости мембранной композиции на основе гексаметилендиизоцианата

Содержание цеолита, % масс.	Коэффициент проницаемости, баррер			Идеальная селективность	
	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_2H_6/CH_4	C_3H_8/CH_4
0	25,3	46,2	78,6	1,83	3,11
5	32,2	61,1	102,1	1,90	3,17
10	33,1	67,8	110,1	2,05	3,33
15	34,3	71,3	117,2	2,08	3,42
20	35,4	74,3	136,3	2,10	3,85

Экспериментальные данные показывают увеличение проницаемости углеводородных газов с увеличением содержания цеолита ИК-17-1 в мембране, что может быть охарактеризовано сравнительной характеристикой размеров пор цеолита и молекулярным размером углеводородных газов. Увеличение содержания цеолита более 20% мас. не целесообразно ввиду ухудшения прочностных свойств, что в свою очередь снижает период эксплуатации мембранного модуля. Размеры пор цеолита превышают молекулярные размеры метана и этана, а также сравнимы с молекулярным размером пропана, таким образом, присутствие цеолитных частиц в полимере приводит к увеличению проницаемости всех углеводородных газов. Больший молекулярный размер пропана по сравнению с этаном и метаном и его более высокая проницаемость указывают на преобладание механизма растворения при проникновении газа в исследуемых мембранах [10]. Благодаря наличию простой эфирной связи полимеры обладают высокой молекулярной подвижностью в мягком сегменте, что обеспечивает подходящее место для поглощения конденсирующихся молекул, что в свою очередь повышает проницаемость мембраны.

С фундаментальной точки зрения разработка новых полимерных материалов является одним из ключевых направлений исследований в области мембранных технологий газоразделения. Морфологическая система играет важную роль в предопределении свойств полиуретановых композиций, таким образом, становится возможной разработка полимеров с одновременным увеличением показателей проницаемости и селективности путем правильного выбора сырья [11-12].

В настоящей работе разработана не только рецептура полиуретановых композиций, но и предложено использование цеолита ИК-17-1 в качестве наполнителя. Присутствие частиц цеолита наряду с усиленной диффузией и растворением конденсирующихся газов способствуют повышению эффективности разделения углеводородов. Ввиду большего размера пор цеолита по сравнению с молекулярным размером пропана, увеличение содержания цеолита способствует повышению диффузии углеводородного газа, а также увеличению растворения из-за более высокой способности пропана к конденсации.

Подход, используемый в данном исследовании, представляет собой отправную точку для будущих разработок высокоэффективных мембран.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tengku Hassan T.N.A, Shariff A.M., Mohd Pauzi M.M., Khidzir M.S., Surmi A. Insights on Cryogenic Distillation Technology for Simultaneous CO2 and H2S Removal for Sour Gas Fields // Molecules. – 2022. – №27(4). – 1424 p.

2. Вагарин В. А., Павленко В. В., Кисленко Н. Н., Емельянов П. Е. Промышленная установка мембранного выделения гелия на Чаяндинском НГКМ – уникальный проект ООО "Газпром проектирование" // Наука и техника в газовой промышленности. – 2020. – № 4(84). – С. 16-26.

3. Сырцова Д. А., Зиновьев А. В., Пискарев М. С., Скрылева Е. А., Гатин А. К., Гильман А. Б., Гайдар А. И., Кузнецов А. А., Тепляков В. В. Воздействие низкотемпературной плазмы на структуру поверхностных слоев и газоразделительные свойства мембран из поливинилтриметилсилана // Мембраны и мембранные технологии. – 2023. – Т. 13, № 2. – С. 117-127.

4. Жагфаров Ф. Г., Карпов А. Б., Козлов А. М., Кондратенко А. Д. Перспективы конкуренции LNG и GTL-топлив // Инновационные подходы к развитию образовательно-производственного кластера в нефтегазовой отрасли : Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Ташкент, 30 апреля 2022 года. Том 1. – Ташкент: Без издательства, 2022. – С. 148-149.

5. Al-Rubaye A., Jasim D., Aljassam S., Jasim H., Ameen H. M., Ameen M., Khoshnaw F. Associated Petroleum Gas: Environmental, Utilization, and

Economic Rationale // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2023. – №1262. – 22026 p.

6. Сигунова А. А., Мищенко Е. С. Мембранные технологии в газопереработке: опыт и преемственность // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2023. – № 10(142). – С. 108-112.

7. Rezakazemi M., Sadrzadeh M., Matsuura T. Thermally stable polymers for advanced high-performance gas separation membranes // Prog. Energy Combust. Sci. – 2018. – Vol. 66. P. 1–41.

8. Nobandegani M. S., L. Yu, J. Hedlund. Zeolite Membrane Process for Industrial CO2/CH4 Separation // Chemical Engineering Journal. – 2022. – №446. – 137223 p.

9. ГОСТ 8.578-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых средах» - М.: Стандартинформ. – 2014. – 20 с.

10. Baker R. Membrane Technology and Applications. – 2023. – 994 p.

11. Lasseuguette E., Comesana G. Polymer Membranes for Gas Separation // Membranes. – 2022. – Vol.12. – № 2. – 186 P.

12. Сигунова А. А., Мищенко Е. С. Оценка эффективности применения мембран для разделения углеводородных газов // Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность : Тезисы докладов. XI Молодежная международная научно-практическая конференция, Москва, 17–21 апреля 2023 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий - Газпром ВНИИГАЗ", 2023. – С. 85.

УДК 628.16.094.3

Францкевич В.С., Юсевич А.И.
(Белорусский государственных технологический университет)
Сударев А.И.
(ООО «Газоочистка инжиниринг»)

ОЧИСТКА ВОДНОГО АБСОРБЕНТА ОТ РАСТВОРЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ МЕТОДОМ ЖИДКОФАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ

Пероксид водорода (H_2O_2) является сильным окислителем, поэтому его часто используют для очистки различных сточных вод. Основное его преимущество перед хлором заключается в том, что он является «экологически чистым» окислителем, так как после его применения не происходит

вторичного загрязнения воды [0, 0]. Его можно использовать в широком диапазоне значений pH и температуры. Пероксид водорода можно применять для окисления широкого спектра загрязнителей сточных вод. Кроме того, пероксид водорода хорошо растворяется в воде и хорошо хранится, так как коммерческие растворы этого окислителя стабильны.

Пероксид водорода хорошо зарекомендовал себя для очистки сточных вод от таких загрязнений, как соединения серы (сероводород и сульфиды, тиосульфаты, сульфиты). Известно, что H_2O_2 может быть использован для превращения токсичных цианистых соединений в аммиак и диоксид углерода, нитритов в нитраты [0]. Кроме того, H_2O_2 может применяться для обезвреживания сточных вод от различных органических загрязнений, таких как формальдегид, гидрохинон, фенол и др. [0, 0].

В последние десятилетия в качестве дополнительных способов для устранения стойких загрязнений, например, фармацевтических препаратов, стали широко применяться усовершенствованные процессы окисления (AOPs – Advanced Oxidation Processes) [0–0]. Главной особенностью таких методов является то, что они основаны на двух последовательных стадиях: генерировании активных частиц и их взаимодействии с загрязняющими веществами, растворенными в воде. По сравнению с традиционными методами очистки воды от органических соединений AOPs в большинстве случаев потребляют меньше энергии. Тем не менее считается, что AOPs надлежащим образом возможно использовать только при значениях ХПК $\leq$ 10000 мг О/л (так как потребуется большое количество дорогостоящих реактивов или энергии), при 10000 < ХПК $\leq$ 150000 необходимо уже применять жидкофазное окисление, при 150000 <ХПК $\leq$500000 – высокотемпературное окисление; при ХПК > 500000 мг О/л – сжигание.

Согласно многочисленным исследованиям эффективными являются процессы окисления органических соединений пероксидом водорода в присутствии ионов металлов переменной валентности (Fe^{2+}, Cu^{2+}, Mn^{2+}, Co^{2+}, Cr^{2+}, Ag^{+}). Наиболее эффективными являются процессы окисления, основанные на использовании системы Фентона (H_2O_2/Fe^{2+}).

В настоящее время исследования процессов окисления сточных вод с использованием реагента Фентона имеют отрывочный характер и направлены в основном на изучение окисления органических загрязнителей с низкой концентрацией в воде. Целью данной работы являлось выяснение эффективности процесса Фентона применительно к очистке технологических вод с высоким содержанием органических загрязнителей разной природы, в частности углеводородов и их функциональных производных, содержащих гетероатомы.

Объектом исследования являлся насыщенный оборотный абсорбент абсорбционно-биохимической установки очистки вентвыбросов

производства кровельных битумных материалов, который представлял собой стабильную водную суспензию серого цвета с резким запахом «жженого битума». Суспензию не удалось разделить фильтрованием, т.к. частицы дисперсной фазы проходили через бумажный фильтр «синяя лента», но забивали капроновую мембрану с размером пор 0,2 мкм. Перед проведением окислительной обработки насыщенный абсорбент разбавляли дистиллированной водой в массовом соотношении 1 : 1 и получали таким образом *рабочий раствор*.

Для окислительной обработки рабочего раствора реагентом Фентона использовали пероксид водорода марки «мед» (35 %-ный водный раствор, плотность 1133 кг/м^3,) и железо(II) сернокислое семиводное ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) квалификации «хч». Окислительную обработку проводили при температуре 20–25 °С. В коническую колбу на 500 мл помещали 200 мл рабочего раствора и доводили его pH до заданного уровня 10 %-ной серной кислотой. Затем к рабочему раствору при перемешивании добавляли последовательно пероксид водорода и железо сернокислое. Объем вводимого пероксида водорода составлял от 8,0 до 83,2 мл в расчете на 1 л рабочего раствора. Мольное соотношение $[H_2O_2] : [Fe^{2+}]$ варьировали в диапазоне от 6,7 : 1 до 20 : 1. Заданное количество реагентов вводили однократно либо равными частями с интервалами в 10 мин.

После добавления всего количества реагентов перемешивание продолжали в течение 1 ч. В ходе реакции наблюдалось выделение пузырьков газа в объеме раствора, а также происходила коагуляция частиц суспензии с образованием хлопьевидного осадка и пены. По прошествии 1 ч реакционную смесь фильтровали на воронке Бюхнера с бумажным фильтром «синяя лента». Определяли ХПК фильтрата. Осадок на фильтре сушили до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105 °С. Из сухого осадка экстрагировали органические вещества хлороформом и анализировали их методом газовой хроматографии. Элементный состав освобожденного от органических примесей осадка изучали методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на волновом спектрометре Axios (PANalytical).

При окислении рабочего раствора реагентом Фентона варьировали начальное значение pH среды, а также количество пероксида водорода и железа сернокислого, которые вводили одной либо несколькими порциями.

Дозировку пероксида водорода в начальном эксперименте взяли эквивалентной начальному ХПК рабочего раствора – 0,965 моль-экв./дм^3. По рекомендации [9] сульфата железа использовали в 10 раз меньше – 0,096 моль-экв./дм^3. Рабочий раствор предварительно подкислили до pH = 2,1. После окислительной обработки ХПК раствора снизилось в

1,67 раза, при этом из него выпал осадок, который легко отфильтровался на бумажном фильтре. И фильтрат, и осадок были окрашены в оранжевый цвет, что свидетельствует о высоком содержании ионов железа (III) в них. Потеря седиментационной устойчивости изначально стабильной суспензией объясняется тем, что в процессе Фентона ионы железа (II) окисляются до ионов железа (III), которые с водой дают труднорастворимый гидроксид железа (III), являющийся эффективным коагулянтом и соосаждающийся вместе с частицами дисперсной фазы рабочего раствора. При этом ХПК фильтрата оказался в 4 раза ниже, чем ХПК реакционной смеси до фильтрования, что позволило заключить, что значительная часть окисляемых органических примесей адсорбируется на частицах дисперсной фазы и осаждается вместе с ними. Косвенным подтверждением этого предположения является то факт, что осадок сохранил резкий запах «жженого битума», присущий исходному насыщенному абсорбенту, в то время как интенсивность запаха фильтрата значительно снизилась, и он приобрел приятный кисловато-сладкий оттенок.

Дальнейшие исследования были направлены на оптимизацию количества используемых реагентов. Так, в одном из опытов снижение дозировки пероксида водорода и сульфата железа в 2 раза при сохранении мольного соотношения $[H_2O_2] : [Fe^{2+}] = 10 : 1$. Привело к увеличению ХПК фильтрата в 6,4 раза, что говорит о недостатке реагентов.

Таким образом, изменяя количество пероксида водорода и дозировку сульфата железа было получено оптимальное соотношение реагентов для достижения требуемой ХПК.

Одновременно проводился анализ состава органических примесей в абсорбенте. Выход экстракта органических веществ при их экстракции из насыщенного абсорбента хлороформом составил 0,37 мас. %. Методом газовой хроматографии в экстракте были идентифицированы парафиновые углеводороды состава C_{10}–C_{30} по совпадению времен удерживания с хроматограммой стандартной смеси нормальных парафинов ASTM D 2887

ИК-Спектр экстракта типичен для минеральных масел, что говорит о преимущественно углеводородной природе органических примесей в абсорбенте (рис. 1). Однако помимо углеводородов присутствуют и продукты их окисления – карбоновые кислоты, на что указывает полоса при 1700 $см^{-1}$ в спектре.

Методом хроматомасс-спектрометрии было подтверждено наличие в экстракте парафиновых углеводородов. Кроме того, были идентифицированы производные нафталина, олефиновые углеводороды, а также ряд серо-, азот- и кислородсодержащих органических соединений, например, бензотиофен, бензотиазол и 2,6-дитретбутил-4-метилфенол (ионол).

Последний является распространенным антиоксидантом, использующимся в составе многих полимерных материалов. К сожалению, достоверность идентификации значительного числа соединений по совпадению масс-спектров с библиотечными данными оказалась невысока (ниже 80 %) по причине большого количества компонентов в смеси и их широкого молекулярно-массового распределения, из-за чего было невозможно их полностью разделить на хроматограмме.

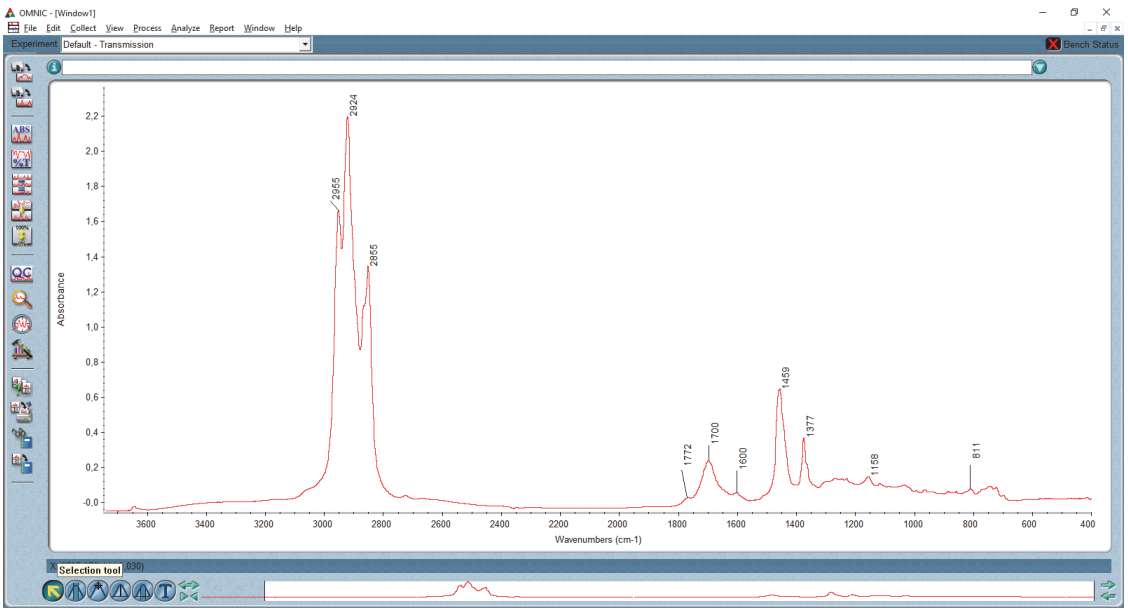


Рисунок 1 – ИК-спектр экстракта органических веществ из насыщенного абсорбента

Были также выделены органические вещества из осадка, отфильтрованного от реакционной смеси после обработки рабочего раствора реагентом Фентона, путем экстракции их хлороформом. Хроматограмма экстракта осадка представляет собой по сути фрагмент хроматограммы экстракта исходного абсорбента, но без углеводородов ниже C_{14}. По-видимому, низкокипящие углеводороды улетучились в процессе сушки осадка при температуре 105 °С. Таким образом, большая часть органических примесей удаляется из абсорбента не в результате их окисления, а в результате осаждения под действием реагента Фентона. Элементный состав осадка после экстракции органических примесей анализировали методом рентгенофлуоресцентной. Как видно из представленного спектра, основным химическим элементом осадка является железо, что подтверждает его важную роль в осаждении органических загрязнителей из водного абсорбента установки абсорбционно-биохимической очистки.

Насыщенный оборотный абсорбент абсорбционно-биохимической установки очистки вентвыбросов производства битумных кровельных

материалов содержит в качестве органических загрязнителей углеводороды C_{10}–C_{30}, представленные нормальными и изомерными алканами, алкенами и алкилнафталинами, продукты окисления углеводородов – фенолы и карбоновые кислоты, а также серо- и азотсодержащие соединения типа бензотиофена и бензотиазола.

Окислительная обработка насыщенного оборотного абсорбента реагентом Фентона позволяет снизить его ХПК в 22 раза и убрать резкий неприятный запах. При этом реагент Фентона оказывает комплексное действие: во-первых, окисляет часть органических загрязнителей до CO_2 и H_2O, во-вторых, способствует коагуляции и осаждению частиц дисперсной фазы абсорбента, с которыми осаждается большинство органических загрязнителей.

Оптимальной начальной реакцией среды, при которой наиболее сильно проявляются коагулирующие свойства реагента Фентона, но сохраняется его окислительная активность, является pH = 6,3. При этом в конце процесса Фентона pH снижается до 2,1 из-за того, что в системе образуется сульфатный буферный раствор. Это необходимо учитывать при выборе конструкционных материалов для оборудования очистной установки.

Определены оптимальные дозировки реагентов при очистке рабочего раствора. Уменьшение дозировок приводит к снижению степени очистки, увеличение дозировок не повышает степень очистки абсорбента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шамб У., Сеттерфилд Ч., Вендворс С. Перекись водорода. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1958. – 578 с.

2. Ягафарова Г.Г., Аминова А.Ф., Сухарева И.А., Хангильдина А.Р., Хангильдин Р.И. Разработка метода очистки сточных вод от трудноокисляемых органических соединений // Вода: химия и экология. – 2016. – № 1 (91). – С. 24–29.

3. Шевченко А.М. Окислители в технологии водообработки. – Киев: Наук. Думка, 1979. – 176 с.

4. Левченко Т.М., Гора Л.Н. Каталитическая очистка сточных вод от фенола и формальдегида // Хим. технология. Науч.-произв. сб. – 1971. – № 256. – С. 42–44.

5. Метелица Д.И. Механизмы гидроксилирования ароматических соединений // Успехи химии. – 1971. – Т. 40, вып. 7. – С. 1175–1210.

6. Kaniou S., Pitarakis K., Barlagianni I., Poulios I. Photocatalytic oxidation of sulfamethazine // Chemosphere. – 2005. – Vol. 60. – P. 372–380.

7. Reyes C., Fernandez J., Freer J., Mondaca M. A., Zaror C., Malato S., Mansilla H. D. Degradation and inactivation of tetracycline by TiO_2 photocatalysis // J. of Photochemistry and Photobiology. – 2006. – Vol. 184. – P. 141–146.

8. Lopez-Penalver J. J., Sanchez-Polo M., Gomez-Pacheco C. V., Rivera-Utrilla J. Photodegradation of tetracyclines in aqueous solution by using UV and UV/H_2O_2 oxidation processes // J. of Chemical Technology and Biotechnology. – 2010. – Vol. 85, № 10. – P. 1325–1333.

9. Chen I., Ma J., Li X., Zhang J., Fang J., Guan Y., Xie P. Strong enhancement on Fenton oxidation by addition of hydroxylamine to accelerate the ferric and ferrous iron cycles // Environmental Science and Technology. – 2011. – Vol. 45. – P. 3925–3930.

УДК 665.775.4

Дуброва М.В., Шрубок А.О.
(Белорусский государственный технологический университет)

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА СВОЙСТВА ДОРОЖНОГО БИТУМА

В условиях ограниченности ресурсов углеводородного сырья и возрастающих экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды, в мировом сообществе формируются тенденции рационального использования имеющихся ресурсов, увеличения доли возобновляемого сырья, снижения количества неиспользуемых отходов производства и потребления. Все это обусловливает и направления современных научных исследований в области совершенствования технологии получения дорожных битумов, которые направлены на поиск путей вовлечения в производство дорожных покрытий восстановленных отработанных асфальтобетонных смесей, полимерных и нефтесодержащих отходов, обеспечивающих улучшение качества вяжущих.

Альтернативным источником углеводородного сырья является биомасса – возобновляемый и доступный ресурс. В ряде работ [1, 2] показано, что использование биомасел в качестве компонентов асфальтобетонных смесей оказывает положительный эффект на их характеристики: увеличивается термоокислительная стабильность, улучшаются адгезионные и пластичные свойства. Установлено [3], что в качестве пластифицирующего агента для нефтяных битумов могут использоваться такие растительные масла как оливковое, подсолнечное, талловое и т.п., введение которых в битум снижает температуру хрупкости, улучшает сцепление битума с минеральным наполнителем и увеличивает гидрофобность асфальтобетонной смеси. По своему составу растительные масла могут значительно отличаться, однако практически во всех маслах содержится олеиновая кислота [4]. Это наиболее распространенная в природе ненасыщенная жирная кислота, которая хорошо растворима

в органических растворителях (этиловый спирт, бензол), но не растворима в воде. Поскольку олеиновая кислота является ненасыщенной, она должна обладать хорошими адсорбционными, бактерицидными и ингибирующими свойствами, а ее введение в битум позволит улучшить адгезию вяжущего, повысить его бактерицидную стойкость и снизить температуру хрупкости.

В связи с вышеизложенным, цель данного исследования заключалась в установлении влияния добавок олеиновой кислоты на эксплуатационные характеристики нефтяных битумов.

Введение жидкой олеиновой кислоты в нефтяной битум будет влиять в первую очередь на его пластичные свойства, оценку которых осуществляли по таким показателям, как температура размягчения и пенетрация битумов. На рисунке представлена зависимость пенетрации при 25 °С и температуры размягчения от концентрации олеиновой кислоты в вяжущем.

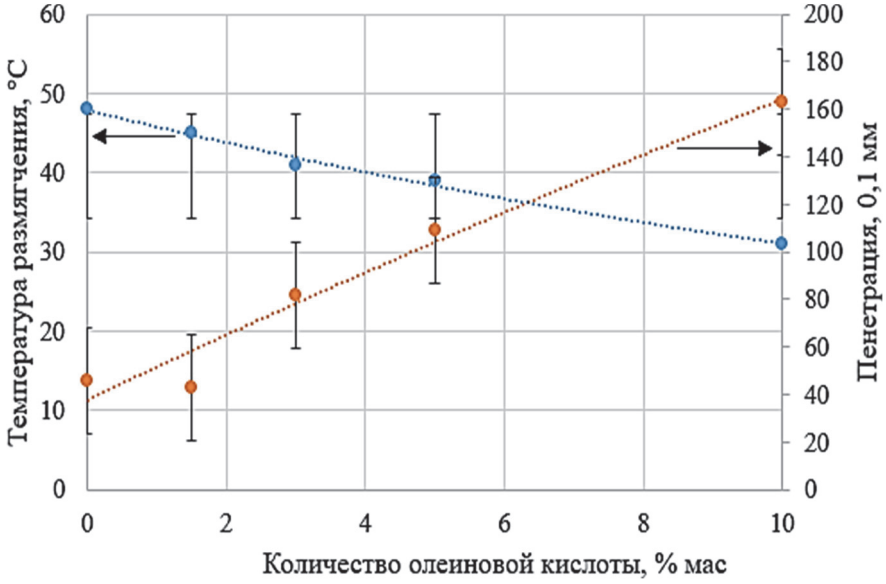


Рисунок – Зависимость температуры размягчения и пенетрации битума от количества введенной олеиновой кислоты

Установлено, что при увеличении концентрации олеиновой кислоты в битуме наблюдается снижение температуры размягчения вяжущего и увеличение пенетрации при 25 °С, т.е. добавка олеиновой кислоты оказывает пластифицирующее действие на битум. При содержании олеиновой кислоты в битуме в количестве 10 % мас. температура размягчения вяжущего снижается в 1,5 раза, а пенетрация увеличивается в 3,5 раза по сравнению с исходным битумом.

Были исследованы низкотемпературные и эксплуатационные характеристики битумов, содержащих олеиновую кислоту в качестве добавки, результаты исследований представлены в таблице.

Согласно экспериментальным данным, введение олеиновой кислоты в битум позволяет получать вяжущее с улучшенными эксплуатационными и низкотемпературными характеристиками. При содержании олеиновой кислоты в битуме в количестве 10 % мас. наблюдается снижение температуры хрупкости до –30 °С и возрастание пенетрации при 0 °С.

Таблица – Характеристика битумных вяжущих

Показатель	Содержание олеиновой кислоты, % мас.				
	0	1,5	3,0	5,0	10,0
Температура размягчения, °С	47	45	41	39	31
Пенетрация при 0 °С, 0,1 мм	31	37	48	78	101
Температура хрупкости, °С	–16	–15	–16	–24	–30
Адгезия, балл	2	1	1	1	1
Дуктильность при 0 °С, см	17	45	более 50		

Таким образом, олеиновая кислота может использоваться в качестве пластифицирующего агента для битумных вяжущих, который обеспечивает улучшение низкотемпературных характеристик и повышение сцепления битума с минеральным наполнителем.

Работа выполнена в рамках государственного задания 6.6 «Разработка научно обоснованных технологических приемов регулирования структурно-механических свойств и стабильности битумных вяжущих для дорожного и коммунального строительства» ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма 8.6 «Строительные материалы, конструкции, технологии» (2021–2025 гг.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Zahoor M., Nizamuddin S., Madapusi S., Giustozzi F. Sustainable asphalt rejuvenation using waste cooking oil: A comprehensive review // Journal of Cleaner Production. – 2021. – V.278. – P. 123304.

2. Azahar W.N.A.W., Jaya R.P., Hainin M.R., Bujang M., Ngadi N. Chemical modification of waste cooking oil to improve the physical and rheological properties of asphalt binder // Construction and Building materials. – 2016. – V.126. – P. 218–226.

3. Behnood A. Application of rejuvenators to improve the rheological and mechanical properties of asphalt binders and mixtures: A review // Journal of Cleaner Production. – 2019. – V.231. – P. 171–182.

4. Chen C., Lu J., Ma T., Zhang Y., Gu L., Chen X. Applications of vegetable oils and their derivatives as Bio-Additives for use in asphalt binders: A review // Construction and Building Materials. – 2023. – V.383. – 131312.

УДК 641.642

Янян Юй
(Чжэцзянская нефтехимическая компания
с ограниченной ответственностью)
Невзорова А.Б.
(Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВКИ ГИДРОКРЕКИНГА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА МОЩНОСТЬЮ 3,5 МЛН ТОНН/ГОД

В данной работе представлена оптимизация конструкции энергосберегающих аспектов новой установки гидрокрекинга дизельного топлива мощностью 3,5 млн. тонн/год нефтехимического предприятия и практический эффект применения установки после запуска установки, а также произведена энергосберегающая оптимизация при проектировании основных энергоресурсов установки, таких как электроэнергия, топливный газ и вода, что эффективно снижает энергопотребление, расход топливного газа и расход опреснительной воды установки, тем самым снижая энергопотребление всей установки. Он подтверждается фактическим эффектом применения после начала строительства, и в то же время, в соответствии с характеристиками устройства, предлагается последующая схема оптимизации энергосберегающего преобразования устройства.

Введение. Установка гидрокрекинга дизельного топлива производительностью 3,5 миллиона тонн в год компании по переработке и химической интеграции была спроектирована компанией Sinopec Luoyang Engineering Co., Ltd. На установке используется технология двухступенчатого гидрокрекинга дизельного топлива полного цикла с неподвижным слоем, разработанная компанией UOP. UOP предлагает полный спектр катализаторов гидрокрекинга, которые выполняют такие функции, как деметаллизация, гидрорафинирование, гидрокрекинг и т.д. В качестве сырья завод использует прямогонное дизельное топливо, каталитическое дизельное топливо, дизельное топливо и нафту установки крекинга шламовых остатков, а в основном производит тяжелую нафту, которая является сырьем установки каталитического риформинга, и легкую нафту в качестве побочного продукта. В то же время установка оснащена деталями для извлечения легких углеводородов и переработки продукта, а сырая нафта, кислый газ и газ низкой фракции этой установки и установки гидрокрекинга парафинного масла, кислый газ и газ низкой фракции установки гидроочистки парафинного масла, кислый газ и газ низкой фракции установки гидроочистки дизельного топлива и кислый газ

установки гидрогенизации нафты извлекаются и очищаются для получения очищенного сжиженного газа и сухого газа десульфурации и низкофракционного газа десульфурации.

Устройство состоит из реакционной части (включая двухступенчатую реакционную часть, циркулирующую десульфуризацию водорода и циркуляционный водородный компрессор), новую водородную компрессорную часть, часть фракционирования, часть восстановления легких углеводородов и часть переработки продукта.

Цель работы – провести в зависимости от характера исходного масла и требований к качеству конечного продукта, на установке используется двухступенчатая технология полного цикла гидрокрекинга дизельного топлива UOP. Реакционная часть снабжена реактором гидрирования первой ступени и реактором гидрирования второй ступени. В реакторе первой ступени свежее сырье подвергается гидроочистке и гидрокрекингу, а неконвертированное дизельное топливо на дне фракционирующей колонны поступает в реактор второй ступени для дальнейшей реакции гидрокрекинга. Тепловой процесс с высоким разрешением используется для улучшения коэффициента использования тепловой энергии реакционных стоков и снижения энергопотребления. Две стадии реакции используют общий набор средств с высоким разрешением, что позволяет экономить землю и эксплуатационные расходы; Создание циркуляционных установок сероочистки водорода для снижения рабочего давления реакционной системы и замедления коррозии оборудования.

В соответствии с особенностями технологического процесса устройства была предложена схема энергосбережения, такая как добавление мощности восстановления гидравлической турбины к питательному насосу устройства, а также замена моторного привода некоторых крупных насосов на паротурбинный привод. За счет использования высокоэффективного композитного воздухоохладителя для экономии воды и электроэнергии, добавления центрифуги соглашения о программе экономии воды воздухоохладителя, нагревательной печи для добавления программы утилизации отработанного тепла топливного газа и т. Д.

Результаты.

1. Благодаря использованию гидравлической турбины питательного насоса первой и второй ступеней и использованию паровой турбины ребойлерного насоса в нижней части фракционационной колонны, потребление электроэнергии эффективно снижается, а годовая экономия электроэнергии показана в таблице 1 в соответствии с формулой расчета мощности восстановления гидравлической турбины, в соответствии с годовой работой насоса в течение 8000 часов и работой устройства при полной нагрузке.

Таблица 2 – Потребляемая мощность и состояние энергосбережения устройства

Название насоса	Номинальная мощность KW	Продолжительность работы/год h	Экономьте электроэнергию в год 104Kw·h
Секция питательных насосов	3185	8000	850
Двухступенчатый питательный насос	2040	8000	540
Ребойлерный насос в нижней части фракционирующей колонны	507	8000	135

Когда вышеупомянутые три гидравлические турбины и паровые турбины введены в эксплуатацию, когда устройство работает в номинальных условиях, оно может сэкономить около 15,25 млн кВт·ч электроэнергии в год, а при цене 0,6 юаня за кВт·ч может сэкономить более 9 млн юаней в год.

2. Применение острова с воздушным охлаждением в конденсационной паровой турбине позволяет избежать применения циркуляционной охлаждающей воды за счет охлаждения пара на выходе из паровой турбины с помощью воздушного охлаждения. При этом около 42 тонн конденсата в час стабильно выводится из устройства, а по тому же типу паровой турбины можно сэкономить более 2000 тонн циркуляционной воды в час.

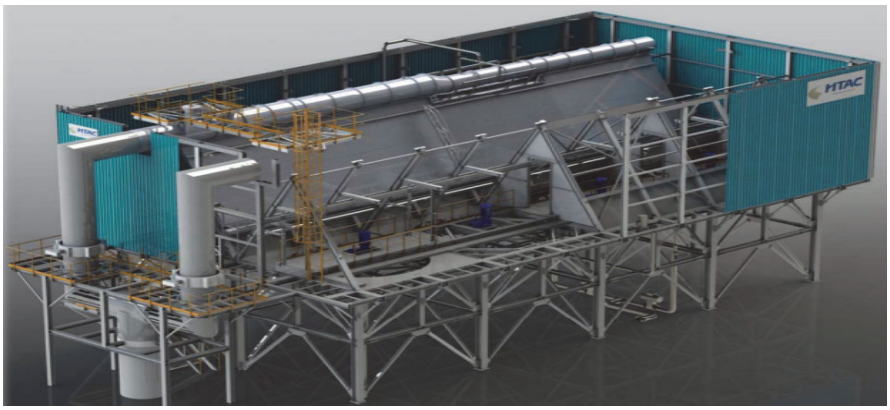


Рисунок 1 – Принципиальная схема конструкции воздушного охладителя

3. Применение системы рекуперации отходящего тепла нагревательной печи использует тепло дымовых газов на выходе из верхней части нагревательной печи для обмена теплом с воздухом печи, что эффективно улучшает температуру воздуха в печи, что повышает температуру печи от комнатной температуры примерно до 120 °C, чтобы улучшить тепловой КПД нагревательной печи, а тепловой КПД трех нагревательных

печей установки дизельного гидрокрекинга может достигать более 92% за счет расчета стабильной работы дизельной установки гидрокрекинга на ранней стадии.

Предложения и рекомендации.

1. Энергопотребление дизельной гидрокрекинговой установки в основном представляет собой расход топливного газа и потребление электроэнергии, далее следует расход воды и пара и т. Д. При энергосберегающей оптимизации установки необходимо, во-первых, оптимизировать оборудование с большим энергопотреблением и коэффициентом преобразования энергии, а во-вторых, в соответствии с технологическими характеристиками устройства, сосредоточиться на оптимизации избыточной энергии устройства, чтобы достичь цели эффективной энергосберегающей оптимизации всего устройства.

2. После энергосберегающей оптимизации и трансформации устройства необходимо своевременно инвестировать в энергосберегающее оборудование в соответствии с технологическими характеристиками и производственным статусом устройства, таким как гидравлическая турбина питательного насоса устройства гидрогенизации, прежде чем ввести в эксплуатацию, прежде всего, необходимо убедиться, что устройство достигает определенной производственной нагрузки для обеспечения нормальной работы гидравлической турбины, а во-вторых, необходимо обеспечить чистоту трубопровода системы, особенно для вновь запущенного устройства, которое не может быть введено в эксплуатацию сразу после его запуска, чтобы избежать загрязнения среды и частого срезания насоса для очистки фильтра, а затем ввода в эксплуатацию гидравлической турбины после того, как трубопровод в основном чистый.

3. Для острова воздушного охлаждения паровой турбины, который в последние годы используется все чаще, хотя он и сыграл свою роль в экономии оборотной охлаждающей воды для предприятий с плотной циркуляцией воды, в начале строительства, из-за большой системы воздушного охлаждения паровой турбины, трудно обеспечить чистоту системы в процессе строительства, особенно ржавчина, прикрепленная к трубопроводу и системе и т.д., что может привести к тому, что конденсат паровой турбины на ранней стадии строительства превысит стандарт и не может быть доставлен. Инженерные системы: Способность системы опресненной воды выдерживать ионы железа и сценарий оттока, когда конденсат не может попасть в систему конденсата.

4. Энергосберегающая оптимизация установки нефтепереработки в первую очередь проводится на основе стабильной работы устройства, причем частая эксплуатация устройства должна быть вызвана не слепым стремлением к энергосбережению, а общие энергетические потери

устройства, а энергосбережение и стабильная работа устройства будут иметь оптимальное пересечение, и реализация схемы оптимизации должна быть максимально приближена к этому пересечению для достижения оптимизации энергосбережения.

Благодарность. Авторы выражают признательность китайской компании Zhejiang Petrochemical Co., Ltd за оказанную помощь при проведении данного исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хуан Цзяньбо. Обсуждение структуры энергопотребления установки дизельного крекинга и мероприятий по энергосбережению и снижению потребления/Управление химической промышленностью. – 2020. – № 4(12):58-59.

2. Ли То, Сун Ин. Технические меры по энергосбережению и снижению потребления оборудования для гидрирования и модернизации дизельного топлива/Информационный бюллетень по химическому проектированию. – 2017. – № 43(02):140.

3. Лю Тяньи, Сяо Чжун.Анализ технологии энергосбережения и снижения потребления 3,0 Мт/год установки гидроочистки дизельного топлива/Китайско-иностранная энергетика. – 2016. – № 21(06):93-97.

4. Чжан Хунмин, Сюй Мин, Чэнь Гэ, Юань Хайбо. Технологическая трансформация и предложения по энергосбережению и снижению потребления оборудования для гидрирования и облагораживания дизельного топлива/Шаньдунская химическая промышленность. – 2016. – № 45(09):85-86.

5. Ван На. Характеристика и некоторые предложения по оптимизации новой технологии энергосбережения и снижения потребления дизельных гидрогенизационных и модернизированных устройств/Управление химической промышленностью. – 2015. – № 4(11):221.

УДК 661.715

Агаева С.Б., Абасов С.И., Тагиева Ш.Ф., Гаджизаде С.М., Керимова-Джафарова У.Н., Исмайлова З.Р., Агаева Т.Ф.
(Институт Нефтехимических Процессов им. акад. Ю.Г. Мамедалиева Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики)

ОЛИГОМЕРИЗАЦИЯ БУТАН-БУТИЛЕНОВОЙ ФРАКЦИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА КН-4

В настоящее время во всем мире ужесточаются требования к качеству моторных топлив в получение высокооктановых компонентов.

Олигомеризация олефиновой фракции с использованием гетерогенных катализаторов приобретает все большую актуальность в свете современной потребности в высокооктановых компонентах для моторных топлив. Высокооктановые топливные компоненты являются ключевыми для повышения активности и экологичности двигателей внутреннего сгорания. В условиях ужесточения экологических норм и стремления к сокращению выбросов вредных веществ в атмосферу, технология олигомеризации позволяет получить продукты с улучшенными эксплуатационными характеристиками [1].

Кроме того, разработки в области катализаторов для олигомеризации открывает новые перспективы для повышения производительности и селективности процессов, что имеет значение для промышленного применении и внедрения инновационных технологий в энергетический сектор [2].

Повышенное внимание к олигомеризации объясняется богатым ресурсом фракций легких алкенов, получаемых при переработке нефти [3].

Работа посвящена разработке катализаторов на основе промышленного катализатора крекинга КН-4, модифицированного солями металлов Zn, W и Zr, и исследованию их каталитических свойств в процессе олигомеризации газов каталитического крекинга НПЗ им. Гейдар Алиева бутан-бутиленовой (ББ) фракций состава: (C_1 - 0.39; C_2 - 5.47; C_3 - 6.91; C_4 - 85.2, C_5 - 2.02).

В качестве исходного носителя для приготовления катализаторов использован промышленный катализатор каталитического крекинга КН-4 (Новосибирский завод химконцентратов, партия 044 КН-12 на основе HZSM-5(SiO_2-Al_2O_3=28-37.8). Модифицированием КН-4 водными солями металлов цинка, вольфрама и циркония синтезированы моно и би-металлические катализаторы. Модифицирование металлами Zn,Zr,W проводили методом ионообменной пропитки водными солями $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$, $Zr(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ и вольфрама $(NH_4)4W_5O_{17} \cdot 2.5H_2O$ формованием гидрогелью оксида алюминия, сушкой в течение 4ч при 80ºС и 110ºС и прокаливанием при 350ºС (2ч) и 550ºС (4ч). Олигомеризацию ББ фракции на катализаторах проводили на лабораторной установке проточного типа при атмосферном давлении при температурах 180-350ºС, объемной скорости подачи сырья $V_{об.ск.}$=125-500$ч^{-1}$, продолжительности опытов τ=1-5ч. Каталитическую активность оценивали степенью превращения сырья, выходами и селективностью образования высокооктановых компонентов C_5-C_8. Были синтезированы катализаторы-5%Zn, 3%W/67% КН-4 (1); 5%Zr, 70% КН-4 (2); 5%W , 70% КН-4 (3), 5%Zn, 70% КН-4 (4) - все образцы содержали 25% Al_2O_3.

Анализ исходного сырья, полученных продуктов, проводился на хроматографе AutoSystem XL фирмы Perkin Elmer, ИК спектры образцов

регистрировали на ИК Фурье спектрометре ALPHA (фирма BRUKER Германия) в диапазоне волновых частот 600-4000 $см^{-1}$, термические характеристики оценивали на термоанализаторе NETZSCH, STA-449 Jupiter F3.

Определена олигомеризационная активность синтезированных контактов с образованием высокооктановых компонентов C_5-C_8. Установлено, что наиболее эффективным катализатором является 5% W/КН-4/Al_2O_3, на котором при температуре 220ºС $V_{об.ск.}$ =$500^{ч-1}$, τ=1-5ч, конверсия сырья по фракции ΣC_4 составила 65,3%. Селективность катализатора для фракции ΣC_7-35,8%, ΣC_8-12,4%, ΣC_5-C_6 соответственно составила 65,3%,

ИК – спектрометрические исследования, подтвердили наличие продуктов олигомеризации при низких температурах и образования ароматических углеводородов при повышении температуры процесса до 320ºС.

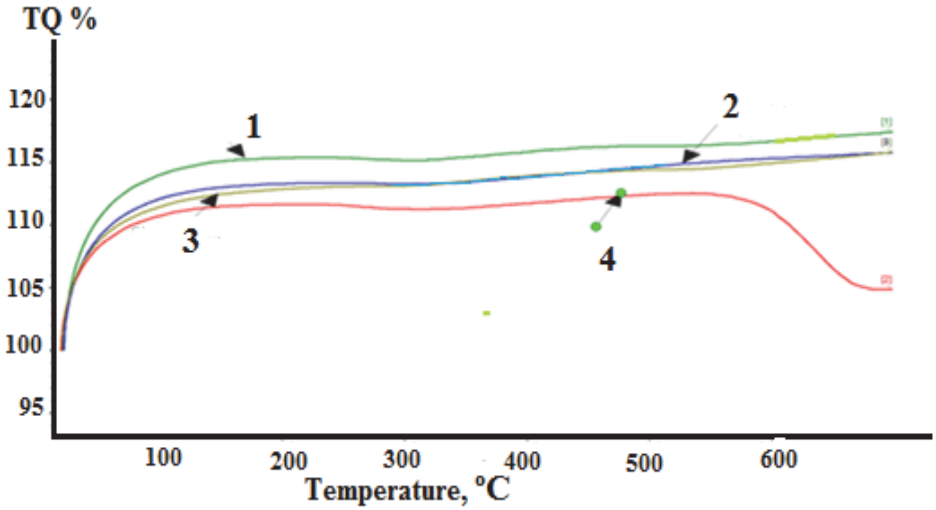


Рисунок 1 – Термограммы отработанных катализаторов процесса олигомеризации ББ фракции

1. КН-4+WO_4(3%)+Zn(5%)+Al_2O_3;
2. КН-4+WO_4(3%)+Al_2O_3;
3. КН-4+Zr(5%)+Al_2O_3;
4. КН-4+Zn(5%)+Al_2O_3

Термические исследования показали, что все отработанные катализаторы, кроме образца (4) КН-4+Zn(5%)+Al_2O_3 сохраняют термостабильность в интервале температур 25-700ºС. Образец (4) сохраняет стабильность до 560ºС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашев, Д.О. Разработка и внедрение высокоэффективного катализатора процесса олигомеризации бутан-бутиленовой фракции для производства высокооктанового компонента автомобильного бензина /

Д.О. Кондрашев, А.В. Андреева // *Катализ в промышленности. – 2016.* – Том 16 – № 6.– С. 77-84. – DOI.org/10.18412/1816-0387-2016-6-77-84

2. Попов, А.Т. Катализатор олигомеризации бутан-бутиленовой фракции на основе цеолита ZSM-5 / А.Т. Попов, Д.А. Федосов, И.И. Иванова и др //Нефтехимия. – 2016.– Т.56. – №3. – С. 255-261.

3. Monana, W. Oligomerization of lower olefins to fuel range hydrocarbons over texturally enhanced ZSM-5 catalyst. E. Mohiuddin // W. Monana, T. Baskaran, M.M. Mdleni / Catalysis Today, -2019. – P. – 342. – DOI:10.1016/j.cattod.2019.02.061

УДК 66.662.75

Глазунов А.М.
(ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет)

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКООКТАНОВЫХ СПОРТИВНЫХ БЕНЗИНОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Автомобильные бензины являются одним из наиболее распространенных видов топлива в мире. В настоящее время существует разнообразие методов и технологий для производства высокооктановых бензинов. Одним из наиболее распространенных методов является использование антидетонаторов и катализаторов, которые позволяют увеличить октановое число топлива. Чем выше октановое число, тем больше сжатия может выдержать топливо без детонации. Эта особенность делает высокооктановый бензин популярным выбором для спортивных и гоночных автомобилей.

В последнее время активно проведено много исследований по созданию экологически чистых высокооктановых бензинов, что позволяет получить эффективное топливо при минимальном негативном воздействии на окружающую среду.

В настоящий момент в городе Тюмени (Российская Федерация) в свободной продаже доступно только два представителя высокооктановых автомобильных бензинов АИ-100 – это G-Drive 100 (АИ-100-К5) «Компания №1» (*названия компаний зашифрованы) и бензин ЭКТО 100 (АИ-100-К5) «Компания №2». Данные образцы бензинов полностью соответствуют нормам экологического класса К5 (ЕВРО-5).

Целью работы является получение высокооктановых спортивных бензинов с добавлением высокооктановых компонентов таких как МТБЭ и толуол, и исследование полученных образцов бензинов.

Параметры качества бензина, такие как октановое число, температура вспышки, плотность, вязкость, содержание серы и других примесей, также должны соответствовать определенным стандартам качества. Некачественный бензин может повредить двигатель и негативно повлиять на экологическую ситуацию [1].

Местные и международные органы регулирования установили нормативы качества для бензина, которым он должен соответствовать. Для обеспечения соответствия этим нормативам, регулярно проводятся тесты на качество топлива. Это гарантирует, что бензин отвечает установленным требованиям.

Для создания высокооктанового спортивного бензина использовали товарные бензины, такие как АИ-98-К5 «Компания №3», G-Drive 100 (АИ-100-К5) «Компания №1» и бензин ЭКТО 100 (АИ-100-К5) «Компания №2», которые отобраны на заправочных станциях в городе Тюмень весной 2023 года.

В качестве высокооктановых присадок в исследовании использовались химически чистые компоненты: толуол и МТБЭ.

Контроль качества бензинов производили по следующим показателям ГОСТ Р 51105-2020 «Топлива для двигателей внутреннего сгорания». Бензин неэтилированный: октановое число, фракционный состав бензина, плотность, давление насыщенных паров, а также качественным характеристикам бензинов: равномерному распределению октановых чисел по фракционному и индивидуальному составу бензина, индексу испаряемости (ИИ), количественному содержанию олефинов, изопарафинов, ароматических углеводородов, содержанию присадок.

Для исследования выбран метод анализа бензина на аппаратно-программном комплексе «Хроматэк-Кристалл-5000.2». Основным методом анализа выбрана газовая хроматография.

Дополнительно к основному исследованию проводился анализ основных параметров бензина стандартными методами согласно требованиям ГОСТ Р 51105-2020, чтобы подтвердить результаты и исключить возможные ошибки.

1. Определение фракционного состава разгонкой (ГОСТ 2177-99).
2. Давление насыщенных паров Бомбой Рейда (ГОСТ 31874 2012).
3. Определение плотности бензина ареометром (ГОСТ Р 51069-97).
4. Определение октанового числа октанометром.

Произведя анализы испытуемых образцов бензинов, проведенных как на хроматографическом комплексе "Хроматэк-Кристалл-5000.2", так и при помощи стандартных методов, получены следующие результаты (представлены результаты в качестве примера только для бензина

«Компании №3. Для компаний №1 и №2 были проведены аналогичные исследования):

1. Бензин АИ-98-К5 «Компания №3»:

– плотность – 740,6 кг/м3;

– ДНП – 65,2 кПа;

– октановое число – 98,2;

– общее количество компонентов бензина – 177;

– массовый групповой углеводородный химический состав и распределение компонентов в бензине представлены в таблице 1 и на рисунке 2. График ИТК представлен на рисунке 1.

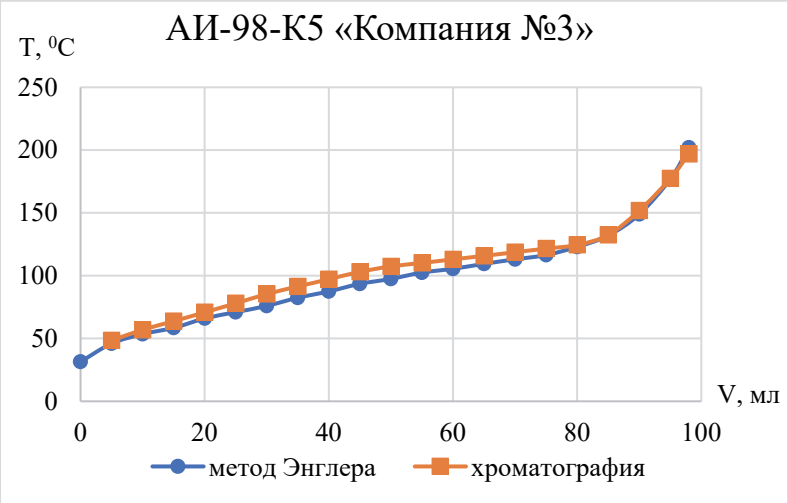


Рисунок 1 – ИТК бензина АИ-98-К5 «Компания №3»

Таблица 1 – Массовый групповой состав бензина АИ-98-К5«Компания №3»

Фракция	Содержание, % масс.	Фракция	Содержание, % масс.
C_1-C_4	4,398	толуол	20,885
изо-C_4	1,145	изо-C_7	1,638
изо-C_5	8,61	изо-C_8	21,119
олефины C_3-C_5	0,095	ксилолы ар. C_8-C_{10}	13,105
н-пентан	1,127	изо-C_9	0,813
МТБЭ	6,089	изо-C_{10}	0,258
олефины C_6-C_{10}	2,568	изо C_{11}-C_{13}	1,037
изо-C_6	5,766	ар.C_{11}-C_{13}	0,639

Далее для исследований используем исходные бензины и высокооктановые компоненты для получения пробы спортивного бензина с высоким октановым числом.

Для каждого образца рассчитываем необходимое количество МТБЭ и толуола.

Проведя анализ полученных данных, пришли к следующим выводам:

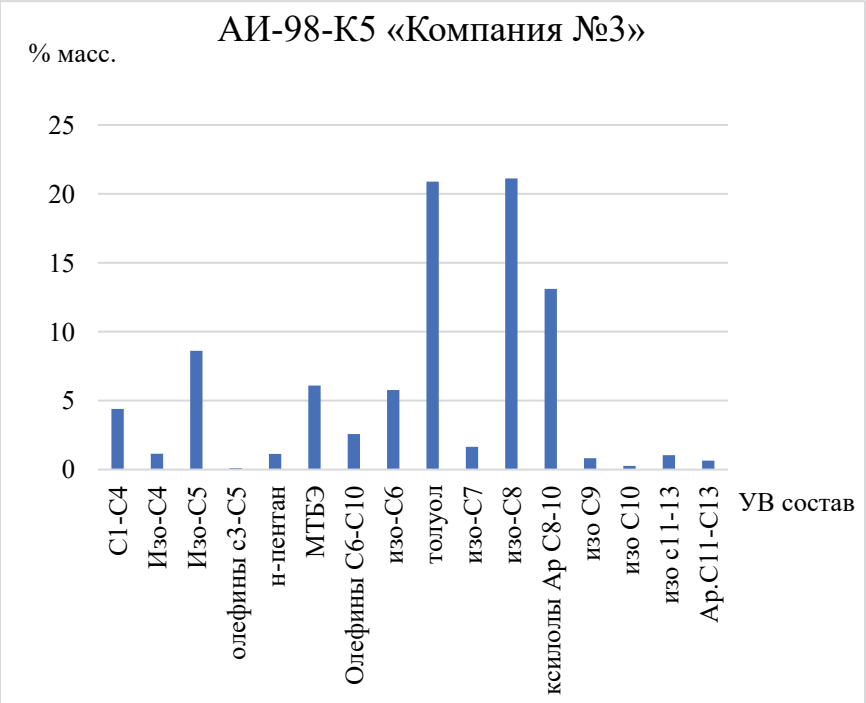


Рисунок 2 – Диаграмма распределения углеводородных компонентов по фракционному составу бензина АИ-98-К5 «Компания №3»

– за основу для получения высокооктанового бензина выбраны товарные бензины, АИ-98-К5 «Компания №3», G-Drive 100 (АИ-100-К5) «Компания №1» и бензин ЭКТО 100 (АИ-100-К5) «Компания №2». Высокооктановые компоненты: МТБЭ и толуол.

– проведен анализ товарных бензинов, для выявления образцов пригодных для получения высокооктановых спортивных бензинов.

– путем добавления высокооктановых компонентов МТБЭ и толуола в испытуемые образцы бензинов АИ-98-К5 «Компания №3» и G-Drive 100 (АИ-100-К5) «Компания №1» получили высокооктановые спортивные бензины без превышения норм содержания ароматических углеводородов, соответствующих нормам экологического класса К5 (ЕВРО-5).

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 1510-1984. Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение. Общие положения : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 07 августа 1984 г. № 2776 : введен впервые : дата введения 1986-01-01 / разработан Министерством нефтяной промышленности. – Москва: Стандартинформ, 2010.

УДК 665.6.02-027.44

Землянский Е.О.
(ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет)

ВНЕДРЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ НЕФТЕ- И ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Нефтегазоперерабатывающая и химическая промышленность в последние годы претерпевает ряд значимых изменений, направленных на повышение эффективности производства на всех уровнях управления. Одним из базовых направлений достижения этих целей является цифровизация. Применение новых инновационных решений в химической технологии на этапах от проектирования нефте- и газоперерабатывающих предприятий до модернизации действующих производств, создание автоматизированных комплексов управления предприятием позволяют повысить конкурентоспособность нефтегазовой отрасли. Российскими крупными нефтяными и газовыми компаниями разрабатываются новые технологии, сочетающие традиционные технологии переработки углеводородного сырья и инновационные подходы с применением цифровых технологий. Одним из направлений цифровизации является создание цифровой модели производства, которая позволяет не только моделировать и прогнозировать поведение технологической системы на основе математических моделей процессов химической технологии, но и формировать требуемый уровень компетенций персонала предприятия [1, 2].

На рисунке 1 представлена схема цифрового двойника, состоящая из четырех блоков: базы данных, модели процесса, модели автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) и трехмерной модели. Последние три составляют основу компьютерного тренажерного комплекса (КТК).



Рисунок 1 – Блок-схема «цифрового двойника» предприятия

Компьютерный тренажерный комплекс позволяет выполнять детальный анализ технологических процессов инженерно-техническими

работниками предприятия. Позволяет наработать правильные навыки в штатных, нештатных и аварийных ситуациях, проводить отладку алгоритмов управления техническому персоналу (операторам технологических установок, машинистам технологических насосов, аппаратчикам и др.).

Выпускники направлений 18.03.01 Химическая технология (профиль: Химическая технология переработки нефти и газа) и 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие технологии в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии (профиль: Машины и аппараты химических производств) чаще всего начинают свою профессиональную деятельность с позиций операторов технологических установок, товарных операторов, аппаратчиков, машинистов технологических насосов или компрессорных установок.

Очевидно, что применение тренажерных комплексов на стадии обучения в высшем и средне-специальном образовании способно сократить период адаптации выпускников при трудоустройстве на профильных предприятиях нефтегазоподготовки и переработки.

Внедрение КТК в учебный процесс, при условии заключенного договора с компанией разработчиком программного обеспечения, состоит из нескольких этапов:

– Установка КТК и обучение преподавательского состава того структурного подразделения, в котором будет реализовано обучение студентов;

– Формирование концепции изучения КТК;

– Внесение в рабочие программы профильных дисциплин элементов освоения КТК (лекционный материал, практические или лабораторные занятия);

– Разработка методических материалов по профильным дисциплинам, в которых формируются соответствующие компетенции;

– Начало учебного процесса по профильным дисциплинам с применением КТК;

– Проведение промежуточных аттестаций обучающихся по дисциплинам с применением КТК.

Компьютерный тренажерный комплекс позволяет преподавателям различных профильных дисциплин создавать упражнения, позволяющие обучающимся глубже понять теоретический материал по таким дисциплинам как «Процессы и аппараты химических производств», «Химическая технология переработки углеводородного сырья», «Эксплуатация технологического оборудования», «Автоматизация процессов подготовки и переработки нефти и газа». Кроме того, применение КТК позволяет оценить взаимосвязь профильных дисциплин на примере «цифрового двойника» действующего предприятия.

Например, упражнение «Повышение давления в ректификационной колонне» подразумевает следующие знания и умения обучающихся:

Таблица 1 – Упражнение «Повышение давления в ректификационной колонне»

№	Этапы проработки упражнения	Знания и умения	Профильная дисциплина
1	Определить причину повышения давления в колонне	Знать закономерности процесса ректификации, основные параметры процесса ректификации, тепловых процессов. Знать основные принципы регулирования параметров в ректификационной колонне (температуры, давления, уровня)	ПАХТ, Машины и аппараты химических производств, Технология переработки углеводородного сырья
		Знать аппаратурное оформление блока (узла) ректификации и принцип работы оборудования	
		Знать принципиальную технологическую схему установки. Знать технологическую схе-му блока ректификации: – основные материальные потоки установки; – основные и вспомогательные материальные потоки блока ректификации; – нормы технологического режима; Уметь проводить анализ последствий нарушения технологического режима	
2	Предпринять действия по предотвращению дальнейшего роста давления в колонне и развития аварийной ситуации. Останов колонны.	Знать эксплуатацию оборудования в нормальном технологическом режиме и в аварийном режиме. Знать общие правила останова и пуска колонны а также вспомогательного оборудования.	Эксплуатация оборудования
		Уметь пользоваться интерфейсом КТК. Знать обозначения приборов и регуляторов на схемах КТК	Цифровые и информационные технологии в процессах нефтегазопереработки
4	Принять меры по восстановлению работы оборудования	Знать возможные причины отказа оборудования	Ремонт и монтаж технологического оборудования

Окончание таблицы 1

№	Этапы проработки упражнения	Знания и умения	Профильная дисциплина
5	Предпринять меры по восстановлению нормального технологического режима	Знать методы регулирования основных параметров в ректификационной колонне (температуры, давления, уровня). Понимать основные закономерности регулирования на технологической установке. Знать алгоритмы действия оператора пульта и оператора поля.	Автоматизация процессов подготовки и переработки нефти и газа

Применение КТК в образовательном процессе позволяет не только систематизировать знания технологии нефтегазопереработки, но и существенно сократить адаптационный период при трудоустройстве выпускника на профильные предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Линник, Ю. Н. Цифровые технологии в нефтегазовом комплексе / Ю. Н. Линник, М. А. Кирюхин. – Текст: непосредственный // Вестник университета. – 2019. – № 7. – С. 37-40.

2. Еремин, Н. А. Цифровизация нефтегазового производства в России и странах ЕАЭС / Н. А. Еремин, В. Г. Мартынов, Л. А. Абукова. – Текст: непосредственный // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России : сборник тезисов, Москва, 12–14 февраля 2018 года. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, 2018. – С. 69.

УДК 665.6/.7

Якубовский С.Ф., Булавка Ю.А., Хохотов С.С.
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ НАФТАЛИНА ИЗ ТЯЖЕЛОЙ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА АЗЕОТРОПНОЙ РЕКТИФИКАЦИЕЙ

Тяжелая смола пиролиза углеводородного сырья является смесью различных групп углеводородов, преимущественно ароматических с температурой кипения выше 180°С. В настоящее время используется не рационального, как компонент котельного топлива. Только в России

производство тяжелой смолы пиролиза доходит до 325 тысяч тонн в год. В Беларуси на заводе «Полимир» ОАО «Нафтан» объемы выработки тяжелой смолы пиролиза составляют около 12 тысяч тонн в год и вопрос её рационального использования особенно актуален в связи с грядущими планами по увеличению мощности предприятия, строительством новой установки ЭП-200, что приведет к увеличению количества побочных продуктов и обострению проблем, связанных с их сбытом [1-3].

Высокое содержание в тяжелой смоле пиролиза произведенной на заводе «Полимир» ОАО «Нафтан» нафталина и его алкилпроизводных позволяют рассматривать данный побочный продукт как один из основных их сырьевых источников. Выполненный нами анализ результатов хроматографии тяжелой смоле пиролиза произведенной на заводе «Полимир» ОАО «Нафтан» позволил идентифицировать в жидком концентрате более 225 индивидуальных веществ, при этом содержание ароматических углеводородов доходит до 68% мас., в частности, нафталина до 18 % мас. Т.е. потенциальный выход нафталина может составить около 1000 т. в год.

В настоящее время, в странах СНГ нафталин получают в основном из каменноугольной смолы, насыщенной гетероатомными соединениями, что требует дорогостоящих технологических операций, связанных с очисткой смолы от серо-, азот- и кислородсодержащих соединений. В связи с сокращением добычи угля и производства каменноугольного кокса объемы производства нафталина не удовлетворяют потребностям химической промышленности. В связи с этим, особый интерес представляет получения нафталина из тяжелой смолы пиролизам.

Выполнен патентный поиск по способам извлечения нафталина из тяжелой смолы пиролиза:

1. Авторами [2] предложен способ получения нафталина из жидких продуктов пиролиза в двух вакуумных колоннах. Первая колонна предназначена для удаления более легкокипящей фракции, чем нафталин, с верхним погоном колонны. Во второй колонне кубовым продуктом удаляется тяжелая фракция жидких продуктов пиролиза, а верхом колонны выделяется нафталиновая фракция, которая направляется на кристаллизацию. Недостатком данного процесса является не высокая степень чистоты продукта.

2. В патенте RU 2266944 C1, МПК C10C 1/10, 1/12, C07C 15/04, 15/24, 2005 предложен способ выделения нафталина из фракции C_9-C_{11} жидких продуктов пиролиза путем каталитической гидростабилизации и ректификацией выделяют ароматическую фракцию C_{10}-C_{11}. Полученный продукт подвергают термическому гидродеалкилированию совместно с гидростабилизированной и гидроочищенной ароматической фракцией C_6-C_8.

Гидродеалкилат подвергают ректификации с выделением в качестве одного из продуктов нафталина. Недостатком процесса являются усложненная технологическая схема процесса переработки жидких продуктов пиролиза и использование дорогостоящих катализаторов.

3. В патенте RU 2231530, МПКС08F240/00, 2002 предложен способ получения нафталина из нафталинсодержащих фракций жидких продуктов пиролиза очисткой от непредельных углеводородов способом их полимеризации в присутствии алюмокобальтмолибденового катализатора. Процесс полимеризации непредельных углеводородов осуществляется при температуре 150-210°С, давлении до 0,1 МПа, в течение 0,5-2 часов. Основным недостатком данного способа является необходимость использования водорода и дорогостоящего катализатора, низкая степень чистоты нафталина.

4. В патенте RU 2282609, МПК С07С 1/10, 15/24, BOU 23/882, С08F 240/00, 2006 предложен способ выделения нафталина из фракции 190-250°С жидких продуктов пиролиза, которую предварительно подвергают каталитической полимеризации. Недостатком способа является необходимость использования катализатора, который в процессе теряет активность, что приводит к необходимости проведения регенерации и, как следствие, использовании сложной технологической схемы, включающей узел регенерации катализатора.

5. В патенте RU 2557000, МПК С07С7/177, С07С7/14, С07С15/24, 2015 предложен способ получения нафталина из фракции жидких продуктов пиролиза характеризуется тем, что фракцию подвергают выдерживанию при температуре 200-300°С, давлении 0,1-1,0 МПа в течение 2-10 часов, затем обработанную фракцию направляют на атмосферно-вакуумную простую разгонку и отгон направляют на выделение нафталина кристаллизацией. Недостатком способа является необходимость предварительного термического воздействия в реакторе на жидкие продукты пиролиза при высокой температуре до 300°С и давлении до 1,0 МПа, а в случае полимеризации реакционноспособных ненасыщенных соединений и высококипящих смол при низких температурах 200-280°С необходимость вовлечения дорогостоящих инициаторов либо ненасыщенных индивидуальных ароматических углеводородов.

Нами предложен способ получения нафталина из фракции жидких продуктов пиролиза углеводородного сырья, включающий простую атмосферную и затем вакуумную разгонку смолы пиролизной тяжелой с выделением концентрата нафталина, который подвергать азеотропной ректификации, а затем направляют на стадии кристаллизации и прессования. Отличием предлагаемого способа является использование дополнительной стадии азеотропной ректификации концентрата нафталина,

отсутствие стадии полимеризации реакционноспособных ненасыщенных соединений и высококипящих смол жидких продуктов пиролиза углеводородного сырья. В результате осуществления данного способа возможно получение нафталина со степенью чистоты 74,1… 98,5% масс.

Предлагаемый способ выделения нафталина из жидких продуктов пиролиза углеводородного сырья в промышленных условиях может быть реализован следующим образом: концентрат нафталина выделить способом атмосферной и вакуумной разгонкой, далее концентрат нафталина смешать с этиленгликолем (либо 1,2-пропиленгликолем) в массовом соотношении 1:1 и направить в колонну азеотропной ректификации. В колонне азеотропной ректификации дистиллятом отделить азеотроп этиленгликоль (либо 1,2-пропиленгликолем) – нафталин, балансовое количество верхнего продукта – азеотропа смешать в тройнике смешения с промывной водой для растворения этиленгликоля (либо 1,2-пропиленгликоля). В дальнейшем нафталин подвергать кристаллизации и прессованию на вакуумном фильтре-прессе. Предлагаемый способ выделения нафталина выполнен в лабораторных условиях с использованием смолы пиролизной тяжелой, произведенной на заводе «Полимир» ОАО «Нафтан». Показатели качества, полученного нафталина по ГОСТ 16106-82 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели качества нафталина

Показатели	Нафталин, полученный азеотропной ректификацией	
	с этиленгликолем	с 1,2-пропиленгликолем
Цвет	белый	слабо-желая окраска
Температура кристаллизации по прибору Жукова, °С	79,1	65,3
Окраска по йодной шкале, единицы шкалы	менее 1	6

Нафталин, полученный азеотропной ректификацией с этиленгликолем, характеризуется степенью чистоты 98,5% масс. (степень чистоты определена по температуре кристаллизации). Полученный продукт соответствует требованиям ГОСТ 16106-82 на «Нафталин-очищенный» сорт ОВ и может быть использован в качестве сырья для нефтехимического синтеза (в производстве фталевого ангидрида, хлор-нафталина, некаля, суперпластификаторов и др.). Таким образом, предлагаемый способ позволит получить нафталин из фракции жидких продуктов пиролиза углеводородного сырья с высокой степенью чистоты без использования энерго- и ресурсозатратных процессов и дорогостоящих инициаторов и ненасыщенных индивидуальных ароматических углеводородов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сравнительная оценка растворяющей способности углеводородов и спиртов по отношению к нафталину/Якубовский С.Ф., Булавка Ю.А., Казак Е.В.//Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 3. – С. 160-163.

2. Joseph C. Gentry and Meijuan Zeng. Pygas upgrading for European steam crackers. PTQ. Q1 2009, p 103-108

3. PGO Processing with azeotropic rectification to extract naphthalene / Y.A. Bulauka, S.F. Yakubouski// Topical Issues of Rational Use of Natural Resources 2019- Litvinenko (Ed), 2020 Taylor & Francis Group, London, doi.org/10.1201/9781003014638. – Vol.2 – P.495-501.

УДК 665.64+661.666.2

Юсевич А.И., Кузёмкин Д.В., Осипёнок Е.М.
(Белорусский государственный технологический университет)

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА СВОЙСТВА ПЕКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ТЯЖЕЛОЙ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ И АСФАЛЬТА ПРОПАНОВОЙ ДЕАСФАЛЬТИЗАЦИИ ГУДРОНА

Нефтяные и каменноугольные пеки являются важными прекурсорами для производства высококачественных углеродных материалов: игольчатого кокса [1], высокомодульных углеродных волокон [2], теплопроводного пенографита [3], мезоуглеродных микрошариков для анодов литий-ионных батарей [4] и др. Превращение пеков в эти материалы представляет собой непростую задачу, обусловленную сложным химическим и фазовым составом сырья, разнообразием одновременно протекающих химических превращений, решение которой требует тонкой настройки технологических параметров обработки для достижения нужного сочетания физико-химических и механических свойств продукта. Поэтому новая информация о взаимосвязи состава и свойств пеков с условиями их получения из разных видов сырья является весьма востребованной.

В представляемой работе сырьем для получения пеков служили асфальт пропановой деасфальтизации гудрона и вакуумный остаток тяжелой пиролизной смолы (ТПС) этилен-пропиленового производства ОАО «Нафтан». Характеристика сырья и методика получения пеков опубликованы в работе [5].

Влияние температуры термообработки смеси асфальта и вакуумного остатка ТПС на выход, состав и свойства продуктов изучали в интервале 360–420 °С при следующих параметрах процесса: массовая доля асфальта в сырьевой смеси – 50 %, время реакции – 4,5 ч. Полученные зависимости приведены на рис. 1.

Большинство контролируемых показателей изменяется при увеличении температуры неравномерно. Так, с повышением температуры от 360 до 420 °С выход пека в целом снижается на 40,7 мас. %. При этом в диапазоне от 360 до 390 °С уменьшение выхода пека составляет 28,8 мас. %. Дальнейший же рост температуры на равную величину, до 420 °С, приводит лишь к 11,9 мас. % снижения этого показателя.

Суммарное увеличение содержания α-фракции в пеке составляет 71 мас. %. При этом до 390 °С прирост равен 47,6 мас. %, а при дальнейшем повышении температуры до 420 °С – «всего» 23,5 мас. %. Аналогичная картина наблюдается и с содержанием α_1-фракции: при общем его увеличении на 81 мас. % на первом этапе, при нагреве до 390 °С, прирост составляет 45,3 мас. %, на втором этапе, при повышении температуры до 420 °С – 35,9 мас. %.

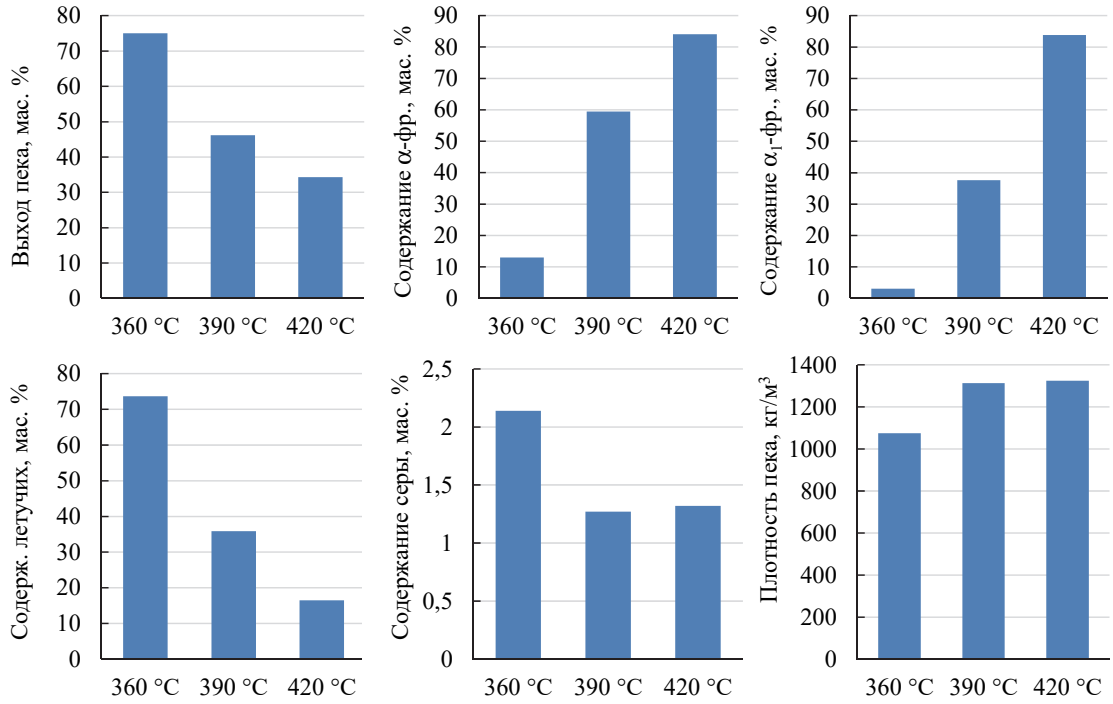


Рисунок 1 – Зависимости выхода, состава и свойств пеков от температуры синтеза

Сходным образом обстоят дела и с показателем «выход летучих». При увеличении температуры термообработки сырья с 360 до 390 °С

он уменьшается на 37,8 мас. %, при нагреве с 390 до 420 °С – на 19,4 мас. %. Общее снижение содержания летучих составляет 57,2 мас. %.

Наиболее явно нелинейная зависимость свойств пека от температуры термообработки проявляется на двух показателях: плотности и содержании общей серы. Так, плотность пека, полученного при 390 °С, на 238 кг/м^3 выше плотности пека, полученного при 360 °С, но всего на 11,1 кг/м^3 ниже плотности пека, полученного при 420 °С. Содержание серы в пеке при увеличении температуры термообработки с 360 до 390 °С снижается в 1,6 раза, но при дальнейшем росте температуры до 420 °С остается практически неизменным.

Следует обратить внимание, что содержание α_2-фракции, обусловливающей свойство спекаемости пеков, демонстрирует экстремальную зависимость от температуры: при 360 °С оно равно 10,2 мас. %, при 390 °С – 12,4 мас. %, а при 420 °С – нулю.

Влияние времени реакции термополиконденсации смеси асфальта и вакуумного остатка ТПС на выход, состав и свойства продуктов изучали при следующих параметрах процесса: массовая доля асфальта в сырьевой смеси – 50 %, температура термообработки – 390 °С. Полученные зависимости приведены на рис. 2.

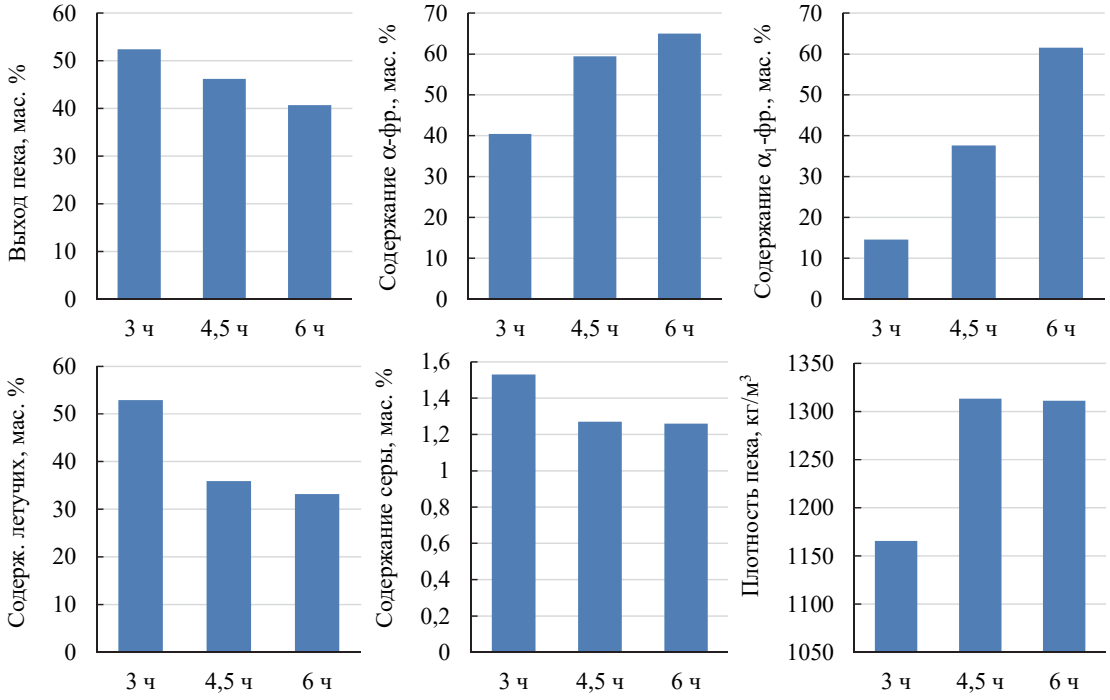


Рисунок 2 – Зависимости выхода, состава и свойств пеков от продолжительности синтеза

Зависимость выхода пека от времени реакции практически линейна. При увеличении продолжительности термополиконденсации

сырья с 3 до 6 ч выход пека уменьшается на 11,7 мас. %. Зависимость содержания летучих веществ в пеке от продолжительности термообработки также близка к линейной, но все же на второй половине исследованного временного промежутка снижение содержания летучих было несколько меньше, чем на первой, что говорит о постепенном замедлении термодеструктивных процессов превращения сырья. В целом, увеличение времени реакции с 3 до 6 ч приводит к снижению содержания термически нестабильных компонентов в пеке на 32,7 мас. %.

Рост содержания α- и α_1-фракций более заметен при увеличении времени с 3 до 4,5 ч: 20,1 и 29,0 мас. % соответственно. Дальнейшее увеличение продолжительности термообработки с 4,5 до 6 ч позволяет повысить содержание α-фракции еще на 4,4 мас. %, α_1-фракции – на 13,4 мас. %.

Что касается плотности пека и содержания серы в нем, то эти показатели изменялись лишь при увеличении времени реакции с 3 до 4,5 ч. Дальнейшее увеличение продолжительности процесса никак не влияло на их значения. Плотность увеличилась на 147 кг/м^3. Содержание серы уменьшилось в 1,2 раза.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Энергетические и ядерные процессы и технологии».

ЛИТЕРАТУРА

1. Ying Wang, Ya-wei Dong, Cun-gui Zhong, Qing Cao. The effect of mechanical vibration on the structure of needle coke prepared from a modified coal tar pitch // Carbon. – 2018. – Vol. 130. – P. 845. – https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.10.060.

2. Zhen Fan, Min Cao, Wen-bing Yang, Shi-peng Zhu, Zhi-hai Feng. The evolution of microstructure and thermal conductivity of mesophase pitch-based carbon fibers with heat treatment temperature // New Carbon Materials. – 2019. – Vol. 34, Issue 1. – P. 38–43. – https://doi.org/10.1016/S1872-5805(19)60002-8.

3. Heyao Zhang, Jinxing Cheng, Qingbo Wang, Dongbo Xiong, Jinliang Song, Zhongfeng Tang, Xiangdong Liu. The graphite foam/erythritol composites with ultrahigh thermal conductivity for medium temperature applications // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2021. – Vol. 230. – 111135. – https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111135.

4. Si-lin Dong, Jian-xiao Yang, Sheng-kai Chang, Kui Shi, Yue Liu, Jia-ling Zou, Jun Li. An innovative and efficient method for the preparation of mesocarbon microbeads and their use in the electrodes of lithium ion batteries and electric double layer capacitors // New Carbon Materials. – 2023. – Vol. 38, Issue 1. – P. 173–185. – https://doi.org/10.1016/S1872-5805(22)60606-1.

5. Юсевич А.И., Кузёмкин Д.В., Трусов К.И. Синтез и свойства пеков на основе тяжелой смолы пиролиза углеводородного сырья и асфальта пропановой деасфальтизации гудрона // Технология органических веществ : материалы 88-й науч.-технич. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 207–210. – https://elib.belstu.by/handle/123456789/65710.

УДК 552.578.5:665.642.26

Трусов К.И., Юсевич А.И.,
(Белорусский государственный технологический университет)
Агабеков В.Е.
(Институт химии новых материалов НАН Беларуси)

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ЛИГНИНА НА ГИДРОКРЕКИНГ АСФАЛЬТА ПРИ КАТАЛИЗЕ НАНОДИСПЕРСНЫМИ СУЛЬФИДАМИ МЕТАЛЛОВ

Лигнин составляет примерно 25 % биомассы сосудистых растений и является весьма распространенным природным полимерным материалом. Наиболее крупнотоннажными промышленными источниками лигнина являются целлюлозно-бумажное и гидролизное производства, где он образуется как побочный продукт. Считается [1], что лигнин имеет большой потенциал как возобновляемое сырье для производства фенолов и ароматических углеводородов, а также может быть перспективным субстратом в многочисленных реакциях замещения, окисления, электрокаталитического присоединения и др. с целью получения эффективных дисперсантов и эмульгаторов, адгезивов и вяжущих, добавок к полимерам и полимерных композиционных материалов с новыми свойствами. Однако широкому использованию лигнина в качестве химического сырья препятствует ряд трудностей, связанных, главным образом, со сложной структурой его макромолекул и высокой реакционной способностью первичных продуктов их расщепления, склонных к реакциям конденсации и сшивки [2]. Поэтому в первую очередь представляют интерес технологии деполимеризации лигнина, не приводящие к образованию новых конденсированных структур.

Известен способ гидрокрекинга крафт-лигнина с получением фенола, бензола и их гомологов [3]. Процесс проводили при 340–450 °С, давлении водорода 3,5–17 МПа в реакторе с кипящим слоем алюмокобальтмолибденового или алюмоникельмолибденового катализатора. Выход продуктов гидрокрекинга составил (в мас. %): оксиды углерода – 5,7;

углеводородные газы С1–С5 – 27,3; жидкие углеводороды и фенолы фракции С6–260 °С – 60,2%; остаток >260 °С – 2,4. Несмотря на достижение практически полной конверсии лигнина в низкомолекулярные вещества, широкому промышленному внедрению процесса препятствовала дороговизна получаемых продуктов по сравнению с аналогичными продуктами традиционных процессов нефтепереработки и нефтехимии, что обусловлено не в последнюю очередь сравнительно малой мощностью установок химической переработки древесины и, как следствие, высокими удельными капитальными и эксплуатационными затратами. В этой связи представляется целесообразным изучить возможность гидрокрекинга лигнина совместно с тяжелыми нефтяными остатками на установках с кипящим или суспензионным слоем катализатора.

В публикуемой работе изучали гидрокрекинг смеси асфальта пропановой деасфальтизации гудрона ОАО «Нафтан» и лигнина гидролизного олеофильного марки S-Drill Block СООО «Синерджи-Ком» в реакторе автоклавного типа в присутствии наноразмерных сульфидов молибдена или никеля, полученных in situ из маслорастворимых прекурсоров. Условия процесса: содержание лигнина в смеси – 15 мас. %; дозировка металла катализатора – 0,1 мас. % на сырье; начальное давление водорода – 100 бар; рабочая температура – 420–430 °С; продолжительность – 2 ч. Выходы продуктов гидрокрекинга представлены в табл.

Таблица – Выход продуктов гидрокрекинга, мас. %, в расчете на загруженный асфальт

Наименование продукта	Сырье – асфальт		Сырье – асфальт + лигнин	
	MoS_2	NiS	MoS_2	NiS
Летучие вещества (C_{6-})	30,0	32,5	42,4	43,6
Жидкий гидрогенизат,	67,6	64,1	71,9	69,1
в т.ч. асфальтены*	4,6	5,1	6,3	6,3
Кокс	2,4	3,4	3,4	4,9

* Содержание асфальтенов в исходном асфальте – 9,7 мас. %.

Добавка лигнина к нефтяному сырью приводит к увеличению выхода целевых жидких продуктов гидроконверсии на 4,3–5,0 мас. %, однако в гидрогенизате увеличивается содержание асфальтенов на 1,2–2,0 мас. %. При этом растет выход газообразных продуктов деструкции на 11,0–12,1 мас. % и кокса на 1,0–1,5 мас. %. Дисульфид молибдена по сравнению с сульфидом никеля более активен в крекинге асфальтенов и подавлении коксообразования, что приводит к большему выходу гидрогенизата.

В целом показано, что совместный гидрокрекинг лигнина и тяжелых нефтяных остатков может выступать в качестве компромиссной

технологии, позволяющей получать углеводородные продукты из растительной биомассы с издержками, близкими к затратам на переработку традиционного нефтяного сырья.

Для отработки процесса в непрерывном режиме разработан проект пилотной проточной установки гидроконверсии смесевого нефтяного и древесного сырья производительностью до 1 кг в час.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Haz A., Jablonsky M., Surina I., Kačík F., Bubenikova T., Durkovic J. Chemical Composition and Thermal Behavior of Kraft Lignins // Forests. – 2019. – Vol. 10. – 483. – doi:10.3390/f10060483.

2. Wang H., Pu Y., Ragauskas A., Yang B. From lignin to valuable products – Strategies, challenges, and prospects // Bioresour. Technol. – 2019. – Vol. 271. – P. 449–461. – doi:10.1016/j.biortech.2018.09.072.

3. US 4420644A, 1983.

УДК 665.7

Дадаходжаев А.Т., Маннанов У.В., Эшмухамедов М.А.
(Ташкентский государственный технический университет
имени Ислама Каримова)

НЕФТЕГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ УЗБЕКИСТАНА

Недра Узбекистана обладают большими запасами углеводородного сырья. Около 60% территории республики являются потенциальными носителями нефти и газа. По состоянию на 2017 год, в пяти нефтегазоносных регионах Узбекистана открыто 246 месторождений углеводородного сырья, из которых 66% – газовые, 20% – газонефтяные и нефтегазовые, 14% – нефтяные. Более 55% месторождений находятся в разработке, 40% подготовлены к освоению, на остальных продолжаются геологоразведочные работы.

Ежегодно объем добычи углеводородного сырья из недр Земной коры растет на 5–10%. Вместе с ростом добычи целевых, жидких и газообразных углеводородов соответственно увеличивается и объем добываемых попутных, некондиционных горючих газов. При этом возрастают и объемы сжигаемых попутных горючих газов на факелах. Лишь в но в 2012 году снова вырос почти на 22%, составив по сравнению с

предыдущим годом 6,4 млрд куб. метров. Направления по утилизации (использования) нефтяного газа газоперерабатывающей мощности в 2014 году составило 31,3%, всех ресурсов нефтяного газа. Здесь производится сухой отбензиненный газ (метан, этан), широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ), стабильный газовый бензин, сжиженные газы (пропан, бутан). Сухой отбензиненный газ используется в качестве сырья для выработки электроэнергии на ГРЭС, а также поставляется в систему магистральных газопроводов. ШФЛУ и стабильный газовый бензин в основном применяются, как нефтехимическое сырье. Нефте-газоперерабатывающий комплекс Республики Узбекистан включает в себя три газоперерабатывающих завода. Важным направлением использования нефтяного газа является его применение при выработке электроэнергии. На осушенном попутном нефтяном газе работают Навоийский ГРЭС. Нефтяной газ используется и на объектах малой энергетики, которая в последние годы развивается высокими темпами. Одними из самых масштабных потребителей являются горнодобывающие и перерабатывающие предприятия.

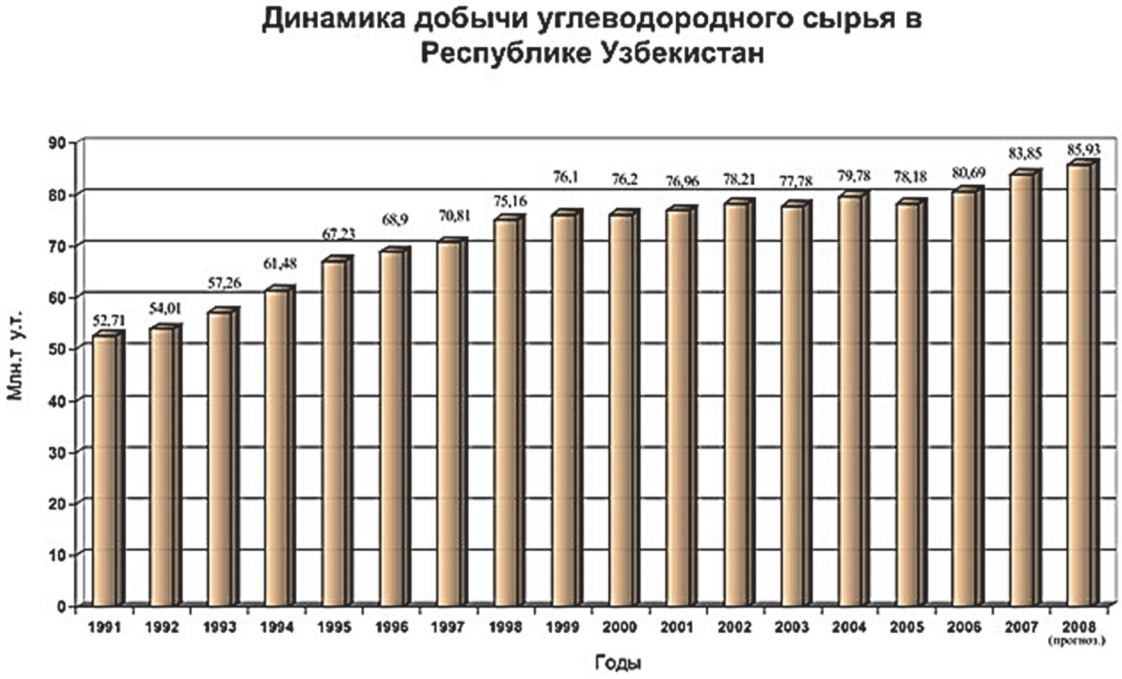


Рисунок.1. История нефтегазовой отрасли Узбекистана

Настало время перехода на рациональное использования нефтяного газа. При выборе направлений использования ресурсов НПГ-нефтяного попутного газа не может быть единого подхода для всех месторождений и объектов. При выборе технологических схем использования НПГ необходимо учитывать ряд факторов, среди которых наибольшее значение

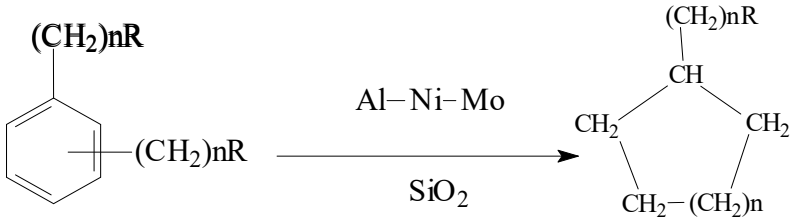
имеют: среднегодовые объемы добычи НПГ, расстояния до ГПЗ, компрессорных станций, цехов предварительной подготовки нефти, расстояния до объектов системы электроэнергетики, до потребителей НПГ и продуктов его переработки. Принимаемые в конкретной ситуации решения зависят от множества факторов, включая: наличие эффективных и доступных технологий; объемы добычи НПГ; географическое расположение объектов (месторождений нефти, ГПЗ, магистрального газопровода), влияющее на эффективность проектов утилизации и использования НПГ. Проблема утилизации горючего углеводородного и ангидридного газа в Узбекистане в последние, как и во всем мире - актуальная проблема, над решением которой работают все ведущие энерготехнологические и энергоэкологические компании мира. Экология и ресурсосбережение - вот основа поиска и внедрения передовых и инновационных технологий в добывающие и перерабатывающие отрасли экономики. Научно-техническими и технологическими задачами являются разработка комплексного метода и технологии их реализации, заключающиеся в высококвалифицированной переработке сырых попутных нефтяных газов с последующей подготовкой последних для направления на энергетические котлы, агрегаты или в производство нефтехимии.

В связи с реализацией норм и требований международных стандартов «Euro- 3» и «Euro-4» в Республике Узбекистан отношение к топливам, применяемым в двигателях внутреннего сгорания, также изменились. В рамках этих стандартов строго ограничивается применение топлив с содержанием в составе ароматических углеводородов более чем на 0,1% об, когда действующие установки риформинга бензиновых фракций все еще продолжает работать по старой технологии. Среди различных химико-каталитических процессов, вторичной переработки нефтепродуктов наиболее интенсивно развиваются именно те, в которых значительная роль принадлежит реакции изомеризации углеводородного скелета углеводородных молекул, позволяющей получать сырье для нефтехимического синтеза, дешевые высокооктановые топлива на базе низкооктановых бензинов прямой перегонки, высокостабильные реактивные и низкозастывающие дизельные топлива и т.д.

Поэтому в настоящее время проблема реформа углеводородных структур – изомеризация углеводородов становится важной государственной задачей.

В нашей стране проводятся исследований по повышению качеств продукций, так, например, учеными нашего университета предложен окисный катализатор, приготовленный нанесением солей никеля и молибдена на алюмосиликат, допускающий высокую избирательность, производительность и стабильность активного действия. Найдены

оптимальные условия гидроизмеризации бензола, достигнуто получение метилциклопентана, при этом исключена возможность образования побочных продуктов. Катализатор обладает повышенной механической прочностью, многократная термообработка не влияет на его каталитические и механические свойства.



R=alkil, aril.

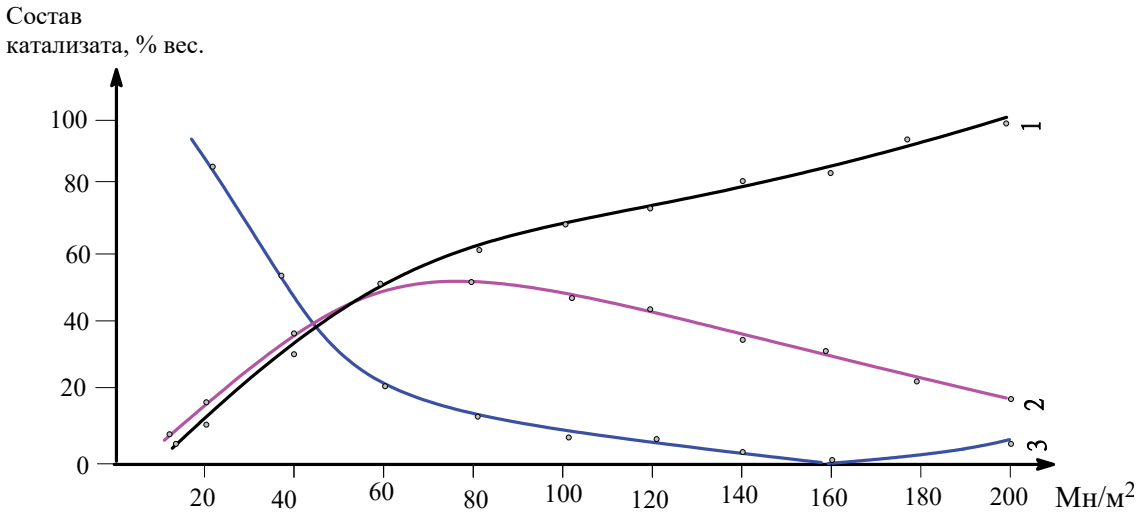


Рисунок-1 – Глубина гидроизомеризации бензола в зависимости от изменения давления.
1 – Циклогексан; 2 – Метилциклогексан; 3 – Бензол

Таким образом, результаты по химизму каталитических гидрогенизационных превращений углеводородов различной структуры, применяемые в практике могут быть, с таким же успехом применены и для гидрогенизационного облагораживания углеводородов как традиционного, так и альтернативного происхождения.

В нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности значительное внимание уделяется гидрогенолизу содержащихся в нефти азоторганических соединений, особенно основного характера. Хотя гидрогенизационные процессы были известны несколько десятилетий тому назад и в настоящее время освоены в промышленном масштабе, однако в них применяется очень ограниченное число катализаторов. Поэтому подбор новых эффективных, ядостойких катализаторов с использованием

дешевых и доступных гидрирующих компонентов и дестабилизация активности существующих путем подбора детоксиканта – добавок в сырьё или в катализатор – остается актуальным по сей день.

Природный газ служит основным сырьем в производстве основной продукции на предприятиях химической промышленности Узбекистана. Предприятия АО «Узхимпром»: АО «Навоиазот», АО «Максам – Чирчик», АО «Ферганаазот» ежегодно перерабатывают 3,5 млрд.м^3 природного газа для производства, тыс.т: аммиака – 1980, азотной кислоты – 2038, серной кислоты – 271, ПВХ – 50, метанол – 300, уксусная кислота, ацетальдегид, цианистый натрий, полиакриламид и др. Также крупными потребителями природного газа являются предприятия «Uzbekistan GTL» – 3,5.млрд.м^3, Шуртанский газохимический комплекс – 4 млрд.м^3 и СП «Uz - Kor Gas Chemical» – 1.5 млрд.м^3. Их основная продукция тыс.т: полиэтилен более 510, высококачественное экологическое чистое синтетическое дизтопливо – 750, сжиженный газ более – 52. Газоперерабатывающая промышленность Узбекистана в технологических процессах использует 47 видов катализаторов. Марка, назначение, загрузка и производитель сведены в таблицу.

Таблица – Марка, назначение, загрузка и производитель

Марка	*HO* Max - 200	ТК - 550	ТК - 261	Actisorb	НИАП - 02- 05	ЧПС - 03	HTZ - 31
Назначение	Гидрирование сероорганики						
Производитель	Clariant	Haldor Toposoe	Haldor Toposoe	Clariant	Россия	Узбекистан	Haldor Toposo
Загрузка,т	15	19	53	120	64	64	54

продолжение табл

Производител	Clariant	Clariant	Узбекиста	Clariant	Haldor	
Загрузка,т	25	3,74	28	53	18,5	18,5

продолжение табл

Марка	ТО - 2	RK - 7R	[illegible]	A - max - 10	KMI	KMI
Назначение	Метанирования		Синтез аммиака			
Производите	Узбекистан	Haldor	Узбекиста	Clariant	Haldor	
Загрузка, т	35,5	18,5	179,5	129	175	48

продолжение табл

Марка	SK - 201-	LSK - 2	LK - 821 -	Shiftmax - 120;	НТК - 4	ОХК
Назначение	Среднее и низкотемпературная конверсия СО					
Производите	Haldor Toposoe			Clariant	Узбекистан	
Загрузка, т	76	8,7	106	272	152	183

Титановые катализаторы используемые Шуртанским газохимическим комплексом для прямого окисления сероводорода производитель

Hunam Alofi Jmp C Exp.CO Ltd Китай, загружен 15,8 т, катализатор димеризации производитель Axens Франция – 7,9 т.

Катализаторы полимеризации марки CAB компании MSSA SAS Франция загружены 27 т, катализаторы для поддержания активности CAB катализаторов производства Акзо Нобел Нидерланды загружены 36 т. Катализаторы компании Haldor Toposoe марок HTG – 1 – 63 т; НТЗ – 3 – 442 т; AR – 401 – 76 т; RKA – 02 – 22 т; RKS – 2 – 33 т; OS – 101 – 75 т и катализаторы компании Chevron марок ICR 250 LAQ – 107 т; ICR 514 NAQ – 45 т; ICR 452 LAQ – 44 т успешно обеспечивают производства на «Uzbekistan GTL».

В целях достижения локализации производства катализаторов для азотной промышленности, нами разработаны технологии и освоены производства ряда катализаторов для азотной промышленности. В их числе катализатор среднетемпературной конверсии оксида углерода (П) марки ОХК – 02 [1], поглотитель сернистых соединений марки ЧПС – 03 [2] восстановленный вне колонны синтеза катализатор синтеза аммиака марки СА – СВ, катализатор первичного риформинга марки ЧКР – 3 – 06 [3], катализатор гидрирования сероорганики марки АНМ, катализатор обезвреживания выхлопных газов производства азотной кислоты марки АМЦК. В настоящее время АО «Максам – Чирчик» производит наряду с катализаторами низкотемпературной конверсии СО (П) НТК-4 конверсии метана ГИАП-8, метанирования ТО-2, синтеза аммиака СА-1 и катализаторы ОХК-02, ЧПС-03. В направлении переработки отработанных катализаторов разработаны технологии извлечения и рециклинга пятиокиси ванадия [3], оксида никеля [3], оксида цинка [5] и оксида кадмия [6], а также переработки железосодержащих катализаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эшмухамедов М.А., Кавкатбеков М.М., Усманова Р.М., Абдувалиев А.А., Понамарёва Т.В Альтернативные источники получения углеводородных топлив в мире и Узбекистане. Сб. материалов VII международной ЗНПК – Минск: УГЗ, 2020. – 356. 71-73 стр.

2. Лихолобов В. А. Тенденции приготовления катализаторов нефтепереработки Российский конгресс по катализу «РОСКАТАЛИЗ» 3 – 7 октября 2011 г. Москва.

3. Пат. № IAP 03097 РУз. Способ приготовления катализатора для конверсии оксида углерода. Дадаходжаев А.Т., Салаватов Ф.Р., Рахимжанов Т.А. и др.

4. Пат. № IAP 04254 РУз. Способ получения поглотителя для очистки газов от соединений серы. Дадаходжаев А.Т., Салаватов Ф.Р. и др.

УДК 355.237

Маннанов У.В., Базарбаев К.А.,
(Ташкентский государственный технический университет
им. Ислама Каримова)

СПЕЦИАЛЬНОСТИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ В ТашГТУ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ

Мы живем в мире, который напрямую зависит от нефтегазохимии. От автомобилей, на которых мы ездим, до продуктов питания на наших тарелках – продукты и материалы, которые мы получаем из нефтехимии, имеют основополагающее значение для многих аспектов жизни современного общества. В этой статье рассматриваются перспективы международного и отечественного нефтехимического рынка, подчеркнута важность устойчивых инноваций, способствующих повышению эффективности и долговечности нефтехимического производства, соответствуя более высоким экологическим целям и экономической жизнеспособности, развивая межотраслевое сотрудничество и применяя передовые технологии Индустрии 4.0

Ташкентский государственный технический университет имени И.Каримова (ТашГТУ) является одним из ведущих учебных заведений в Республике Узбекистан в области подготовки специалистов для предприятий химического и нефтехимического комплекса.

В 1978 году в Ташкентском политехническом институте был впервые создан факультет “Нефти и газа”. В последующие годы факультет был неоднократно реорганизован, специальности и кафедры переданы и включены в другие высшие учебные заведения. Постановлением Президента Республики Узбекистан от 22 июня 2021 года № ПК-5157 “О параметрах государственного заказа на прием в высшие учебные заведения Республики Узбекистан в 2021/2022 учебном году”, постановлением Ученого Совета ТашГТУ от 26 августа 2021 года №1 факультет "Нефти и газа” вновь восстановлен в структуре Университета. В настоящее время студенты обучаются на кафедрах:

– Геология и геофизика месторождений нефти газа

– Объекты переработки нефти и газа

– Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений Машины и оборудование нефтегазовой промышленности и систем трубопроводного транспорта

– Биотехнология

– Технология нефтегазохимической промышленности

В таблице 1 приведен Перечень специальностей подготовки специалистов для химических и нефтехимических комплексов по первой ступени высшего образования – бакалавриатура, в таблице 2 – перечень специальностей по подготовке специалистов по второй ступени высшего образования – магистратура, таблица 3 – по подготовке студентов заочной формы обучения.

За счет республиканского бюджета ТашГТУ ежегодно выполняет контрольные цифры приема абитуриентов на указанные специальности.

Таблица 1 – Перечень специальностей 1-ой ступени высшего образования для химического и нефтехимического комплексов

Наименование специальностей
60721800 – Нефтегазовое дело (разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений)
5320300 – Технологические машины и оборудование (машины и оборудование нефтегазовой промышленности)
60721800 – Нефтегазовое дело (бурение нефтяных и газовых скважин)
5313700 (60713300) – Эксплуатация и обслуживание газового оборудования
60720700 – Технологические машины и оборудование (машины и оборудование нефтегазовой промышленности)
5314600 – Машины и оборудование нефтегазовой промышленности
5313800 – Сооружения трубопроводных транспортных систем и ремонт их объектов
5311700 (60721600) – Геология, разведка и разведка месторождений полезных ископаемых (по видам месторождений: месторождения нефти и газа)
5311900 (60721800) – Нефтегазовое дело (по видам деятельности: горная геология)
60730300- Строительство зданий и сооружений
60721900 – Технология нефтегазохимической промышленности
60720800 – Нефтегазовое дело

Таблица 2 – Перечень специальностей 2-й ступени высшего образования для химического и нефтехимического комплексов

Наименование специальностей
70721801 – Эксплуатация и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений;
70721803 – Бурение нефтяных и газовых скважин;
70720708 – Машины и оборудование нефтегазовой промышленности;
70721602 – Геология, разведка и разведка нефтяных и газовых месторождений;
70721606 – Геофизические методы поисково-разведочных работ на нефтяных и газовых месторождениях
70730302 – Строительство и эксплуатация нефте-и газопроводов, баз и складов
70720901 – Химическая и нефтегазохимическая технология

Таблица 3 – Специальность заочной формы обучения для организаций химического и нефтехимического комплексов

60720800 – Нефтегазовое дело

Сотрудники ТашГТУ постоянно работают над развитием сотрудничества с Высшими учебными заведениями зарубежных стран, а также с работодателями, предприятиями-заказчиками кадров в целях усиления практико-ориентированной составляющей образовательного процесса. Например, можно привести специальную стипендиальную программу, организованную между ТашГТУ и компанией ООО “Uzbekistan GTL”, где целью является укрепление сотрудничества между Компанией и ВУЗами страны; предоставление дополнительной материальной и социальной поддержки студентам; повышение мотивации студентов в получении углубленных знаний по изучаемым в ВУЗе дисциплинам нефтегазового профиля. Назначение стипендий GTL производится ежегодно на один учебный год стипендиатам конкурса. Назначение стипендий GTL утверждается решением комиссии, состоящей из руководства и ответственных специалистов компании. На сегодняшний момент ТашГТУ осуществляет подготовку кадров по совместным образовательным программам в формате “Dual degree (2+2, 3+2)” с зарубежными ВУЗами-партнёрами, такими как: Белорусский государственный технологический университет (БГТУ); Белорусский национальный технический университет (БНТУ); Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ); НИУ «Московский энергетический институт», Вузами Китайской Народной Республики, Республики Корея и др.

ТашГТУ заключил договоры о взаимодействии со следующими базовыми предприятиями, относящимися к химической и нефтехимической отраслям республики: ООО “Uzbekistan GTL”; АО «Узбекнефтегаз»; «Узгеобурнефтегаз»; «ИГИРНИГМ»; «Узтрансгаз»; «Узбекгеофизика»; «УзЛИТИнефтегаз»; «Узнефтегаздобыча»; НХК «Узбекнефтегаз»; АО «Худудгазтаминот»; УДП «Шуртаннефтегаз»; УДП «Мубарекнефтегаз»; “Gold Dried Fruits Export”; ООО «Иттифок»; АО «Интер-Рохат»; ООО «ЕвроХим»ОАО и другими предприятиями.

Привлечение ведущих специалистов данной отрасли осуществляется ещё путем реализации академической программы по образовательному обмену опытами между преподавателями и студентами в ВУЗах. Ежегодно преподавательский состав кафедр отправляется на месячную стажировку на различные предприятия в республике, а также в зарубежные страны для повышения квалификаций.

Помимо базовых организаций, основными предприятиями-заказчиками кадров нефтехимического и химического комплекса Узбекистана являются: ООО “Uzbekistan GTL”; “UNG Shurtan GKM”; «Кандымский ГПК»; АО «УзМетКомбинат»; “O‘zbektneftgaz” и другие.

В ТашГТУ большое внимание уделяется подбору преподавателей и профессоров, чтобы обеспечить качественный образовательный процесс

подготовки инженеров - специалистов с высшим образованием. В республике благодаря огромному вниманию руководства страны, созданы все условия для получения качественного образования студентов, целевой и адресной стажировки и повышения квалификации сотрудников ВУЗов.

ЛИТЕРАТУРА

1. The Future of Petrochemicals//Towards more sustainable plastics and fertilisers // International Energy Agency. OECD/IEA 2018. TDTU.UZ/ structure/faculties

УДК 378.147.88

Шашок Ж.С., Усс Е.П., Вишневский К.В., Кротова О.А., Лешкевич А.В.
(Белорусский государственный технологический университет)

О РОЛИ УЧЕБНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРАКТИК ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕЗИНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Современное высшее образование в сложных условиях его модернизации переживает новый этап своего развития, связанный с гибкой системой подготовки кадров, предполагающий реализацию личностного образовательного маршрута будущего специалиста, компетентного в своей сфере [1].

Александр Васильевич Суворов говорил: «Теория без практики мертва, практика без теории слепа». В связи с этим практика необходима для полноценного обучения и всесторонней проработки теоретического материала, любые теоретические знания должны быть подкреплены практической деятельностью. Практика – одна из важнейших составляющих профессиональной подготовки любого специалиста. Она ориентирует будущих работников на самостоятельное профессиональное и личностное развитие, позволяет студенту практически попробовать свои силы в выбранной профессии, научиться применять в профессиональной деятельности знания, полученные на учебных занятиях [1, 2].

Качественная подготовка высококвалифицированного специалиста предполагает наличие практического опыта, так как именно он помогает сделать правильный выбор будущей профессиональной самореализации. Практика позволяет закрепить и углубить полученные в ходе обучения научно-теоретические знания посредством их практического применения на предприятии, сталкиваясь с реальными проблемами

каждодневной деятельности. В настоящее время прохождение всех видов практик является залогом успешного выпускника вуза, востребованного на рынке труда [3].

Учебный план подготовки специалистов по специальности 6-05-0722-04 «Производство и переработка полимерных материалов» профилизации «Технология и инжиниринг эластомерных композиционных материалов» предполагает ежегодное прохождение студентами различных видов практики: учебных ознакомительной (1 курс) и общеинженерной (2 курс), производственных технологической (3 курс) и преддипломной (4 курс). Каждая из этих видов практик вносит значительный вклад в процесс профессиональной подготовки будущего специалиста по технологии переработки эластомеров, постепенно формируя у студентов необходимые профессиональные компетенции, помогая им в своем становлении и развитии.

Учебная ознакомительная практика является первым этапом практической подготовки студентов, помогающим сформировать общее представление о сфере и объектах их будущей профессиональной деятельности. Ознакомительная практика также способствует осознанному и мотивированному изучению обучающимися общенаучных, общепрофессиональных и специальных учебных дисциплин на следующих курсах. Данный вид практики носит, как правило, экскурсионно-информационный характер. В период прохождения практики происходит более детальное знакомство с выбранной профилизацией «Технология и инжиниринг эластомерных композиционных материалов», научно-исследовательскими лабораториями, материально-технической базой и направлениями научно-исследовательских работ на кафедре полимерных композиционных материалов, закрепленных за данной профилизацией. Проведение экскурсий совместно с представителями инженерно-технических работников на передовых производственных предприятиях, в проектно-конструкторских, научно-исследовательских и образовательных учреждениях и организациях позволяет студентам ознакомиться с основными технологическими процессами производства резиновых изделий, изучить структуру и направления деятельности предприятий и организаций, их достижениями в научной и профессиональной областях, что, безусловно, окажет положительный эффект при дальнейшем обучении и работе будущих специалистов. Для повышения эффективности ознакомительной практики для студентов разработаны актуальные тематики индивидуальных заданий по основным компонентам эластомерных композиций, методам оценки свойств сырья, полуфабрикатов и изделий, общей характеристике технологических процессов производства эластомерных материалов и изделий на их основе. Индивидуальным

заданием предусматривается выполнение творческой и исследовательской работы, связанной с изучением патентной и научно-технической литературы по предложенной руководителем практики теме задания.

Учебная общеинженерная практика рассматривается как способ органичного соединения теоретических знаний, полученных во время изучения общеинженерных и специальных дисциплин, с практическими навыками и умениями по избранной специальности. Общеинженерная практика профилизации «Технология и инжиниринг эластомерных композиционных материалов» проводится на ОАО «Белшина», а также на предприятиях, подчиненных Министерству промышленности Республики Беларусь, или других предприятиях, на которых осуществляется производство изделий из эластомеров. Выбор предприятия обусловлен, прежде всего, сосредоточением на его производственных площадях максимально возможного количества линий технологических процессов переработки эластомеров и основного технологического оборудования, наличием отделов и участков по проектированию и эксплуатации оснастки, используемой при производстве изделий из резины и т.д. Успешному освоению программы практики способствует проведение экскурсий по производственным цехам и службам предприятия, изучение технологии производства, организация теоретических и практических занятий с ведущими специалистами предприятия и руководителем практики, самостоятельного изучения технической документации, выполнения индивидуального задания и др. Примерной тематикой занятий могут являться вопросы охраны труда и окружающей среды; административной схемы управления предприятием; особенности конструкции резиновых изделий; оборудование для изготовления резиновых смесей и полуфабрикатов; технологический процесс каландрования, шприцевания, литья под давлением; технологический процесс сборки и вулканизации изделий; метрологическое обеспечение технологического процесса. Индивидуальное задание – это особая и неотъемлемая часть практики, которая заключается в детальной проработке особенностей технологического процесса и оборудования, использующимися на предприятии. Заданием предусматривается выполнение творческой работы, которая требует от студента проявления инициативы, самостоятельности, стремления к использованию передовых технологических приемов и оборудования.

Производственная технологическая практика предполагает расширение и углубление специальных знаний на основе детального изучения технологических процессов производства резиновых изделий конкретного предприятия, приобретение умений и навыков в профессиональной деятельности специалистов среднего и высшего звена. Выбор места практики осуществляется на основании определенных критериев,

соответствующих высокому уровню технологии, техники, организации и культуры производства, предоставлению студентам технической документации для выполнения программы практики и др. Прямое отличие от общеинженерной практики – развитие у студентов аналитических способностей в области производства и переработки эластомерных материалов. Задача студента состоит не только в изучении существующих технологических схем производства, но и в умении выполнять их критический анализ с точки зрения применяемого оборудования, технико-экономической эффективности принятой технологии, безопасности производства, удобства обслуживания и рациональности компоновки основного технологического оборудования. Анализ мировых тенденций развития в рассматриваемой области и умение использовать современную периодическую и патентную литературу позволит грамотно предложить практические мероприятия по совершенствованию схем с целью повышения эффективности производств. Для углубленного изучения производства резиновых изделий студенты выполняют индивидуальное задание и осуществляют сбор материалов для выполнения курсовых работ и проектов.

Производственная преддипломная практика ставит целью детальное изучение этапов разработки изделий из полимеров и оснастки для их изготовления, а также технологических процессов производства полимерных материалов на основе теоретических знаний, полученных в процессе обучения, приобретение умений и навыков по профессиональной деятельности высшего звена, а также навыков организаторской и воспитательной работы в коллективе. Студенты должны детально изучить этапы проектирования изделий из полимерных материалов, оснастки для их изготовления, при этом обосновать технико-экономическую целесообразность реконструкции, усовершенствование или внедрение передовой технологии, использование новых материалов, современного высокопроизводительного оборудования, а также вопросы по контролю технологических процессов и качеству полуфабрикатов и готовой продукции. Основным результатом этого вида практики является сбор и анализ материалов для выполнения дипломного проекта. Кроме того, студенты получают хорошую возможность зарекомендовать себя перед потенциальными заказчиками кадров, что облегчит их дальнейшее трудоустройство.

Таким образом, практикоориентированность – это неотъемлемая часть современного обучения студентов, которая играет важную роль в их адаптации к производству. Прохождение практики является залогом конкурентоспособного выпускника университета, востребованного на производстве в условиях постоянного развития и модернизации предприятий резиновой промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акутина, С.П. Роль практики в формировании профессионального становления будущих социальных работников / С.П. Акутина // Молодой ученый. – 2016. – № 6 (110). – С. 723–725.

2. Сутягина, Т.В. Место и роль учебной практики в современной профессиональной подготовке бакалавров педагогического образования / Т.В. Сутягина // Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова. – 2016. – Т. 22. – С. 132–134.

3. Вотякова, В.С. Роль учебной практики в подготовке студентов / В.С. Вотякова, С.И. Моногаров // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – №7 (26). – С. 38–39.

УДК 544.478

Шафиева Р.Н., Аббасов М.Ф.
(Институт Нефтехимических Процессов им. Ю. Г. Мамедалиева)
Аббасова С.М
(Азербайджанский Государственный Экономический Университет)
Шафиева Б.Ф
(Бакинский Государственный Университет)

Zn И Zr СОДЕРЖАЩИЕ КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО ПЕРЛИТА В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРА КОНДЕНСАЦИИ МЕТИЛФЕНИЛКЕТОНА С 1,2-ЭТАНДИОЛОМ

Ранее нами сообщалось о синтезе циклических ацеталей С3-С7 алкилзамещенных циклопентанона и циклогексанона с двухатомными спиртами в присутствии различных гомогенных и гетерогенных катализаторов [1,2]. Цель настоящей работы-синтез ароматического ацеталя, полученного конденсацией метилфенилкетона с 1,2-этандиолом в присутствии металсодержащих катализаторов на основе пористого природного перлита, модифицированного солями металлов Zn и Zr и исследование их активности в реакции.

В настоящее время известно множество эффективных катализаторов конденсации кетонов с многоатомными спиртами. Наибольший интерес представляют гетерогенные катализаторы, состоящие из металсодержащего аниона, нанесенного на пористый носитель. Это связано с возможностью повторного применения таких катализаторов. Для приготовления носителя природный перлит (Казахского месторождения Азербайджанской Республики) измельчен на шаровой мельнице. По окончании размола из емкости извлекали, отделяли на ситах и прокаливали при 450°С

в течение 5 часов. Затем на готовый носитель методом пропитки осаждали рассчитанное количество водяного раствора соли металла, высушивали при 120°С в течение 3 часов, затем прокаливали при 500°С в течение 5 часов. Исследование активности катализатора при конденсации метилфенилкетона с 1,2-этандиолом проводили в стационарном реакторе, снабженным термометром, обратным холодильником с насадкой Дин-Старка, перемешиванием в среде азетропобразующего растворителя-толуола при 110-115°С [3], мольном соотношении кетон:диол 1:1,5. Для приготовления катализатора конденсации метилфенилкетона с 1,2-этандиолом в качестве модификатора использован ZnCl2, ZnSO4, ZrCl2, ZrSO4, Zr(NO3)2 и на основе природного перлита приготовлены отдельные образцы катализаторов и исследованы их активности в реакции конденсации в одинаковых условиях. С целью установления количества соответственного металла на носителе приготовлены образцы катализаторов, в которых количество металла варьировало в пределах 0,5-5% масс на носителе. Найдено, что высокие выходы ацеталя достигнуты при нанесении на носитель металла 5% масс. Поэтому все другие исследования реакции конденсации метилфенилкетона с 1,2- этандиолом проведено с использованием 5% масс катализатора. Результаты исследований приведены в таблице.

Таблица – Зависимость выхода ацеталя метилфенилкетона с 1,2-этандиолом от природы модификатора (условия конденсации: мольное соотношение кетон : диол = 1:1,5, t-110°С, α-5 часов, количество катализатора 3% масс, растворитель-толуол)

Металлсодержащий катализатор с модификатор	Выход ацеталя,%
$ZnCl_2$	62,8
$ZnSO_4$	63,5
$ZrCl_2$	67,4
$ZrSO_4$	68,0
$Zr(NO_3)_2$	66,3

Из данных таблицы видно, что выходы ацеталя и селективность реакции существенно зависит от природы катализатора. Среди использованных катализаторов наиболее эффективными являются образцы, модифицированные сернокислотным цирконием.

Однако надо отметить, что реакция конденсации при использовании цирконий содержащих катализаторов завершается в течение 3,5-4 часов в зависимости от природы аниона.

Чистота, состав и строение синтезированного ацеталя установлены методов ГЖК, ИК и 'Н ЯМР спектроскопии.

Сравнение ИК- спектров метилфенилкетона с полученным продуктом показывает, что характерная полоса карбонильной группы ароматического кетона >C=0 в области 1680см-1 исчезает, появляются полосы в области 1024,1067, 1108,1192, 1225, 1243 см-1 относятся к колебаниям -C-O-C группы, 1430-1360 см-1 метильная группа и полосы 1600, 1580, 1450, 765 и 690 см-1 монозамещенное бензольное кольцо.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abbasov M.F. Synthesis Cyclic Acetals On The Basis Of Cyclopentanone And İts C3-C7 Alkyl Derivatives / M.F.Abbasov, N.S. Abbaszadeh, S.M. Abbasova, F.A. Guseinova, A.M. Yusifli, H.M. Alimardanov // Proceses of petrochemistry and oil refininc, -Baku:-2018. v. 19, №4, -p. 397-404.

2. Аббасов М.Ф., Алимарданов Х.М., Аббасзаде Н.С., Гусейнова Ф.А., Аббасова С.М. Оксиметил-1,3 диоксаланы и их ацилпроизводные в качестве ароматизирующих соединений // Реактив-2016. XXX Межд. научн.-техн. конф. «Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннаж. химии, посв. памяти акад. Д.Л. Рахманкулова», -Уфа; - 14-16 ноября, -2016,-с. 5-6.

3. Аббасов М.Ф., Шафиева Р.Н. Синтез ацеталя конденсацией метилфенилкетона с этиленгликолем в присутствии гетерогенных катализаторов. Республиканская научная конференция, посвященная 90-летию академика Надира Мир-Ибрагим оглы Сейидова, 19-20 мая 2022 г. Баку-2022.

УДК 547

Садыгов О.А., Алимарданов Х.М., Пащабейли Н.А., Исмаилова Ш.И., Велиева Т.А.
(Институт Нефтехимических процессов им. Ю.Г. Мамедалиева)

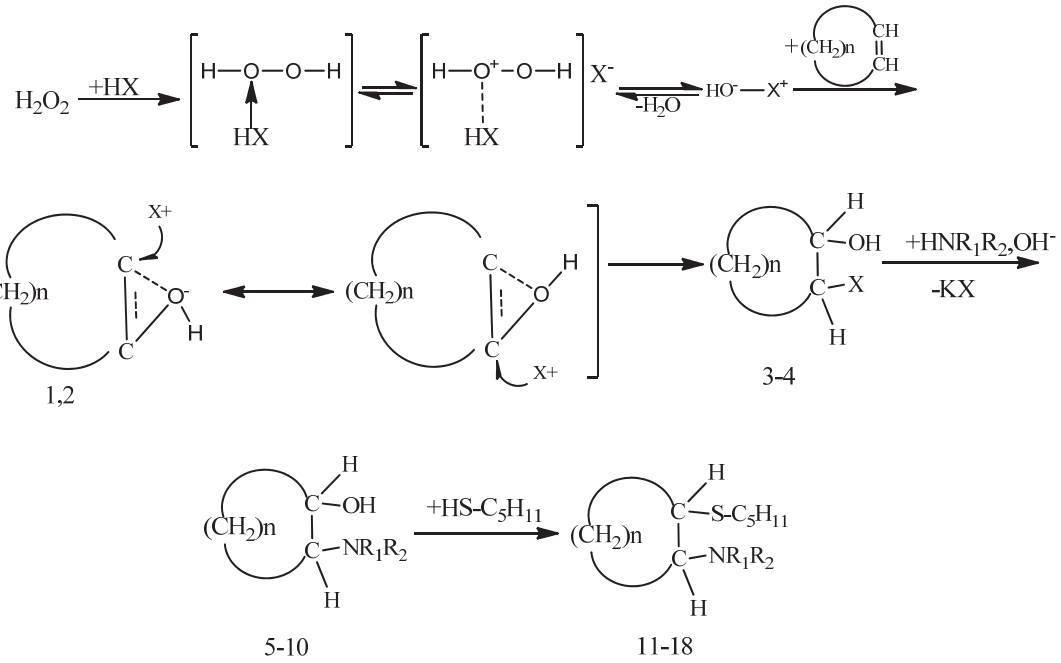
СИНТЕЗ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ C_7-C_{12} АЛИЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ЧЕРЕЗ СТАДИИ ЭЛЕКТРОФИЛЬНОГО ПРЕВРАШЕНИЯ ЦИКЛООЛЕФИНОВ

Среди многочисленных органических соединений полифункциональные C_7-C_{12} алициклические углеводороды представляют значительный интерес, что связано широким применением их в различных отраслях народного хозяйстве. В частности, N-, O-, S- содержащие функциональные производные алицикличекого ряда обладают уникальными свойствами и являются исходными аналогами сложных природных биологически активных соединений и синтетических фармакологических препаратов,

проявляющих седативные, спазмолитические, анальгетические и местноанестезиирующие свойства [1,2]. Эти соединения также успешно используются для получения синтетических душистых веществ [3]. N-замешенные производные ди- и трициклических аминоспиртов и аминотиолов применяются в качестве присадок в составе смазочных масел и смазочно-охлаждающих жидкостей, улучшающих их эксплуатационные характеристики [4].

Исхода из этого поиск и разработка эффективных решений синтеза полифункциональных производных ди- и трициклических углеводородов, содержащих одновременно амино-, гидрокси и алкилтиогруппы, является актуальной задачей.

В настоящем докладе приведены результаты исследований реакции оксигалогенирования 5-винилбицикло[2.2.1]гепт-2-ена и смеси изомеров экзо- 3a, 4, 5, 6, 7, 7a 90% и экзо- 2, 3, 3a, 4, 7, 7a-гексагидро-1H-4,7-метаноинденов 10%, полученного гидрированноем трицикло[5.2.1.$0^{2.6}$]дека-3,8-диена. Реакция осуществляется в режиме “in situ” образования электрофильного интермедиата в системе содержащего циклоолефин+окислитель+HBr, с последующим замещением атома галогена на аминогруппы и гидроксила на тиофрагмент по схеме:

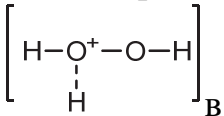


где: X=Cl или Br; n=5, бицикло[2.2.1]гепт-2-ен (1), 3-бромбицикло[2.2.1] гептан-2-ол (5); n=8, смесь изомеров (3a, 4, 5, 6, 7, 7a)-90% и (2, 3, 3a, 4, 7, 7a)октагидро-1H-4,7-метаноинденов-10% (2), смесь, 2-бром-(3a, 4, 5, 6, 7, 7a) и 6-бром-(2, 3, 3a, 4, 7, 7a)-октагидро-1H-4,7-метаноинден-3(5)-ол (10); R_1=R_2, $(-CH_2-)_5$ (11, 13, 15, 17); $O(CH_2CH_2)_2$ (12, 14, 16, 18).

Экспериментальная часть

В опытах использовали 5-винилбицикло[2.2.1]гепт-2-ен, смесь изомеров экзо-(3а, 4, 5, 6, 7, 7а)-гексагидро-1Н-4,7-метаноинден (90%) экзо-(2,3,3а,4,7,7а)-гексагидро-1Н-4,7-метаноиндена (10%), пиперидин, морфолин, H_2O_2, HBr пентан-1-тиол фирмы Alpha Aesar (A.Johnson Malthey Co.). Гидроксибромирование C_7-C_{12} циклоолефинов и замещение атома брома проводили по ранее разработанной методике [5]. Строение полученных соединений подтверждено методами ИК-, ЯМР ^1H и ^{13}C спектроскопии, а также определением их элементного состава. Элементный анализ поводили на анализаторе Truspace Micro Leco Corporation USA. ГМХ анализ выполняли на хроматографе цвет 100 с детектором по теплапроводности, колонка 2000х4 мм, 10% полиэтиленгликольсукцинат на носителе Chromosorb W, газ-носитель-гелий, температура колонки-150°С.

Результаты и их обсуждение

Процесс синтеза полифункциональных производных указанных циклоолефинов осуществляли последовательно в три стадии, с образованием гидроксибромидов в качестве промежутечного соединения (3-4). Реакция гидроксибромирование субстратов в “in situ” режиме протекает, через стадии генерирования электрофильного интермедиата  в водной среде и присоединение его к двойную связь субстрата в органической фазе, путем повышения скорости. перемешивания реакционной массы. В результате облегчается переход активного оксигалогенидного интермедиата из водной в органическую фазу, и присоединению его к кратной связь субстрата. Следует отметить, что в отсутствии пероксида водорода гидроксигалогенирование алициклических циклоолефинов не протекает, т.к. HBr самостоятельно не может генерировать активный гидроксигалогенидный интермедиат с участием молекул H_2O.

В интервале температуры 30-60°С выход бромгидринов (3,4) увеличиваются и достигают 72,6-78,4%. Далее была изучена реакция замещения брома в соединениях (3,4) на пиперидинильный или морфолинильный радикал в условиях щелочного превращения их, аминоспирты (5-10). Выходы аминоспиртов достигает 76-82% соответственно.

На основе синтезированных аминоспиртов путем взаимодействия их с пентан-1-тиолом в растворе петролейного эфира (или толуола) в присутствии безводного $ZnCl_2$ получены N, S содержащие производные (11-18) с выходоми 75,6-78,5%.

Синтезированные аминотиосоединения (11-18) были протестированы в качестве антимикробных присадок к моторному маслу М-10 и эмульсионной смазочно-охлаждающий жидкости Азероль-5.

Полученные результаты тестирования показывают, что некоторые представители этого класса соединений в количестве 0,25-1,0% проявляют высокую активность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Машковский М.Д. Лекарственные средства. М.: Новая волна, 2002, 608 с.

2. Палчиков В.А. Морфолины. Синтез и биологическая активность // ЖОрХ, 2013, Т.49, №6, с.807-831.

3. Алимарданов Х.М., Сулейманова Э.Т. Химия природных и синтетических душистых вещества. Баку, Элм, 2018, с.281-331.

4. Садыхов К.М. Смазочно-охлаждаюшие жидкости для механической обработки материалов. Баку, Элм, 2007, 256 с.

5. İsmayılova Ş.İ., Sadıqov O.A., Əlimərdanov H.M., Abbasov M.F., Qəribov N.İ., Paşabəyli N.A. Aminspirtlərin alınma üsulu. İxtira a2018 0156. Dövlət reyestrində qeyd olunub: 08.05.2021.

УДК 547.597: 542. 934:541.127

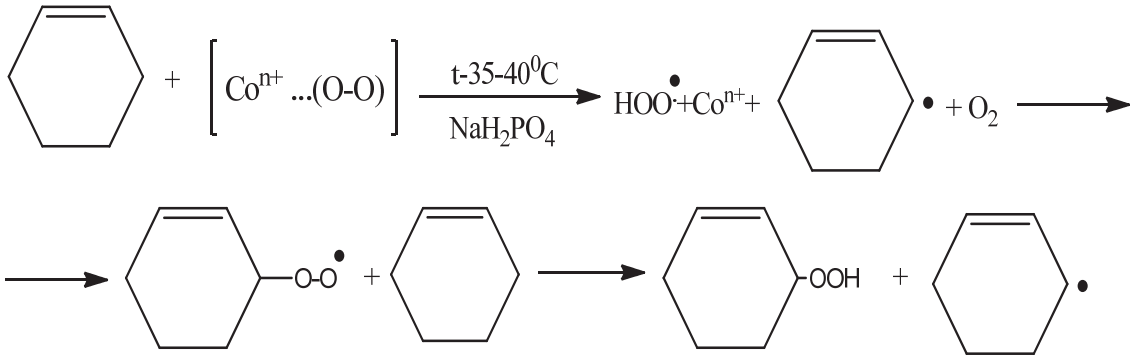
Алимарданов Х.М., Гарибов Н.И., Мусаева Э.С., Дадашова Н.Р., Гусейнова Ф.А., Мамедов А.А.

(Институт Нефтехимических Процессов имени Ю.Г. Мамедалиева МНО Азербайджанской Республики)

СОВМЕЩЕННЫЕ РЕАКЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОМЕРОВ ЭПОКСИДИЦИКЛОПЕНТАНА И ЦИКЛОГЕКСЕНОЛА С УЧАСТИЕМ «IN SITU» ОБРАЗУЮЩИХСЯ CO(III) ОКСОПЕРОКСОФОСФОРМОЛИБДАТНЫХ СИСТЕМ

Получение алициклических кислородсодержащих соединений остается важным направлением в современном нефтехимическом синтезе. Циклические кислородсодержащие соединения, благодаря своей структуре и наличия функциональных групп являются основной составляющей большинства лекарственных и парфюмерных препаратов. К тому же они являются ценными синтонами в тонком органическом синтезе, а также в полимерной и строительной отраслях промышленности, в качестве антиоксидантов и склеивающих наполнителей, соответственно[1].

Ранее нами проводилось одностадийное жидкофазное каталитическое окисление циклогексена, изомеров 1- и 3-метил циклопентена, 4-винилциклогексена кислородом воздуха в присутствии катализатора ($CoBr_2$ +$MoOBr_3$) [2]. При конверсии исходного углеводорода 50-60%, реакция протекает не избирательно. Но в тоже время кислород воздуха по многим показателям превосходит другие окислители (пероксид водорода, органические пидропероксиды, пероксикислоты) и др. Он доступен, недорогой, отвечает современным экологическим требованиям. Также его применение позволяет упростить технологическую схему, ввиду однофазности окислительного процесса. Учитывая вышесказанное была поставлена задача проведения окислительного процесса с использованием кислорода воздуха, как окислителя, на первой стадии с участием катализатора $CoBr_2$ и NaH_2PO_4 – стабилизатора образующегося гидропероксида циклогексенила (ГПЦГ) высокой чистоты (свыше 90%) и на 2-ой стадии эпоксидированием дициклопентена (ДЦП) с (ГПЦГ) при участии Co(II) оксопероксофосформолибдатных систем получить трициклические эпоксиды с селективностью 90-95%. В связи с этим в данной работе представлены результаты исследований 2-стадийной реакции совмещенного получения эпоксида изомеров дициклопентена и циклогексенола. Ниже представлена схема 1-ой стадии реакции:



Реакцию жидкофазного каталитического окисления ЦГ кислородом воздуха с участием катализатора $CoBr_2$ и стабилизатора образующегося гидропероксида NaH_2PO_4 на лабораторной установке барботажного типа снабженного фильтром Шотта, узлами отбора проб и ввода реагентов, нагревателем, системой холодильников, термометром и приемником Дина-Старка. Количество образующегося гидропероксида определяли йодометрическим титрованием [3].

В таб.1 представлены результаты исследований зависимости конверсии ЦГ и состава оксидата от температуры и времени продолжительности эксперимента. Наилучшие результаты по селективности

ГПЦГ –92,5% достигаются при температуре 35°С и продолжительности эксперимента 6 часов. Конверсия ЦГ составляет 25,3%. Полученную ГПЦГ выделяли по методике [4].

2-ю стадию реакции совмещенного получения эпоксидициклопентана и циклогексенола проводили на установке алкилирования, снабженную мешалкой, обратным холодильником. 70% раствор ГПЦГ (в качестве растворителя использовали дициклопентен) подавали сверху бюреткой Баландина. Скоростью подачи раствора гидропероксида регулировали температуру реакции.

Оксопероксомолибдатные комплексы состава $Co\{PO_4PMoO(O_2]_4\}$ готовили перемешиванием полученного катализатора с 30-35%-ным водным раствором H2O2 при температуре 40^0С в течение 24 часов. Полученный катализатор становился мелкодисперсным (по данным СЭМ) и меняет окраску в зеленый цвет.

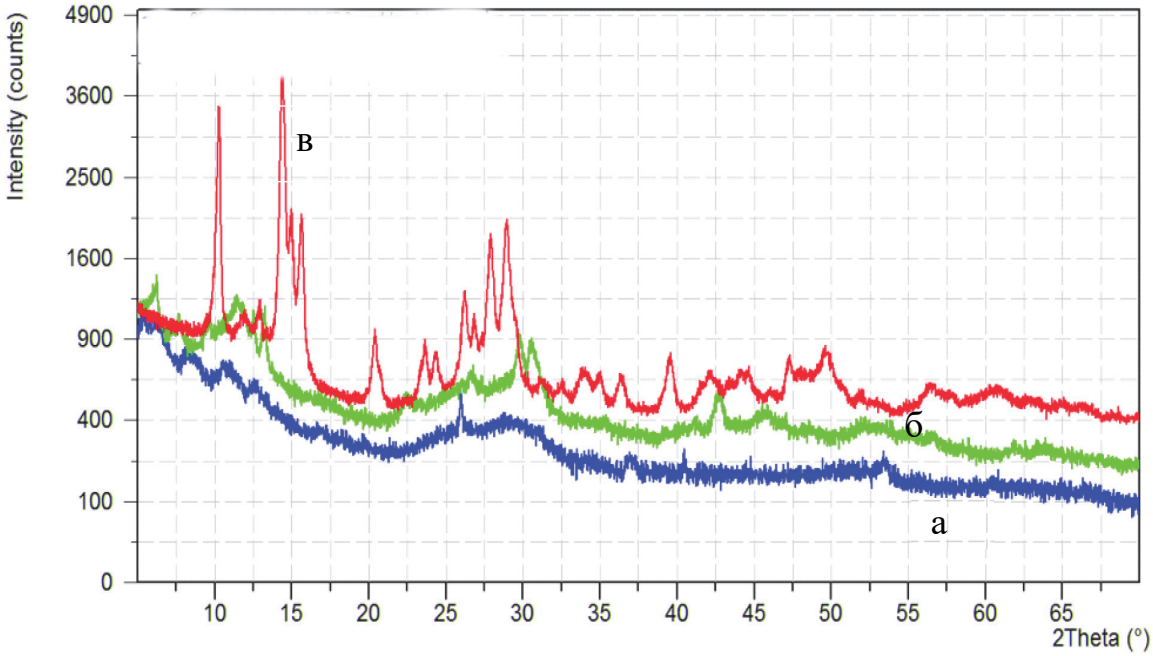


Рисунок 1 - Дифрактограмма каталитической системы приготовленной на основе полиоксомолибдата и бромида кобальта (II) – комплекса Co{□□4[P□ □□(□2]4}

а) исходный катализатор приготовленный на основе $H_3[PMo_{12}O_{40}]$ +$CoBr_2$

б) образец катализатора нагретый до 250 -280 °С

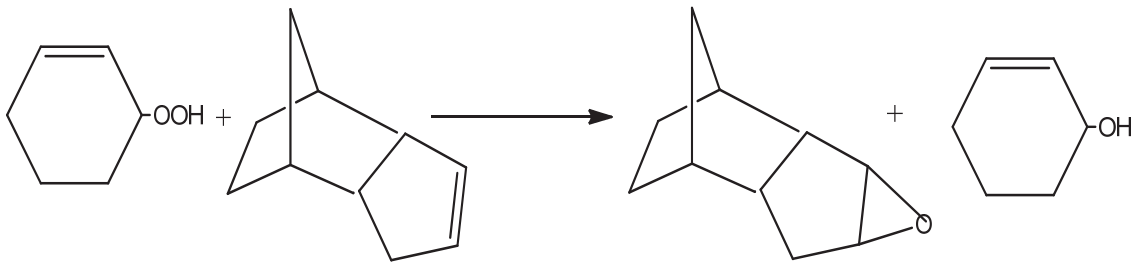
в) образец катализатора обработанный пероксидом водорода при 40°С с мольным соотношением кат: H_2O_2= 1:4

Рентгенофазовый анализ синтезированной каталитической системы показывает наличие фаз $CoPO_4$ и $(MoO_2)_{0,5}PMo_{14}O_{42}$ на рис. 1.

Таблица 1 – Условия опытов и результаты жидкофазного окисления циклогексена кислородом воздуха в присутствии смеси C□Br_2 и NaH_2PO_4 (мольн. соотн. 3:1)

Т-ра,°С	Продолжительность, час	Количество воздуха, л/час	Количество $CoBr_2$, 10^{-4}молль/моль ЦГЕ	Конверсия ЦГ, %	Состав жидкого катализата,масс%						Выход ГПЦГ,% на прев. ЦГ
					Гидро-пероксид	ЦГ оксиран	Непредельный спирт	Непредельный кетон	ЦГЕ возвратный	Высок. кип. Остаток	
35	6	20	2,74	25,3	21,8	1,0	2,6	1,1	73,2	-	92,5
40	6	20	2,74	36,4	37,9	2,0	3,4	1,4	55,3	-	83,0
50	6	20	2,74	44,1	40,0	1,2	3,7	4,1	51,0	-	81,6
55	6	20	2,74	50,5	39,0	1,4	9,5	8,8	41,3	-	63,1
60	6	20	2,74	57,4	28,8	3,8	17,0	13,7	33,7	3,0	43,0
65	6	20	2,74	62,1	24,2	5,1	18,9	13,9	30,2	7,7	30,1
80	6	20	2,74	70,6	12,7	4,7	23,4	20,0	30,6	8,6	17,0
50	4	20	2,74	38,3	38,5	2,3	3,0	2,1	54,1	-	78,4
50	8	20	2,74	46,0	42,4	2,3	4,2	2,4	45,9	2,8	74,3
50	10	20	2,74	50,2	39,0	3,0	6,2	3,0	44,1	4,7	59,9

2-я стадия совмещенной реакции получения эпоксидициклопентана и циклогексенола протекает по следующей схеме:



Как ранее было описано по окислению ЦГ кислородом воздуха на 2-ой стадии также исследовались зависимости конверсии субстрата, состав оксидата от времени продолжительности эксперимента и мольного соотношения ДЦП: ГПЦГ.

При максимальной степени превращения ДЦП 57,1% и ГПЦГ 89,1% увеличение продолжительности реакции до 5 часов приводит к увеличению количества высококипящих олигомерных соединений и к падению селективности реакции по эпоксиду от 99.5 до 92.9%

Таблица 2 – Влияние различных факторов на степень превращения ДЦП и состава оксидата в реакции совмещенного получения эпоксициклопентана и циклогексенола (Т 80 °С, колич-во кат. 5% мас. от исходных реагентов)

Молярное соот-е ДЦП: ГПЦГ	Продолжительность, τ, час	Степень превр., %		Состав оксидата, % масс						Селект % по эпоксиду
		ДЦП	ГПЦГ	Эпоксид	Непр. спирт	Непр. кетон	Эпокси. спирт	Возврат. ДЦП	Неиден. соед	
1:1	3	55,8	63,7	26,6	40,6	7,8	2,3	19,0	3,7	93,0
1,5:1	3	46,2	68,3	22,8	34,1	6,0	4,0	30,1	3,0	91,0
2:1	3	43,5	87,4	29,9	25,0	4,4	4,6	33,3	2,8	95,3
3:1	3	32,0	94,8	24,4	24,7	2,2	1,3	47,8	-	95,5
4:1	3	24,8	95,0	21,6	19,4	2,6	-	56,5	-	97,0
1,5:1	1	12,0	21,3	7,9	40,0	3,2	-	48,3	-	99,5
1,5:1	2	43,4	48,7	27,4	29,8	5,2	5,0	30,1	2,5	95,3
1,5:1	4	54,6	82,0	32,2	28,4	5,5	6,1	23,8	4,0	93,8
1,5:1	5	57,1	89,1	33,2	27,5	5,8	6,2	22,5	4,8	92,9

Выводы

1. Синтезированные оксопероксомолибдатные комплексы проявляют высокую активность в совмещенных реакциях получения эпоксидициклопентана и циклогексенола, позволяя в мягких условиях (Т 80 °С, τ 3 ч.) получать эпоксид с селективностью выше 95%.

2. Полученный циклогексенол, имеющий в своем составе непредельность и гидроксильную группу, является ценными синтоном в тонком органическом синтезе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Х.М.Алимарданов, Э.Т.Сулейманова “ Химия природных и синтетических душистых веществ “, Издательство Элм, Баку- 2017. 516с.

2. Н.И.Гарибов “ Окисление C_6-C_8 циклоолефинов кислородом воздуха в присутствии смеси бромида кобальта и оксобромида молибдена” Ж. “Нефтехимия и нефтепереработка” 2014, т.15. №4(60), с.290-297

3. А.К.Бабко, И.В.Пятницкий /Количественный анализ/, Москва: Высшая школа., 1962-508с.

4. А.С.Фролов, Е.А.Курганова, Г.Н.Кошель, А.С. Данилова: Выделение гидропероксида изопропил-орто-ксилола методом экстракции: Вестник Воронежского технологического университета, 2015, т.18 №18

УДК 547

Басханова М.Н.
(Грозненский Государственный нефтяной технический университет
имени академика М..Д. Миллионщикова)

АЛКИЛИРОВАНИЕ ИЗОБУТАНА ОЛЕФИНАМИ НА ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ: ПУТЬ ОТ ЛАБОРАТОРИИ К ОПЫТНО – ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКЕ

В основном существующие в мире технологии алкилирования изобутана олефинами основаны на применении в качестве катализаторов чрезвычайно опасных по экологическим и эксплуатационным характеристикам фтористоводородной или серной кислоты. Первая в Советском Союзе промышленная установка для производства алкилбензина была разработана научными сотрудниками ГрозНИИ, построена в Грозном в августе 1942 года и введена в пробную эксплуатацию в середине 1943 г.

Кислоты характеризуются высокой активностью и селективностью, при этом имеют целый ряд существенных недостатков.

Применение в качестве катализаторов фтористого водорода или серной кислоты в традиционных технологиях получения алкилата создает чрезвычайно серьезные экологические и эксплуатационные проблемы:

– образование кислых отходов, требующих нейтрализации и регенерации;

– кислоты вызывают коррозию металлического оборудования;

– фтористоводородная кислота особенно опасна из-за способности к образованию стойких аэрозолей при аварийной утечке;

– хранение неиспользованной или отработанной серной кислоты требует дополнительных мер безопасности;

– сернокислотным установкам необходимо также дорогостоящее охлаждение для поддержания соответствующей температуры реакции;

– при применении фтористого водорода любая авария или ошибка персонала может привести к гибели всего персонала и близко проживающего населения.

Разработка методов, позволяющих заменить традиционные небезопасные технологии получения алкилбензина на процессы твердокислотного алкилирования – это весьма актуальная задача [1].

В настоящее время в России эксплуатируется 5 установок сернокислотного алкилирования и 2 установки фтористоводородного алкилирования и отсутствуют промышленные технологии производства алкилбензина на гетерогенных катализаторах.

В последние годы, благодаря успехам в области твердокислотного катализа, появились предпосылки для создания процесса получения алкилата по малоотходной, исключающей загрязнение окружающей

среды, технологии, хотя до настоящего времени экологически безопасная технология производства алкилата в промышленном масштабе никем в мире не реализована.

В мире существует лишь одна установка по производству алкилата в промышленном масштабе, которая реализована в Китае. Технология “AlkyClean”, на базе которой построена установка в КНР, не лишена недостатков, так как для поддержания постоянной активности катализатора предлагается, по крайней мере, три реактора, которые используются параллельно. В любой момент времени два реактора находятся в работе, а один из реакторов периодически переходит в режим регенерации. Такой вариант технологии требует использования сложной схемы реакторного блока, что приводит к увеличению капитальных затрат и удорожанию технологии.

На протяжении многих лет в Институте нефтехимического синтеза РАН проводились научные исследования, связанные с технологией переработки нефтезаводских газов в высокооктановые компоненты.

Институт нефтехимического синтеза РАН разработал технологию производства алкилбензина на твердых катализаторах, которая не имеет перечисленных выше недостатков присущих зарубежным аналогам. Сырье для этого процесса предлагается получать из нерационально используемых нефтезаводских газов, в частности бутан-бутиленовой фракции.

В ИНХС РАН проведена работа по подбору оптимального состава катализатора алкилирования. Результаты исследований позволили разработать достаточно простую и воспроизводимую технологию приготовления цеолитных катализаторов с катионами кальция, редкоземельных элементов, аммония, имеющих высокую активность, селективность и стабильность в реакции алкилирования изобутана олефинами. Также в ИНХС РАН предложен способ и режим осуществления высокоселективного алкилирования изобутана бутиленами на цеолитных высокоселективных катализаторах (алкилирование в «структурированном» режиме – АСР) с использованием специально сконструированной проточной лабораторной установки [2]. Реактор выполнен из кварцевого стекла, что позволяет визуально наблюдать за процессом в зоне реакции и получать результаты экспериментов с особой точностью (загрузка катализатора – до 0,01 л). Затем была создана микропилотная установка с такой же загрузкой (Рисунок 1). На территории ПАО ЭлИНП (г. Электрогорск) на основе этих двух установок создали пилотную установку алилирования соответственно с большей загрузкой (500 $см^3$)

Полученные катализаторы были протестированы на лабораторной, микропилотной и пилотной установке алкилирования. Все установки позволяют осуществлять процесс в специальном «структурированном режиме». Новизна такого способа осуществления реакции алкилирования

заключается в применении ряда инновационных решений, позволяющих значительно увеличить длительность работы катализатора по сравнению с разрабатываемыми аналогичными методами.



а) б)

Рисунок 1 – Установки алкилирования изобутана олефинами на твердых катализаторах:
а) лабораторная установка;
б) микропилотная установка

Увеличение межрегенерационного пробега катализатора достигается созданием значительного «внутреннего» соотношения изобутана к олефину в зоне реакции (свыше 200:1) за счет циркулирующего потока изобутана, при этом «внешнее» соотношение изобутан:олефины находится на уровне 10:1. В результате применения специальных приемов в реакторе реализуется трехфазный режим осуществления процесса (алкилирование в «структурированном режиме») без потери производительности и селективности.

На установках проведены экспериментальные исследования по изучению закономерностей процесса и подбору оптимального режима реакции алкилирования изобутана бутиленами (температуры, давления, объемной скорости подачи сырья, соотношения iC4/C4= в сырье).

На основе положительных результатов, полученных в ИНХС РАН был разработан проект строительства испытательного стенда алкилирования (ИСА). На территории ПАО ЭлИНП (г. Электрогорск) по заказу ПАО «Газпром нефть» было осуществлено строительство уникального, единственного в России исследовательского стенда алкилирования изобутана олефинами на гетерогенных катализаторах производительностью 1 тонна в сутки по алкилату (рис. 2).

Появилась реальная возможность установить связь: академический институт (ИНХС РАН) – отраслевой институт (ПАО ЭлИНП) – нефтеперерабатывающий (нефтехимический) завод.

По результатам испытания созданных установок можно сделать вывод о целесообразности создания промышленной установки алкилирования

изобутана олефинами. В будущем планируется строительство установки алкилирования на твердых катализаторах мощностью по сырью 250 тыс. тонн/г.



Рисунок 2 – Испытательный стенд алкилирования (г. Электрогорск)

От реализации проекта в промышленности следует ожидать результат, выражающийся в создании комплексной энергоэффективной технологии, отличающейся минимальными капитальными и энергетическими затратами по сравнению с другими методами и с эффективным использованием углеводородных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трапезникова, Е.Ф. Смольникова, В.Т., Хафизова, С.Р., Николаева, Т.В., Нурисламова, Р.Р. Перспектива применения цеолитсодержащих катализаторов в процессе алкилирования // Сетевое издание «Нефтегазовое дело».2018. №4. http://ogbus.ru

2. Хаджиев. С.Н., Герзелиев, И.М., Ведерников, О.С., Клейменов А.В., Кондрашев, Д.О., Окнина, Н.В., Кузнецов, С.Е., Саитов, З.А., Басханова, М.Н. Новый процесс производства алкилата // Катализ в промышленности. – 2016. – Т.16. - №6. – С.42-47.

УДК 332

Мамедова С.Б.
(Университет Одлар Юрду, Баку, Азербайджан)

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИННОВАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Введение. Обычно, думая о нефтяной отрасли, в первую очередь думают о поиске, разведке и добыче нефти. Но для успешного функционирования этой отрасли необходима эффективная сфера услуг,

предоставляющая широкий спектр услуг – от геологоразведки до производства оборудования. В то же время от сферы обслуживания нефтяной отрасли зависят предпосылки и возможности решения многих задач производства, повышения его уровня инновационного развития и эффективности. Усиление роли сферы услуг в нефтяной отрасли связано также с тем, что нефтегазовые компании, ведущие силы мирового нефтяного бизнеса, сосредотачивают свою деятельность на получении лицензий на право пользования недрами, обеспечении финансирования и организации производственных процессов. При этом значительная часть разведки и разработки месторождений осуществляется предприятиями специального обслуживания. Этот процесс, среди прочих факторов, связан с увеличением технологической сложности добычи нефти и газа. Когда операционная среда является рискованной, а также конкурентной, энергетические компании не оснащены инновационными возможностями, поэтому у них нет персонала, способного работать с этой технологией. В таком случае, приобретая технологические услуги, он принимает на себя риски использования оборудования соответствующих предприятий. Поэтому нефтяные компании должны иметь возможность реализовывать свои технологические операции для управления рисками и сделать свои человеческие ресурсы и технические возможности пригодными для использования в технологических инновациях. При этом произойдет оптимизация расходов нефтяных компаний.

Инновационные тенденции развития и факторы риска нефтегазовой отрасли. В современных условиях разработка и использование многих новых технологий добычи углеводородов происходит либо по инициативе, либо при участии соответствующих предприятий, оказывающих услуги. Умный, высокотехнологичный сервис может значительно снизить как затраты на увеличение единицы запасов, так и себестоимость продукции, хотя и за счет более высоких затрат. Следует отметить, что благодаря современным технологиям, а также использованию точной информации о свойствах и структуре месторождений, хотя количество скважин и сокращается, достигается более высокая продуктивность и, следовательно, обеспечивается рентабельность добычи. Нефтяная и газовая промышленность является наиболее важным сектором энергетического рынка и играет важную роль в мировой экономике как основные источники топлива в мире. Процессы и системы, связанные с добычей и распределением нефти и газа, очень сложны, капиталоемки и требуют самых современных технологий. Как мы знаем, энергия является важным ресурсом мировой экономики. Потому что его присутствие требуется практически в каждой отрасли. Чтобы удовлетворить глобальный спрос на энергию, компании вкладывают огромные капиталы в реализацию

транснациональных проектов. Если эти проекты не планируются, не организуются, не выполняются и не контролируются должным образом, они могут представлять высокие риски как для государств, так и для акционеров. Неспособность устранить риски проекта не только подрывает успех проекта, но и может иметь серьезные последствия для компаний, такие как потеря конкурентных преимуществ или репутационный ущерб.

Достижение положительных результатов планов действий возможно за счет сохранения рядом компаний на переднем плане факторов эффективности и результативности. Выполнение определенных аспектов проекта с учетом прогнозируемых финансовых ресурсов является показателем эффективности. Эффективность можно оценить как достижение поставленной цели [4]. Предприятия и компании нефтегазовой отрасли, обладающие новыми производственными возможностями, более заинтересованы в применении новых методов управления проектами. В рамках энергетических проектов организуется разведка месторождений, добыча выявленных ресурсов, необходимая переработка и доставка в точки реализации. В настоящее время управление проектами рассматривается как часть бизнес-процессов в деятельности компаний. В связи с этим инновационные аспекты деятельности компаний отрасли находятся под постоянным контролем [2]. В текущей ситуации нефтегазовые компании сталкиваются со множеством рисков и неопределенностей, которые усложняют реализацию проектов. Конечная цель, к которой стремятся компании, — эффективная и экономически выгодная добыча и переработка углеводородной продукции. Это также возможно за счет увеличения запасов углеводородов, оптимизации добычи и минимизации рисков в проектах.

Методика управления рисками на предприятиях нефтегазовой отрасли включает мероприятия, которые должны осуществляться системно [5]:

1. Определение этапов управления рисками в проекте;

2. Раскрытие рисков, влияющих на проекты, а также документирование характеристик рисков;

3. Определение последовательности действий, которые необходимо предпринять, оценивая возможность реализации рисков и их последствий;

4. Количественный анализ возможного влияния выявленных рисков на результаты проекта;

5. Поиск решений в целях повышения возможностей предприятий, а также минимизации воздействия потенциальных угроз.

6. Управление рисками, их мониторинг и оценка эффективности управления рисками в процессе реализации проекта. Высокое развитие нефтяного сектора в Азербайджанской Республике по сравнению с другими секторами является важным фактором, влияющим на экономическую активность.

Доходы от нефтегазовой отрасли являются основным источником финансовых ресурсов для других сфер экономической деятельности. В том числе валютные доходы, полученные от продажи сырья или продуктов переработки нефтяной промышленности в зарубежные страны, определяют размер стратегических валютных резервов страны. Нефтегазовый комплекс оказывает мультипликативный эффект на экономику страны. Реализуемые проекты в сфере добычи и переработки нефти и газа приводят к постоянному росту рабочих мест [7]. В рамках мироэкономических связей нефтегазовая отрасль остается главной движущей силой. С одной стороны, мировой спрос на углеводородное топливо продолжает расти, а с другой стороны, компании сталкиваются со сложными инвестиционными проблемами из-за суровых условий ведения разведки и добычи. Кроме того, международные нормы по правилам безопасности труда направлены на обеспечение безопасной рабочей среды.

Разведка и добыча в нефтегазовой отрасли по-прежнему создают локальные и глобальные экологические риски, такие как загрязнение воды или, в более широком смысле, изменение климата. Механизмы анализа и отчетности являются основными показателями эффективности устойчивого развития на уровне нефтегазовых компаний. Однако сбор и анализ необходимых данных представляется стойким недостатком с точки зрения того, насколько полученные результаты могут повлиять на текущие и стратегические решения нефтегазовых компаний. Хорошо известно, что эффективная стратегия применения технологий искусственного интеллекта в общеоперационном мониторинге и контроле необходима, чтобы дать возможность нефтегазовым компаниям измерять и контролировать риски, а также управлять инцидентами. Подобные изменения не только способствуют повышению прибыльности нефтегазовых предприятий, но и повышают осведомленность об окружающей среде и изменении климата, а также побуждают компании действовать более ответственно.

В рамках природоохранных мероприятий в нефтегазовой отрасли целесообразно отразить в законодательной базе различные принципы, поддержать природоохранные мероприятия и включает в себя следующее [1]:

– должен стимулировать минимизацию ущерба путем организации инновационного производства в качестве сторонника государственной политики, связанной с защитой экологических элементов;

– возмещение ущерба природе не гарантируется;

– ответственность за несоблюдение правил, определенных законодательной базой, должна быть адекватной ущербу и должна удерживать компанию от причинения ущерба окружающей среде.

Применение современных методов в управлении предприятиями нефтегазовой отрасли – это устойчивая организация деятельности в

соответствии с экологическими нормами, что считается одним из главных требований современной эпохи.

Проблемы инновационного управления предприятиями нефтегазовой отрасли и направления их устранения. Постоянное развитие важно для улучшения ряда организационных показателей предприятия. Устойчивое развитие нефтегазового сектора в основном ускоряется под воздействием внутренних и внешних факторов. Добыча нефти характеризуется сложным составом процессов и различными рисками. Однако динамичное развитие деятельности предприятия делает актуальным изучение внешних факторов. Неотраслевые факторы характеризуются циклическим подходом к волатильности цен. Помимо отраслевых факторов, влияющих на цены, наиболее важным из внешних факторов, которые мы упомянули, является усиление международного давления на нефтяные компании за счет расширения использования альтернативной энергетики вместо нефти и газа. Использование источников энергии нового поколения, безусловно, порождает необходимость реорганизации ряда отношений на разных уровнях экономики страны [6].

За последние годы нефтяная отрасль столкнулась с рядом сложных проблем. Следует отметить, что нефтяная промышленность должна инвестировать пропорционально меняющемуся спросу на энергию в мире. С другой стороны, учитывая более конкурентную деятельность в этих секторах, соответствующая отрасль должна регулировать общую стоимость добычи углеводородных ресурсов, уделяя при этом внимание экологическому законодательству и социальной ответственности.

К числу важных вопросов, касающихся нефтегазовой отрасли, относятся:

– резкое изменение цен;

– усиление давления на менеджеров компании со стороны акционеров, которые ориентируются на создание добавленной стоимости, а не на производство из-за низкой рентабельности инвестиций;

– сложность процесса бурения и добычи;

– рост спроса на нефть и газ в большинстве регионов;

– актуальность социальных аспектов функционирования и защита корпоративной социальной ответственности;

– изменение налоговых режимов;

– затраты на научные исследования и разработки, а также на инновации;

– возрастающая сложность управления информацией и знаниями.

Изменение и совершенствование структуры управления нефтегазовой отраслью должно осуществляться в полной зависимости от поставленных перед ней задач. Наряду с задачами, стоящими перед нефтегазовой

отраслью в целом, существуют и более конкретные задачи, связанные с устранением недостатков, с которыми сталкиваются отдельные компании. Устранение перечисленных ниже недостатков можно рассматривать как предмет важных задач:

– в связи с ростом затрат при добыче углеводородных ресурсов, в том числе постоянной нехваткой финансовых ресурсов компании, необходимых для решения текущих задач и дальнейшего развития отрасли. Этот фактор требует создания в компании системы управления финансовыми потоками на основе современных методов;

– отсутствие финансовых ресурсов для проведения геологоразведочных работ. Поскольку соответствующая деятельность осуществляется не на уровне государства, а на уровне нефтяной компании, подход к их планированию наблюдается в рамках определенных структурных подразделений;

– постоянная нехватка материально-технических ресурсов для организации буровых и добывающих работ из-за отсутствия финансовых ресурсов и низкого уровня организации тендеров на закупку различного оборудования;

– низкий уровень управления процессами бурения и добычи приводит к огромным потерям. При этом ожидаемый результат задерживается и производство снижается;

– происходят постоянные задержки в реализации инвестиционных проектов по различным причинам, которые характеризуют существующую систему управления инвестиционными проектами как несовершенную;

– отсутствие системной работы по организации новых направлений деятельности в сфере нефтехимии;

– неэффективное использование всех видов ресурсов компании из-за многоуровневой структуры управления. Учитывая эти факторы, а также перспективы развития экономики в целом, отрасли и отдельных нефтегазовых компаний, дальнейшее совершенствование структуры управления в отрасли должно быть направлено на решение следующих задач на отраслевом уровне:

– за счет применения современных методов разведки углеводородных ресурсов обеспечить их прирост темпами, превышающими темпы роста добычи. Также потребуется пересмотреть систему планирования и финансирования геологоразведочных работ, переведя эту работу из системы соответствующих нефтяных компаний на государственный уровень, как и в случае всех других видов геологоразведочных работ в стране;

– применение современных методов добычи углеводородных ресурсов, повышение уровня добычи, развитие методов добычи из глубоких

и сложных скважин и снижение производственных потерь. Это также потребует применения современных систем управления технологическими процессами, основанных на применении информационных и компьютерных технологий;

– применение современных экологически чистых технологий геологоразведки и добычи сланцевой нефти и привлечение для этих целей опытных иностранных компаний;

– обеспечение ускоренной структурной модернизации отрасли, в том числе увеличения удельного веса направлений с высокой добавленной стоимостью, прежде всего на базе переработки нефти и газа. В этих целях необходимо сосредоточить функции управления по запуску и эксплуатации вновь создаваемых нефтегазохимических месторождений;

– во всех сферах, в том числе повышение производственно-экономической эффективности отрасли за счет широкого применения современных информационных технологий, а также укрепления управленческих отношений, связанных с управлением и оптимизацией программ, финансовых потоков;

– подготовка высококвалифицированных кадров. В качестве одного из важных шагов на уровне отдельных нефтегазовых предприятий с целью адаптации структуры управления компании к поставленным задачам можно отказаться от существующей линейно-функциональной структуры управления предприятием и перейти к системе, сочетает в себе управление инвестиционными проектами, используемое в международной практике.

Количественные и качественные показатели нефтяной компании характеризуют ее деятельность. Увеличение объема производства представляет собой количественный параметр. То есть объемы добычи нефти и газа должны быть понятны нефтяной компании. К качественным аспектам деятельности относится достижение оптимальности финансовых показателей, а также высокой рентабельности, а также минимальных затрат. К основным целям устойчивого развития компаний следует отнести следующее структурирование по различным направлениям [3]:

1) реализация производственных планов: - защита вкладов; - поиск дополнительных источников углеводородов; - соблюдение норм при эксплуатации скважин; - реализация производства интенсивными способами; - организация производства и переработки на основе инноваций; - вовлечение остатков в переработку;

2) улучшение показателей финансовой отчетности: - доходы от коммерческой деятельности; - деятельность по созданию спроса; - улучшение каналов продаж; - оптимизация стоимости деятельности; - переход к ресурсосберегающей деятельности; - организация рационального управления путем предоставления свободы центрам управления на разных уровнях.

Выводы. Анализ форм внутренней организационной структуры и современных тенденций управления руководством крупных предприятий нефтегазовой отрасли показывает, что в последнее время произошел переход от линейных функциональных типов структур управления к структурам управления различной природы. Основными причинами перехода крупных предприятий нефтегазовой отрасли к гибкой и многовекторной структуре управления являются возрастающая диверсификация бизнеса и трудности инновационного управления технологически, в том числе функционально разными или географически удаленными предприятиями из одного центра, необходимость новые, более гибкие организационные структуры. Не существует единой оптимальной операционной структуры для всех случаев, и на практике нефтегазодобывающие или логистические предприятия или различные структурные подразделения должны выбирать организационную структуру управления, адекватную стратегическим планам компании и обеспечивающую эффективное взаимодействие с внешней средой. а также достижение цели. Поскольку в различных отраслях нефтегазового бизнеса в течение технологического периода существуют существенные различия, то есть от разведки до реализации нефтегазовой продукции, те, кто выбирает предприятия, работающие на протяжении всего периода или отдельные его отрасли, могут использовать комплекс организационная структура, сочетающая в себе необходимые качества моделей разных типов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наджафов Э.Э., Вопросы обеспечения экологической безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли, Нефтяная промышленность Азербайджана, №9, 2016 г.

2. Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Толстов А.Б. Методология проектирования в нефтегазовой отрасли и управление проектами, учебное пособие, Инфра-М, 2016

3. Добряков И.С. Основные направления и методы организационноэкономических изменений на предприятиях нефтегазовой отрасли, Вестник МГТУ, том 13, №1, 2010

4. Hasan H., Alhashimi M. The Impact of Project Management Methodologies on Project Success: A Case Study of the Oil and Gas Industry, Journal of Engineering, Project, and Production Management, 9(2), 2019

5. Stroie E.R., Rusu A.C., Security Risk Management – Approaches and Methodology, Informatica Economică, vol.15, no.1, 2011

6. Bento F., Garotti L., Prado Mercado M. Organizational resilience in the oil and gas industry: A scoping review, Safety Science, Vol.133, 2021.

7. https://socar.az/socar/az/home/

УДК 621.892

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

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЧИСТОТЫ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ

В процессе эксплуатации моторного масла под действием окружающего воздуха, температуры и давления происходит так называемое «старение» масла. Этот процесс включает в себя изменение свойств масел за счет окисления, разложения, полимеризации и конденсации углеводородов масла, а также образования сажи (неполного сгорания), разжижения горючим и обводнения [1]. Кроме того, при эксплуатации масло соприкасается с неметаллическими и металлическими материалами топливной системы автомобиля из-за чего в нем появляются механические примеси. Все эти процессы приводят к ухудшению эксплуатационных свойств масел и, соответственно, к необходимости их замены через определенный срок. На практике заводы-изготовители устанавливают ресурс моторных масел по пробегу или наработке в часах. Однако, в зависимости от зимних и летних условий эксплуатации техники процессы старения масел происходят с разной скоростью и их ресурс может быть не выработан полностью. Поэтому интерес представляет разработка доступных, экспрессных методов оценки ресурса моторных масел.

На практике [2, 3] остаточный ресурс моторных масел оценивают по изменению вязкости, щелочного числа и остаточному содержанию металлов и присадок методом ИК-спектроскопии (ГОСТ 60666, ASTM E2412). В работах [4, 5] предложено проводить оценку масел с помощью фотометрического определения коэффициента поглощения светового потока, определения содержания механических примесей, выделенных с помощью центрифуги, и испытания на трехшариковой машине трения со схемой «шар-цилиндр» противоизносных свойств масел. Все эти способы оценки остаточного ресурса масла требуют специфического оборудования и затратны по времени. Одним из доступных способов оценки загрязнений в масле является микроскопия. Данный метод позволяет визуально определить присутствие в масле механических примесей, их величину и распределение.

Целью работы являлось изучение распределение частиц в отработанном масле и продуктах его очистки и оценка возможности применения метода микроскопии для оценки чистоты моторных масел. В качестве объектов исследования выбраны образцы отработанного масла, как образец сравнения использовали чистое масло до эксплуатации. Суть метода заключатся в определении степени загрязненности твердыми

частицами масел путем подсчета частиц на поверхности мембранного фильтра. В качестве фильтрующего элемента использовали мембранный фильтр FilterBio PTFE Membrane Filer с размером пор 0,45 мкм. Равный объем масел разбавляли в 20-кратном избытке гексана и фильтровали. После испарения растворителя изучали поверхность фильтра на равномерность распределения частиц без перекрытия частиц. В случае, если частицы перекрывают друг друга необходимо увеличить разбавление исходной пробы. Изучали не менее 10 областей фильтра равного размера (1,27мм×0,97 мм), после чего подсчитывали количество и размер частиц в каждой области. Для подсчета частиц в пробе частицы классифицировали на требуемые размерные интервалы (5-15, 15-25, 25-50, 50-100 и более 100 мкм). Расчет числа частиц, *N,* размером больше выбранного определяли по формуле:

$$N=\frac{A\cdot n\cdot 10^5}{f\cdot L\cdot W\cdot V}\cdot 100,$$

где A – рабочая зона фильтрования мембранного фильтра, мм^2;
n – подсчитанное число частиц больше выбранного размера;
f – число подсчитанных единичных зон;
10^5 – фактор нормализации использования единиц измерения;
L – длина единичной зоны, мм;
W – ширина единичной зоны, мкм;
V – объем отфильтрованной жидкой пробы, мл;
100 – объем пробы, к которому относят результат подсчета, мл.

По полученным данным распределения частиц можно определить класс чистоты масла (NAS 1638) и, соответственно, оценить возможность применения отработанного масла для дальнейшего использования. Установлено, что в чистом моторном масле (до эксплуатации) преобладают частицы размером 5-15 мкм число которых составило 7880. Такое масло соответствует 6 классу чистоты по классификации NAS 1638. В наиболее загрязненном отработанном масле наблюдается большое скопление частиц размером до 25 мкм, что по классификации соответствует 12 классу чистоты. В очищенном отработанном масле наблюдается следующие распределения частиц на 5-15, 15-25 и 25-50 мкм и число частиц составляет 39500, 14500 и 13600. Такое распределения частиц соответствует 7-8 классу чистоты.

Таким образом в работе показана возможность применения микроскопии для построения распределения частиц и оценки класса чистоты отработанных масел согласно классификации NAS 1638. Метод микроскопии позволяет оценить размер и распределение механических примесей в отработанном масле, что может быть использовано для прогнозирования остаточного ресурса моторного масла.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь (грант ГБ 24-042 «Разработка способа переработки отработанных моторных масел с целью получения экологически безопасных масел-мягчителей для резинотехнической промышленности»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбачева О.М. Анализ проблемы очистки отработанных масел / О.М. Горбачева, А.С. Боровский // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург, 2017. – С. 400-403.

2. Корнеев С.В. Изменение характеристик моторного масла при эксплуатации двигателей CUMMINS автобусного парка г. Омск / С.В. Корнеев, С.В. Пашукевич, А.С. Савоськин, И.И. Ширлин // Вестник СибАДИ. – 2017. – Выпуск 2 (54). – С. 66-70.

3. Науменко А.М. Изменение диэлектрических характеристик моторного масла в процессе эксплуатации / А.М. Науменко, Д.А. Темкин // Материалы и технологии. – 2023. – № 2 (12). – С. 6-11.

4. Верещагин В.И. Методика оценки ресурса моторных масел / В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский, А.С. Попов // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 6. – С. 169-173.

5. Ковальский Б.И. Методика контроля состояния моторных масел в процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания / Б.И. Ковальский, В.Г. Шрам // Вестник ТГУ. Технические и физико-математические науки. – 2013. – № 3. – С. 95-100.

Секция II
ИННОВАЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ И БИОПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БПЛА. ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СЫРЬЕВЫЕ ИСТОЧНИКИ ДЛЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

UDC 004.94

Krmela Jan, Krmelová Vladimíra
(Alexander Dubček University of Trenčín (Slovak Republic))
Kasperovich Andrei
(Belarusian State Technological University)

COMPUTATIONAL MODELING OF SPECIFIC TENSILE TEST OF COMPOSITE WITH RUBBER MATRIX

The paper deals with the computational modelling of specific tensile test of composite with rubber matrix [1]. AG-X test machine plus 5 kN Shimadzu with a video-extensometer as a noncontact optical system is used for the test. The change in length and the true longitudinal strain is measured by the video-extensometer at a distance of ±25 mm from the center of the test specimen (the initial distance of 50 mm between the measuring points). The change of width (contraction) is measured together. Therefore, this tensile test is a specific test because the video-extensometer is used for the measurement of the change of width and length in the work area.

The real composite two-layer specimen consists of 2x0.32 steel cords as reinforcement with a diameter of 0.32 mm and an EPM of 560 m^{-1} (the EPM means that the distance between the cords is approximately 1.79 mm). The angle of the cord is ±23°, and the sample dimensions are a length of 135 mm, a width of 14.1 mm, and a thickness of 0.6 mm per layer.

The computational model is created based on the geometrical parameters of real composite specimens. The Ansys APDL (Ansys Parametric Design Language) procedure [2, 3] is used to create the computational model

for computational modelling of the strain-stress state. The SOLID186 volume element is used. The parameters of the material, as modulus of elasticity and Poisson ratio describe the steel cords with modulus of elasticity of 210 GPa and Poisson ratio of 0.3. For the definition of the elastomeric matrix, the Mooney-Rivlin two-parametric hyperelastic material model is used with parameters 0.55 MPa and 0.11 MPa. The computational model consists of approximately 11,000 elements. Summary reaction forces on the *z*-axis are searched. The computational model with cords is shown in Fig. 1. The computational model is reverse loaded by a displacement of 12.5 mm.

The results are obtained from the experiment: force at break of 595.2 N for deformation of 12.5 mm, true strength of 56 MPa, strength of 40.5 MPa (based on engineering approach), ductility (value of the true strain in working area when the test specimen breaks) of 12.2 %, contraction of 27.6 %, Poisson ratio of 2.2, and tensile modulus of elasticity of 460.8 MPa (based on true stress). The width of the specimen at break was 10.1 mm.

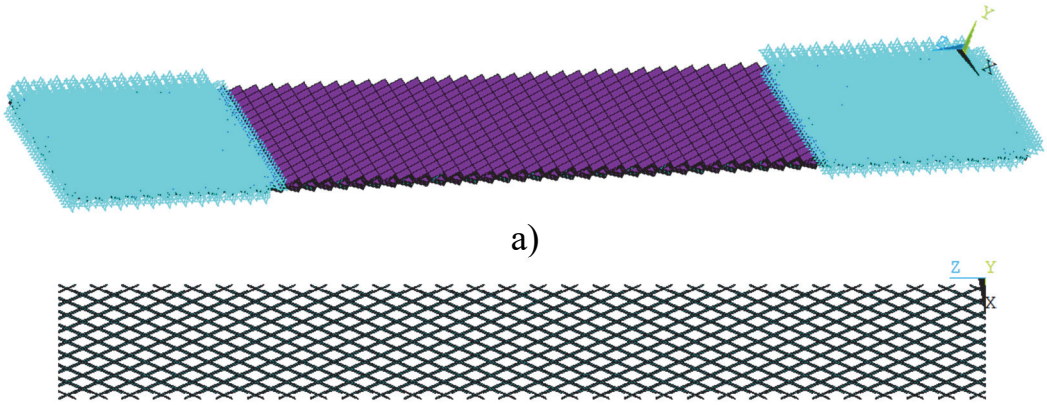


Figure 1 – Two-layer computational model (a) and steel cords inside model (b)

The displacement of the matrix and steel cords from the simulation are shown in Figs. 2 and 3.

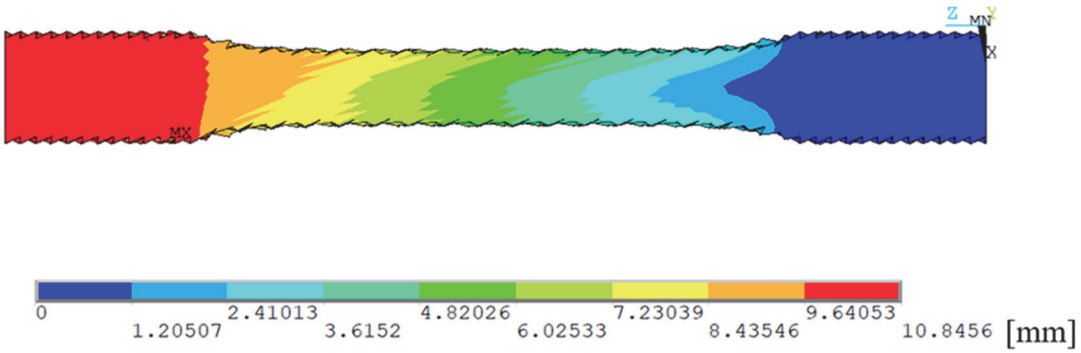


Figure 2 – Summary of the displacement of matrix

The results of computational simulations are verified with experimental data. The reaction tensile force based on simulation is 519.6 N for the deformation of 12.5 mm, see Fig. 4. The tensile force - true longitudinal strain / transverse strain dependences are shown in Fig. 5. The difference in tensile force at the same longitudinal deformation between the simulation and the experiment reached a difference of 9.2 %. The difference in tensile force at the same true longitudinal strain between the simulation and the experiment reached a difference of 12.7 %.

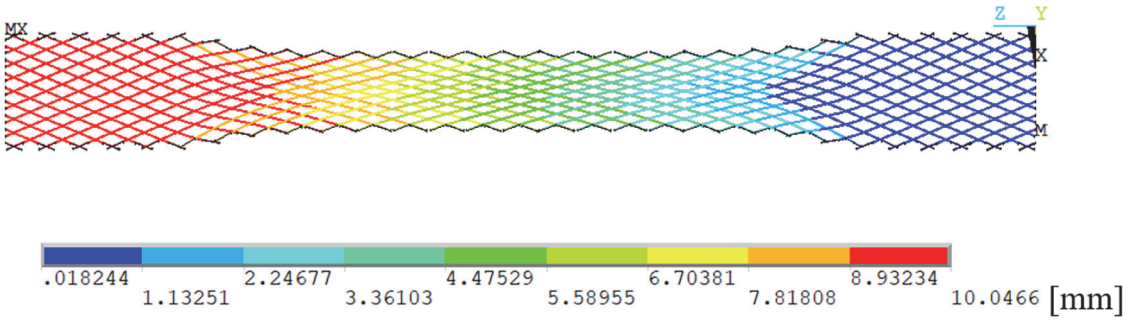


Figure 3 – Summary of the displacement of steel cords

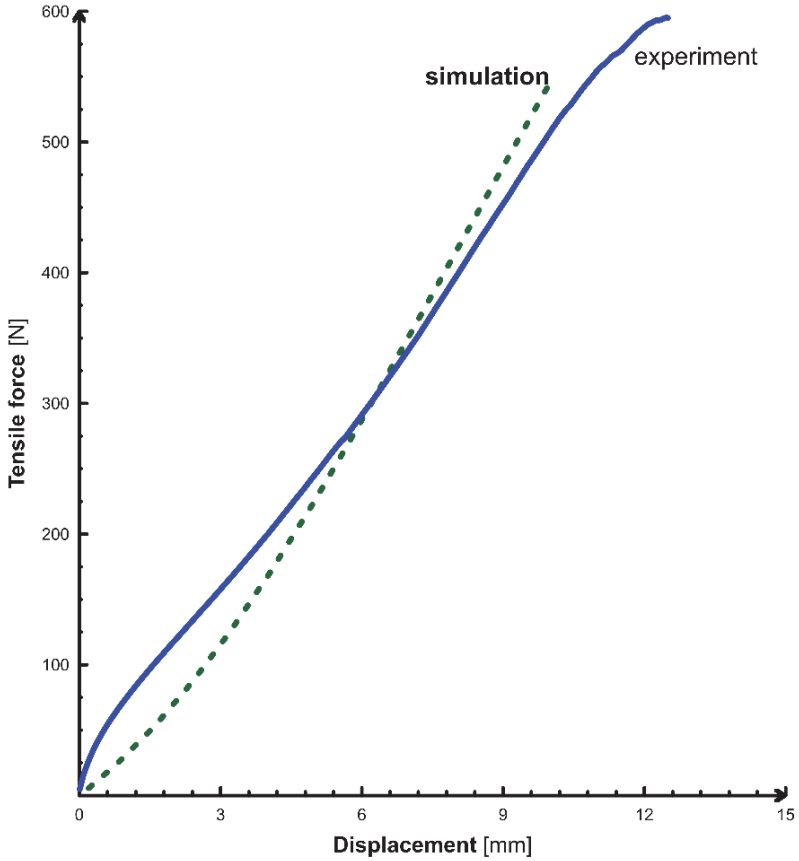


Figure 4 – Tensile force - displacement between jaws of tensile machine dependencies

Other results from computational simulations and experiments of composites are continuously published on the website www.laborator.sk.

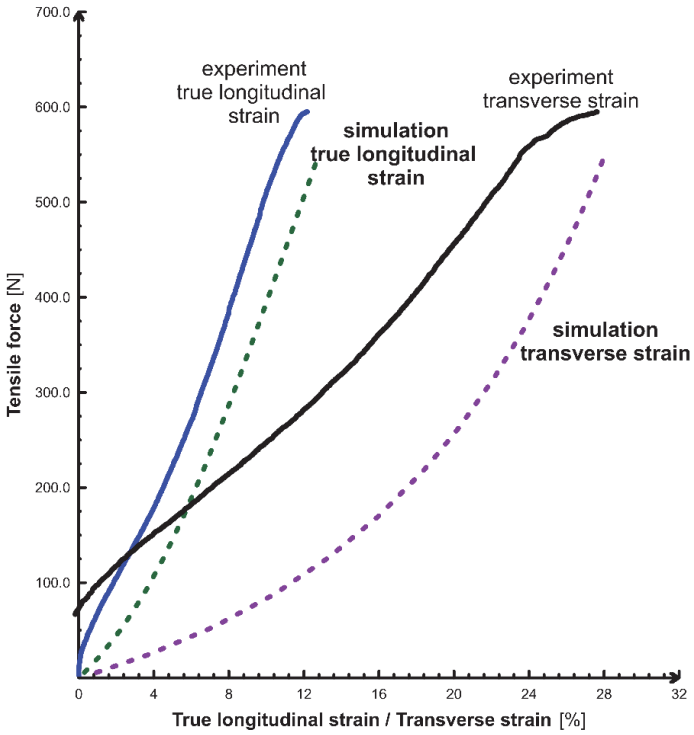


Figure 5 – Tensile force - true longitudinal strain / transverse strain dependencies

Acknowledgment: This research work had been supported by the Cultural and Educational Grant Agency of the Slovak Republic (KEGA), project No. **KEGA 003TnUAD-4/2022** "Simulation of basic and specific experiments of polymers and composites based on experimental data in order to create a virtual computational-experimental laboratory of mechanical tests".

REFERENCES

1. Krmela, J. Tire casings and their material characteristics for computational modeling. Oficyna wydawnicza slowarzyszenia menadzerów jakości i produkcji, Czestochowa, Poland. – 2017 –

2. Krmela, J., Krmelová, V., Artyukhov, A., Lex, C., Ondrušová, D. Simulations of tests of polymeric composites based on experimental data. In: Öchsner, A., Altenbach, H. (eds.) Engineering Design Applications V. Advanced Structured Materials, vol. 171, pp. 53–57. Springer, Cham. – 2023 – https://doi.org/10.1007/978-3-031-26466-5_4

3. Krmela, J., Krmelová, V., Artyukhov, A., Sadjiep, S., Bakošová, A. Computational simulation of the shear test of a multi-layered long-fibre composite with a polymer matrix. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1199, 012075. – 2021 – https://doi.org/10.1088/1757-899X/1199/1/012075

УДК 691.175.5/.8

Гринченко А.И., Черепанова В.А.,
Морозова З.А., Широкова Е.С.
(Вятский государственный университет)
Касперович А.В.
(Белорусский государственный технологический университет)

ДИНАМИЧЕСКИЙ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТ НА ОСНОВЕ ПВДФ/СКФ26

В качестве альтернативы традиционным резинам набирает популярность использование термоэластопластов (ТЭП). В этих материалах сочетаются два важных качества: эластичность при эксплуатации, что предполагает их применение в тех же областях, где и традиционная резина, и возможность повторной переработки как у термопластичного полимера [1].

Среди ТЭП большое значение приобретают именно композиции каучук – пластмассы, так как требуемые свойства можно легко регулировать, изменяя соотношение компонентов. Композиции могут представлять собой простые смеси с несшитой каучуковой фазой, либо смеси, в которых каучуковая фаза сшита посредством динамической вулканизации (термопластичный вулканизат, ТПВ, ДТЭП). По сравнению с традиционной резиновой технологией получения изделий ДТЭП исключают длительную энергоемкую стадию вулканизации; обеспечивают безотходное и экологически чистое производство, благодаря возможности многократной переработки без ухудшения эксплуатационных свойств, что способствует меньшему расходу материала для получения изделий (на 30 %) и снижают стоимость готовых изделий.

Ранее нами были получены смесевые ТЭП на основе фторсодержащего каучука СКФ-26 и поливинилиденфторида (ПВДФ, Фторопласт-2М марки А) производства ООО «ГалоПолимер Кирово-Чепецк». Показана агрессивостойкость полученных материалов, а также возможность их повторной переработки [2].

Целью данной работы было опробовать проведение динамической вулканизации для данной пары каучук-термопласт.

Известно [3], что для вулканизации фторкаучуков используют перекисную, фенольную и диаминную вулканизующие системы. В данной работе в качестве вулканизующего агента использовалась перекись Retico 40 сс в количестве 0,5 м.ч. и 1 м.ч. на 100 м.ч. каучука.

Приготовление композиции осуществлялось аналогично описанному в [4].

Для полученного материала оценивали физико-механические показатели согласно ASTM D638 на разрывной машины AGX ф. Shimadzu

при комнатной температуре на образцах типа 4 при скорости перемещения активного захвата 500 мм/мин и степень набухания в ацетоне в течении 24 часов. Исследуемая композиция заведомо нестойка к воздействию ацетона; данный растворитель был использован для подтверждения эффективности проведения динамической вулканизации.

Характеристики полученного материала, а также их сравнение с ранее полученными, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики полученного материала и их сравнение с ранее полученными

Показатель	Значение показателя					
Эластомерная фаза	СКФ-26			СКФ-32		
Содержание вулканизующего агента	0 [2]	0,5	1,0	0 [4]	0,5 [4]	1,0 [4]
Максимальное напряжение при разрыве, МПа	18,8	14,7	Перевулканизация	11,3	11,7	13,6
Удлинение при разрыве, %	339	280		128	103	134
Степень набухания, %	90	82		94	87	68

При приготовлении смесей на основе СКФ-26/ПВДФ, содержащих 1 м.ч. Retico 40 cc, была отмечена сильная реверсия, данная композиция далее не участвовала в испытаниях.

Снижение степени набухания в ацетоне для композиции на основе СКФ-26/ПВДФ, содержащей 0,5 м.ч. Retico 40 cc, свидетельствует о протекании процесса вулканизации и образовании поперечных связей. Однако можно предположить, что число образующихся поперечных связей слишком велико, т.к. отмечено снижение прочностных характеристик материала (в то время, как для композиций СКФ-32/ПВДФ отмечено их возрастание с ростом содержания перекиси). Таким образом динамическая вулканизация композиции на основе ПВДФ/СКФ-26 с использованием перекиси Retico 40 cc в качестве вулканизующего агента в количестве 0,5-1,0 м.ч. оказалась неэффективной. В дальнейшем предполагается использование меньших дозировок перекиси и проведение вулканизации с использованием фенольной и диаминной вулканизующих систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Холден, Х.Р. Крихельдорф, Р.П. Куирк Термоэластопласты / Пер. с англ. 3-го издания под ред. Б.Л. Смирнова – СПб.: ЦОП «Профессия», 2001. – 720 стр., ил.

2. Гринченко А.И., Морозова З.А., Широкова Е.С., Фомин С.В. // СМЕСЕВОЙ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТ НА ОСНОВЕ ПВДФ/СКФ26. - М.: ИОНХ РАН, 2024. - С. 248-249.

3. Фторэластомеры /С.П. Новицкая, З.Н. Нудельман, А.А. Донцов. – М.: Химия, 1988. – 240 с.: ил.Babu RR, Naskar K. Recent developments on thermoplastic elastomers by dynamic vulcanization. Adv Polym Sci 2011;239:219–48.

4. Е.С. Широкова, С.В. Фомин, З.А. Морозова , А.И. Гринченко, В.М. Бузник. Новые термоэластопласты на основе ПВДФ/каучук СКФ-32: влияние состава на технологические и эксплуатационные свойства // Известия высших учебных заведений. Серия "Химия и химическая технология". - 2024. - №67(3). - С. 111-118.

УДК 678

Шмакова А.Д., Скоробогатова А.А.,
Широкова Е.С.
(Вятский государственный университет)
Касперович А.В.
(Белорусский государственный технологический университет)

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИСТИРОЛА И МАСЛА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ОБУВНЫХ ТЭП

Для производства деталей низа обуви находят применение самые разнообразные полимерные материалы [1]: термоэластопласты (ТЭП), резина, поливинилхлорид, полиуретан, сэвилен. Начиная 70-х годов XX века композиции на основе ТЭП, постепенно вытесняют резины во многих видах повседневной обуви. ТЭП представляет собой материал, сочетающий эксплуатационные свойства вулканизованных каучуков с возможностью переработки композиции на стандартном оборудовании для переработки пластмасс [2]. Обувь с ТЭП-подошвой обладает рядом бесспорных достоинств, таких как износостойкость, высокий коэффициент сцепления, легкость, прочность, гибкость и удобство при эксплуатации, возможность вторичной переработки, низкая цена.

В настоящее время развитие обувного производства из ТЭП направлено на преодоление сильной зависимости отечественных производителей от импортного сырья и повышение качественных характеристик выпускаемой продукции при сохранении ее доступности для

широких слоев населения. Основными компонентами ТЭП композиции, вносящими вклад в технологические и эксплуатационные свойства, являются полимерная основа (тип и соотношение ТЭП и термопласта), масла-пластификаторы и наполнители. Основным технологическим показателем ТЭП композиций для производства подошв методом литья под давлением является показатель текучести расплава (ПТР), который должен составлять не менее 3 г/10 мин. Параметрами экспресс контроля качества получаемой ТЭП композиции являются физико-механические показатели (прочность при растяжении, удлинение при разрыве) и твердость.

Цель данной работы заключается в оценке влияния содержания масла и полистирола на технологические и эксплуатационные свойства обувных ТЭП.

Приготовление смесей на основе бутадиен-стирольного термоэластопласта СБС Л 30-01А и полистирола общего назначения ПСОН 525 производства ПАО «Сибур» осуществлялось на микросместителе РС-0,1 при температуре 150 °С и скорости 40 об/мин. В качестве наполнителя использовался микрокальцит, в качестве противостарителя – агидол. Были приготовлены 4 состава: в составах 1 и 2 содержание ПСОН 525 составляло 35 м.ч., содержание масла вазелинового составляло 40 и 50 м.ч. соответственно; в составах 3 и 4 содержание ПСОН составляло 50 м.ч., содержание масла вазелинового составляло 40 и 50 м.ч. соответственно. Оценку показателя текучести расплава проводили по ГОСТ 11645-2021 по методу А (температура 190°С, нагрузка 5кг); получение образцов для физико-механических испытаний проводили литьем на термопластавтомате SZS 15 С при температуре 190 °С; оценку физико-механических показателей проводили по ГОСТ ISO 37-2020 на разрывной машины AGX ф. Shimadzu при комнатной температуре и скорости перемещения активного захвата 500 мм/мин; твердость по Шору А оценивали по ГОСТ 283-85. Результаты оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты оценки технологических и эксплуатационных свойств исследуемых композиций

Показатели	Значение показателей			
Содержание ПСОН 525, м.ч.	35		50	
Содержание вазелинового масла, м.ч.	30	40	40	50
ПТР, г/10 мин	2,71	4,67	6,2	13,8
Прочность при растяжении, МПа	8,1	7,1	8,8	5,8
Удлинение при разрыве, %	215	220	120	150
Твердость по Шор А, ед.	62	54	72	57

Как видно из представленной таблицы увеличение содержания полистирола повышает твердость по Шору А, прочность и ПТР, но существенно снижает удлинение при разрыве. Увеличение содержания масла оказывает обратный эффект: уменьшается твердость по Шору А и прочность, но увеличивается ПТР.

Таким образом, варьируя содержание масла и полистирола можно получать композиции с плавным переходом от мягких к жестким.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карабанов П.С., Жихарев А.П., Белгородский В.С. Полимерные материалы для деталей низа обуви. - М.: КолосС, 2018. - 167 с.

2. Д. Холден, Х.Р. Крихельдорф, Р.П. Куирк Термоэластопласты / Пер. с англ. 3-го издания под ред. Б.Л. Смирнова – СПб.: ЦОП «Профессия», 2001. – 720 стр.

УДК 678.074.046.3.03

Боброва В.В., Касперович А.В.
(Белорусский государственный технологический университет)
Ефремов С.А., Нечипуренко С.В.
(Казахский национальный университет им. Аль-Фараби)
Вернигоров К.Б.
(ООО «СибурПолилаб»)
Казаков Ю.М., Стоянов О.В.
(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ КАРБОНИЗАТА РИСОВОЙ ШЕЛУХИ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЕГО ДИСПЕРСНОСТИ

В связи с необходимостью удовлетворения постоянно растущих промышленных, технологических, научных и потребительских требований к эластомерным композициям необходимо использовать дополнительные, инновационные методы для улучшения их свойств. Одним из них является модификация наполнителей, применяемых в эластомерных композициях, различными методами. Модификация бионаполнителей применяется с целью создать связь между матрицей и армирующим материалом, что позволило бы улучшить совместимость основных компонентов композиции друг с другом [1]. Обработка или модификация свойств поверхности натуральных материалов обычно повышает их адгезионные свойства, но при этом влияет на физико-механические

свойства полимерных композитов. Предыдущие исследования [2] показали, что химическая обработка считается одним из наиболее часто используемых методов обработки поверхности сельскохозяйственных материалов. Однако следует отметить, что химическая модификация наполнителей имеет недостатки, в том числе технологические. В случае химической активации требуемое количество активирующего агента обычно превышает в несколько раз по массе обрабатываемый материал [3].

Результаты данного исследования показывают различия в методах физической модификации карбонизата рисовой шелухи (КРШ), используемого в качестве наполнителя для эластомерных композиций, с точки зрения его усиливающих эффектов и механизмов. Проиллюстрирована зависимость изменения дисперсности КРШ от вида модификации.

Карбонизат рисовой шелухи производится в товариществе с ограниченной ответственностью «NeoCarbon» (г. Алматы, Республика Казахстан), который представляет собой смесь измельченного на роторно-ножевой мельнице марки IS-3 рисового стебля и рисовой шелухи до фракции 5,0 мм. Высушенная композиция подвергалась процессу карбонизации в пиролизной печи марки СП-400 без доступа воздуха в безкислородной среде при температуре 550–600°С. Далее полученный материал измельчали до фракции ниже 10,0 мкм. Частицы карбонизата рисовой шелухи характеризуются равномерным распределением частиц по размерам, при этом 30,40–36,66% и 41,97–46,70% частиц КРШ находятся в диапазонах 5,0–10,0 и 10,0–20,0 мкм соответственно.

Для увеличения удельной поверхности КРШ и, как следствие, увеличения усиливающей способности в эластомерных композициях исходную фракцию подвергали дополнительной обработке различными видами модификации поверхности:

– на гамма-установке «Исследователь» с источником ^{60}Co, с мощностью экспозиционной дозы 3,7 кГр/час, используя междозовый интервал 10 кГр – 10, 20, 30, 40, 50 кГр ($КРШ_{10–^{60}Co}$; $КРШ_{20–^{60}Co}$; $КРШ_{30–^{60}Co}$; $КРШ_{40–^{60}Co}$; $КРШ_{50–^{60}Co}$);

– на планетарной мельнице в сухой среде от 3 до 15 мин с интервалом на «отдых» 3 мин (частота вращения 400 об/мин) – $КРШ_{3П}$, $КРШ_{6П}$, $КРШ_{9П}$, $КРШ_{12П}$ и $КРШ_{15П}$.

– на планетарной мельнице в среде этанола от 10 до 30 мин с интервалом на «отдых» 10 мин (частота вращения 400 об/мин) – $КРШ_{10–этанол}$, $КРШ_{20–этанол}$, $КРШ_{30–этанол}$;

– на планетарной мельнице в водной среде от 10 до 30 мин с интервалом на «отдых» 10 мин (частота вращения 400 об/мин) – КРШ$_{10–H2O}$, КРШ$_{20–H2O}$, КРШ$_{30–H2O}$.

Гранулометрический анализ модифицированного КРШ показал, что после модификации карбонизата с помощью γ-квантов в различных дозировках содержание частиц исследуемого материала размером от 20,00 до 50,00 мкм превышает 40% (рисунок *а*), что свидетельствует об агломерации частиц под действием тепловой энергии, возникающей в процессе облучения. Кроме того, обработка γ-квантами является длительным процессом в течение которого вероятна «спрессовка» частиц между собой. Однако воздействие γ-квантов могло привести к возбуждению электронов и образованию свободного радикала волокна КРШ. Свободный радикал волокна исследуемого карбонизата будет взаимодействовать с матрицей каучука по его двойной связи, что может привести к цепным радикальным реакциям и улучшить их взаимодействие [4].

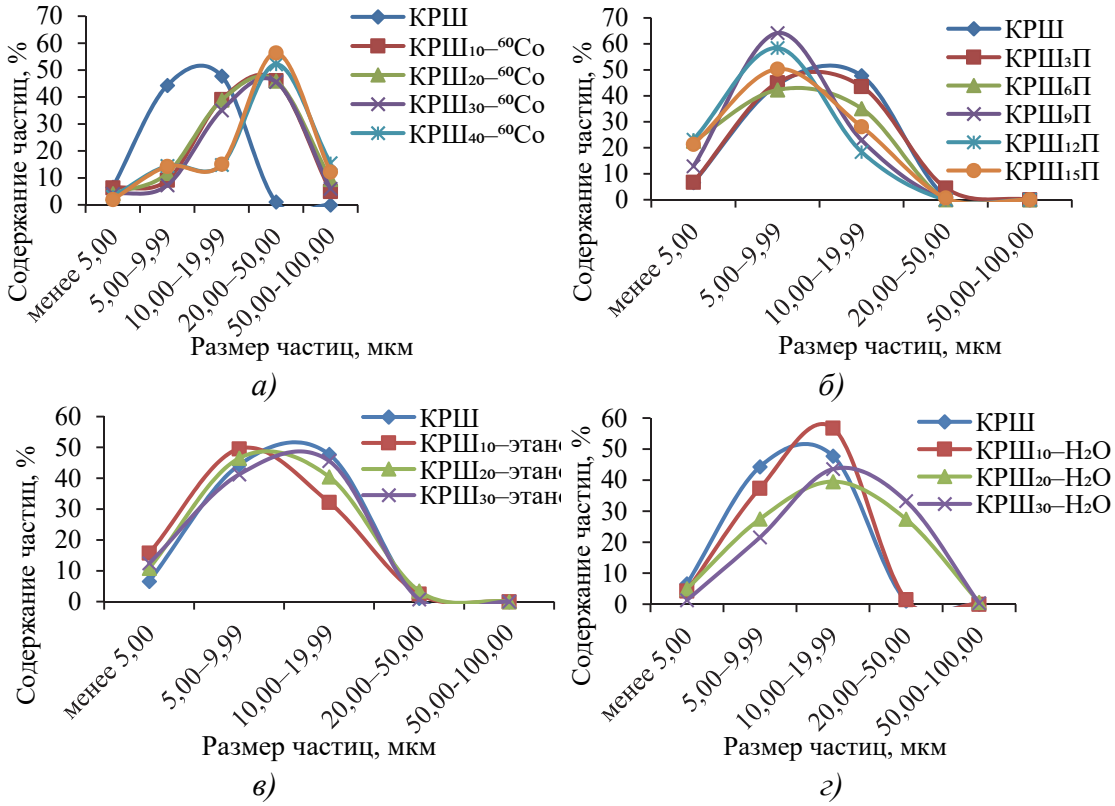


Рисунок – Распределение частиц КРШ по размерам в зависимости от типа модификации:

а) на гамма-установке; *б)* на планетарной мельнице в сухой среде; *в)* на планетарной мельнице в среде этанола; *г)* на планетарной мельнице в водной среде

Ранее сообщалось, что добавление жидкой среды в процессе измельчения способствовало лучшему распределению частиц, уменьшая агломерацию мелких частиц [5], однако измельчение в исследованиях было длительным. Поэтому было принято решение также попробовать использовать жидкую среду при измельчении, однако сократить данный процесс до 30 мин. Измельчение в среде этанола в течение 20 и 30 минут (рисунок *в*) способствовало смещению процентного содержания частиц КРШ в область более низких размеров (5,00–9,99 мкм). В тоже время использование воды в качестве среды для измельчения (рисунок *г*) привело к агломерации частиц КРШ. Измельчение КРШ на планетарной мельнице в сухой среде от 3 до 15 мин с интервалом на «отдых» 3 мин (рисунок *б*) с целью снижения температуры в помольном стакане показало, что наилучшие результаты достигаются при измельчении КРШ в течение 9 минут ($КРШ_{9П}$), т.к. в данном случае свыше 64,2% частиц имеют размер в диапазоне 5,00–9,99 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Miedzianowska J. Improving performance of natural rubber composites by the application of functional biofiller: horsetail modified with silane coupling agents / J. Miedzianowska, M. Maslowski, K. Strzelec // Cellulose. – 2023. – Vol. 30. – P.10175–10198.

2. Vijay R. Characterization of Chemical Treated and Untreated natural fibers from Pennisetum orientale grass – A potential reinforcement for lightweight polymeric applications / R. Vijay, A. Vinod, D.L. Singaravelu, M.R. Sanjay, S. Siengchin // International Journal of Lightweight Materials and Manufacture. – 2020. – Vol. 4. – P. 43–49.

3. Текстурные и адсорбционные свойства микропористых аморфных углеродных материалов, полученных методом химической активации карбонизированной / П. М. Елецкий [и др.] // Кинетика и катализ. – 2008. – Т. 49. – № 5. – С. 741–753.

4. Ezenkwa O.E. Influence of different surface treatment techniques on properties of rice husk incorporated polymer composites / O.E. Ezenkwa, A. Hassan, S.A. Samsudin // Reviews in Chemical Engineering. – 2020. – Vol. 37. – P. 907–930.

5. Xue, B. A facile ball milling method to produce sustainable pyrolytic rice husk bio-filler for reinforcement of rubber mechanical property / B. Xue, X. Wang, J. Sui, D. Xu, Y. Zhu, X. Liu // Industrial Crops and Products. – 2019. – Vol. 141. – P. 111791.

УДК 675

Исмаилова Р.М.
(Национальный институт живописи и дизайна
имени Камолиддина Бехзода)
Ражабова Э.Б., Исмаилов Р.И.
(Ташкентский государственный технический университет
имени Ислама Каримова)

ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ НАТУРАЛЬНОЙ КОЖИ ПРОПИТАННОЙ ПОЛИМЕРНЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ

В настоящее время при выработке кож широко используются синтетические полимерные материалы. При пропитке кожи высокомолекулярными соединениями с целью улучшения их свойств, большое значение уделяют химической природе полимеров и методам пропитки. Наиболее распространенными полимерами, применяемыми в кожевенной промышленности являются различные латексы, основой которых являются полиакрилаты производные акриловой и метакриловой кислот и их эфиры. Полиакрилаты используемые в кожевенной промышленности получают методом эмульсионной полимеризации с применением инициирующих систем. При этом в качестве эмульгаторов могут служить анионные, катионные и неионогенные поверхностно-активные вещества, природа которых оказывает влияния на степень дисперсности полиакрилатов, которая зависит также от типа эмульгатора и режима полимеризации [1, 2].

Сорбционная способность кожи козлины, как и удельная поверхность и объем пор после обработки полимерной композицией уменьшается, тогда как у кожи бычины после обработки полимерной композицией на основе полимерных солей (ПС) сорбционная способность и объем пор возрастают, а величина удельной поверхности падает [3].

Кожа козлины имеет рыхлую глобулярную структуру. Обработка козлины полимерной композицией ведет к уплотнению структуры. Особенно сильно изменяется поверхность кожи: она состоит из удлиненных элементов – типа фибрилл, со значительной плотностью, что, по-видимому, является причиной улучшения физико-механических и деформационных свойств кож при её обработке полимерной композицией на основе ПС.

Кожа бычины состоит из рыхло-упакованных неориентированных элементов разной длины, частично агрегированных в более крупные элементы типа фибрилл. Обработка бычины полимерной композицией, содержащей 2% ПС способствует возникновению более однородных плотных структурных элементов, с большими вакуумами между ними,

что способствует повышению сорбции паров воды и увеличению удельного объема пор. Уплотнение структуры кож при обработке полимерной композицией оказывает влияние на её гигиенические свойства (табл. 1, 2).

Таблица 1 – Гигиенические свойства кож козлины, обработанных полимерными композициями

Концентрация полимерной соли в композиции, %	Гигиенические показатели			
	Капиллярность, мм	Пористость, %	Паропроницаемость, . мг/см^3 ч	Намокаемость, %
Контрольный образец	14	65	5,31	40
1,0	11	63	4,84	34
1,5	10	62	4,72	34
2,0	8	60	4,72	32
2,5	8	59	4,6	32

При грунтовании наблюдается неравномерное соединение пленки с кожей по площади за счет проникания и отложения полимера в крупных порах. Связь покрытия с кожей осуществляется: во - первых, в результате контакта полимера с волокнами кожи происходит межмолекулярное взаимодействие между ними; во-вторых, по всей площади контакта пленка полимера имеет большое количество углублений во входные поры кожи и образует в результате этого как бы дополнительные "гвоздики крепления". При отделке шлифованных кож увеличится число "гвоздиков крепления" и подвижность волокон в сосочковом слое, что приведет к увеличению количества отставших от волокна микроучастков пленки покрытия.

Таблица 2 – Гигиенические свойства кож бычины, обработанных полимерными композициями

Концентрация полимерной соли в композиции, %	Гигиенические показатели			
	Капиллярность, мм	Пористость, %	Паропроницаемость,, мг/см^3 ч	Намокаемость, %
Контрольный образец	12	65	5,31	41
1,0	11,8	64	5,2	36
1,5	11,5	62	5,0	37
2,0	11	60	4,72	32
2,5	10,8	59,6	4,6	32

Следовательно, в этом случае долговечность покрытия будет ниже, чем на лицевой коже, и в основном помимо свойств пленки она будет

обусловлена величиной специфической адгезии. Применяемые в этом случае пленкообразующие вещества должны обладать высокой эластичностью с одной стороны, и зафиксировать волокнистую структуру.

Уменьшение суммарного объема пор приводит к увлечению плотности, которая косвенно характеризует воздухопроницаемость, водопроницаемость, паропроницаемость и теплозащитные свойства кожи. Уменьшение пористости и увеличение плотности кожи при обработке ее полимерной композицией приводит к закономерному снижению ее паропроницаемости. Степень снижения паропроницаемости кожи зависит от процентного содержания полимерной соли в полимерной композиции. Паропроницаемость кожи - сложный процесс, который нельзя отождествлять с паропроницаемостью других видов материалов. Двойственный механизм паропроницаемости хорошо объясняют такие явления, когда кожа, будучи совершенно непроницаемой, для воздуха, может быть в достаточной степени паропроницаемой. Паропроницаемость зависит не только от наличия в коже сквозных пор и капилляров различного размера, но и от гидрофильных свойств кожевенного вещества. Поэтому на величину паропроницаемости оказывает влияние способ отделки их, особенно состав покрывных материалов на лицевой поверхности.

Незначительное снижения паропроницаемости является положительным свойством для кожи верхней одежды, которая будет использоваться в виде пакета, состоящего из прокладочных тканей. Нанесение полимерного покрытия способствует уменьшению намокаемости кожи: образцы козлины обработанной полимерной композицией имеют намокаемость в пределах 32%, тогда как у контрольного образца - 40%; для образцов бычины эти показатели соответственно 32% и 41%. Величина капиллярности и удельной поверхности пор убывает при увеличении массовой доли полимерной композиции. Более чем 2 раза уменьшилась капиллярность кожи козлины по сравнению с контрольным (от 14 до 6 мм), а у образцов бычина соответственно с 12 до 10,8 мм.

Таким образом, при обработке натуральных кож полимерной композицией образуется плотная структура, за счет равномерного распределения в ней полимерной композиции, способствующей улучшению свойств конечного продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилова О.Е. Особенности проектирования и изготовления изделий легкой промышленности из современных комплексных полимерных материалов // Вестник технологического университета. - 2013. - №18 - С.136-140.

2. Никитина Л.Л. Обзор развития и состояния производства искусственных кож для изделий легкой промышленности // Вестник технологического университета. - 2013. - №21 - С.184-187.

3. Исмаилова Р.М., Абдуллаев Х.А., Исмаилов Р.И. Разработка состава полимерной композиции и изучение механизма взаимодействия с коллагеном натуральной кожи // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2022. 5(98). С. 68-72.

УДК 678.048

Долинская Р.М.
(Белорусский государственный технологический университет)

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНОЙ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ НА СВОЙСТВА РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Разработка новых видов каучуков на стадии их получения весьма дорогостоящий прием, поэтому для повышения работоспособности или усовершенствования технологии получения резиновых изделий применяют эффективный способ объемной модификации резин, заключающийся в направленном воздействии на эластомерные материалы без глубокого изменения его химической природы введением специальных модификаторов различной природы, изменяющих определенные свойства резин (прочность, износостойкость, морозостойкость и др). В настоящее время актуальна проблема разработки и совершенствования технологий модификации резин для повышения их эксплуатационных свойств. Перспективным методом модифицирования полимерных материалов является использование модифицирующих добавок, обеспечивающих максимальное структурирование полимерной матрицы на различных уровнях структурной организации и получение материалов с уникальными свойствами, зачастую недостижимыми для традиционных композитов.

В качестве основных объектов исследования использовали каучук СКС-30-АРКМ-15 – каучук общего назначения, а в качестве модифицирующей добавки – мелкодисперсные соединения содержащие углеродные структуры.

Эластомерные композиции на основе каучука СКС-30-АРКМ-15 изготавливали на лабораторных вальцах 320 160/160. На вальцы загружали каучук (100 мас.ч) и модификатор и обрабатывали до тех пор, пока смесь не перестанет проскальзывать на валках, затем вводили остальные ингредиенты.

Формование образцов осуществляли в гидравлическом прессе при температуре 143°С и давлении 10-15 МПа в течение 30 минут с последующим охлаждением под давлением.

Физико-механические показатели образцов определяли по методикам ГОСТ, соответствующих на эти показатели.

Изучение структуры резин проводили с помощью микроскопа JEOL JSM-5610 LV. Анализ микрофотографий резин на основе каучука СКС-30-АРКМ-15 показал, что мелкодисперсные вещества содержащие углеродные структуры, введенные в каучук СКС-30-АРКМ-15 в количестве 0,15 – 0,75 мас.ч на 100 мас.ч каучука, хорошо и равномерно распределяются в объеме эластомерной матрицы. Композиция получается однородная, цвет стабильный.

Исследования по изучению влияния модифицирования эластомерных композиций мелкодисперсными веществами показали, что структура добавки, вероятно, внедряется в структуру эластомера, причем модификатор оказывает влияние не на физические межмолекулярные связи, а на свойства вулканизационно-химической сетки, а точнее, вероятно, образуется переходная область, в пределах которой происходят физико-химические и механические взаимодействия между структурными элементами эластомера и добавки. Следовательно, в переходных областях граничного слоя полимера в композитах формируется развитая структура, при этом структурирующая активность добавки проявляется, вероятно, в упрочнении молекулярных цепей, а именно происходит образование прямых контактов между полимером и модификатором. В результате этого, вероятно, изменяются эксплуатационные свойства.

При введении 0,15 мас.ч. мелкодисперсных содержащих углерод веществ в эластомерные композиции показатель вязкости уменьшается на 5-14 единиц, а при введении 0,75 мас.ч. вязкость значительно уменьшается (на 18-28 единиц), что облегчает переработку композиции. Это связано с тем, что в процессе смешения температура смеси возрастает, «сухое» трение переходит в «жидкое», вязкость смеси уменьшается. Причем это уменьшение не приводит к снижению потребляемой энергии, так как уменьшается проскальзывание и наступает такой момент, когда вязкость смеси становится небольшой и суммарная внешняя сила трения становится больше силы внутреннего трения в каучуке. Это приводит к сдвигу в данном элементарном объеме и реализации процесса диспергирования. В противном случае смесь будет проскальзывать по рабочим поверхностям, не испытывая деформации сдвига. По мере увеличения продолжительности обработки смеси технического углерода с каучуком (без мягчителя) улучшается распределение и диспергирование наполнителя в смеси и повышаются физико-механические

показатели вулканизатов. При содержании мелкодисперсных углеродсодержащих веществ, в количестве 0,15 – 0,75 мас.ч на 100,0 мас.ч каучука СКИ-3 эластичность уменьшается, а далее с увеличением содержания модификатора (до 0,75 мас.ч на 100,0 мас.ч) этот показатель увеличивается на 10,5 %, что свидетельствует о том, что модификатор оказывает влияние на эластичность. Твердость композиции уменьшается с увеличением содержания в ней мелкодисперсных соединений. При изменении количества модифицирующей добавки от 0,15 до 0,75 мас.ч на 100 мас.ч каучука изменяются свойства эластомерного композиционного материала: условная прочность при растяжении уменьшается, а относительное удлинение при разрыве увеличивается. Это, вероятно, связано с тем, что структура добавки, вероятно, внедряется в структуру эластомера, причем добавка оказывает влияние не на физические межмолекулярные связи, а на свойства вулканизационно-химической сетки.

В резиновой смеси при содержании модифицирующих веществ в количестве 0,15 – 0,75 мас.ч на 100 мас.ч каучука улучшается показатель сопротивления истираемости. Этот показатель характеризует износ готового изделия. Из полученных данных следует, что с увеличением содержания добавки этот показатель улучшается на 37,5%, что свидетельствует о том, что готовые изделия будут обладать хорошей износостойкостью.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что все изученные нами модифицированные композиции обладают улучшенными упруго-прочностными свойствами по сравнению с не модифицированными композициями: улучшаются условная прочность, относительное удлинение, а также улучшается показатель истираемости резин. Причем эти показатели выше при введении большего количества модификатора, а именно 0,75 мас.ч на 100 мас.ч каучука.

Таким образом, проведенные исследования показали, что использование модифицирующих веществ в составе эластомерных композиций оказывает влияние на упруго-прочностные свойства. С увеличением содержания модификатора в композициях улучшаются условная прочность при растяжении и относительное удлинение.

Истираемость возрастает, твердость уменьшается, а эластичность остается примерно на том же уровне по сравнению с не модифицированным эластомерным материалом. Причем эти показатели выше при введении большего количества модификатора.

Таким образом, применение модифицирующих добавок в эластомерных композициях улучшает прочностные свойства, что позволяет изготавливать на их основе изделия с улучшенными эксплуатационными свойствами.

УДК 678.06:544.72

Прокопчук Н.Р., Клюев А.Ю., Лаптик И.О.
(Белорусский государственный технологический университет)

О СТРУКТУРООБРАЗОВАНИИ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ЭПОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НАНОЧАСТИЦАМИ РАЗНОЙ ПРИРОДЫ

В состав лакокрасочных композиций входили эпоксидная смола ЭД-20, КТСМА [1] и пластификатор, в качестве которого выступил ДЭГ-1. Было установлено, что оптимальное количество пластификатора ДЭГ-1 в композиции составило 7 % от массы смолы. Для обеспечения стехиометрического соотношения между функциональными группами смолы и отвердителя их массовое соотношение составило 3:2.

Наномодификация пленкообразователя осуществлялась наночастицами TiO_2, ZnO, Al_2O_3, SiO_2, АШ-А, УДА СП (ультрадисперсный алмаз УДА СП и алмазосодержащая шихта АШ-А производства НПЗ АО «Синта» (Республика Беларусь); нанопорошок оксида цинка ZnO и нанопорошок диоксида титана TiO_2 производства ООО «Томские нанопорошки»; нанопорошок Al_2O_3 и нанопорошок SiO_2 производства «NanoFormula» фабрика уникальных нано защитных покрытий (Estonia) в количествах 0,005; 0,01; 0,02 мас. %. Наночастицы имели средний размер 20–80 нм. Их равномерное распределение в композициях достигалось за счет диспергирования в ультразвуковой ванне на протяжении 30 мин.

Все составы наносили на предварительно подготовленные металлические подложки с помощью аппликатора с толщиной мокрого слоя 100 мкм (толщина после отверждения покрытия составляла 60–80 мкм). Так как в качестве растворителя использовался ацетон, то все покрытия подвергались предварительной сушке в естественных условиях (20±2) °С.

Наномодификация приводит к существенному улучшению свойств антикоррозионных эпоксидных покрытий: твердости, прочности при ударе, адгезии.

В таблице 1 представлены физико-механические свойства антикоррозионных защитных покрытий, модифицированных наночастицами разной природы.

Таблица 1 – Физико-механические свойства защитных покрытий, модифицированных наночастицами разной природы

Физико-механические свойства	0 %	ZnO, %			TiO_2, %		
		0,005	0,01	0,02	0,005	0,01	0,02
Твердость, отн. ед.	0,1	0,50	0,30	0,80	0,80	0,61	0,57
Адгезия, балл	4	2	1	1	1	1	1
Прочность при ударе, см	30	50	70	90	90	70	30
		АШ-А, %			УДА СП, %		
		0,005	0,01	0,02	0,005	0,01	0,02
Твердость, отн. ед.	0,1	0,27	0,24	0,28	0,30	0,66	0,71
Адгезия, балл	4	3	3	3	4	3	3
Прочность при ударе, см	30	30	35	30	35	90	50
		Al_2O_3, %			SiO_2, %		
		0,005	0,01	0,02	0,005	0,01	0,02
Твердость, отн. ед.	0,1	0,59	0,67	0,20	0,30	0,18	0,18
Адгезия, балл	4	1	2	3	2	3	3
Прочность при ударе, см	30	35	35	15	15	10	10

Нами ранее [1] была выдвинута гипотеза: наночастицы, имея на своей поверхности нескомпенсированный электрический заряд, активно взаимодействуют с олигомерными молекулами эпоксидной смолы по ее функциональным, эпоксидным и гидроксильным группам, образуя пространственную систему физических связей, дополнительных к химическим связям отвердителя и молекул ЭС [2]. Исходя из этого можно предположить, что межмолекулярные взаимодействия усиливаются, плотность покрытия возрастает, а, следовательно, растет и его твердость. Дополнительная эластичная физическая сетка выступает демпфером, принимает на себя механическую кинетическую энергию падающего бойка, и прочность покрытия при ударе сильно возрастает, что имеет важное практическое значение. Исходные металлические подложки содержали на поверхности естественный оксид железа, с которым могут взаимодействовать функциональные группы наносимой эпоксидной смолы ЭД-20 и активные поверхности наночастиц.

Для доказательства образования физических связей между функциональными группами ЭС и наночастицами была оценена динамическая вязкость смеси смолы с пластификатором без отвердителя. Динамическую вязкость антикоррозионных покрытий определяли на ротационном вискозиметре Brookfield RVDV- II+Pro.

В эту смесь добавляли оптимальные количества изученных наночастиц [3]. Установлен практически двукратный рост динамической вязкости при наномодификации этой смеси (рисунок).

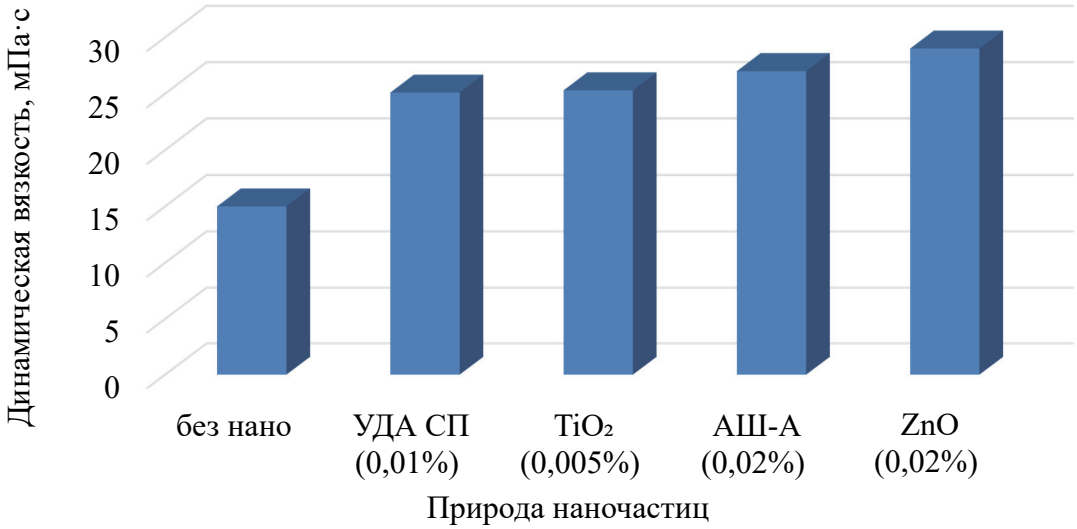


Рисунок – Зависимость динамической вязкости от природы частиц

Для оценки влияния наночастиц на структуру отвержденных пленок произведена оценка содержания в них гель-фракции методом экстракции при нагревании 56–65 °С. Значения гель-фракции G в % приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Гель-фракции G, %

Название наночастиц	Концентрация наночастиц			
	0 %	0,005 %	0,01 %	0,02 %
		гель-фракции G, %		
TiO_2	6,5	33,5	22,4	15,3
ZnO		27,3	17,5	14,5
Al_2O_3		18,4	12,3	11,8
SiO_2		15,7	12,2	10,6
УДА СП		19,6	19,0	12,2
АШ-А		18,4	15,7	9,7

Наблюдается четкая корреляция между значением G и свойствами покрытия.

Исследование энергетических характеристик поверхности наноразмерных частиц TiO_2, ZnO, Al_2O_3, SiO_2 проведено методом термостимулированных топов (ТСТ анализом) на приборе ST-1.

Величина значения ТСТ свидетельствует о количестве зарядов на поверхности наночастиц (о величине нескомпенсированного заряда с большим временем релаксации).

Значения ТСТ в пА:

$$TiO_2 = -4;\ ZnO = -3{,}5;\ Al_2O_3 = -2{,}0;\ SiO_2 = -1{,}0.$$

Заряд стабилен в интервале температур 20 °С – 200 °С.

Анализируя экспериментальные данные, можно сделать вывод: чем выше заряд на поверхности наночастиц, тем выше динамическая вязкость композиций, гель-фракция отвержденных пленок и механические свойства покрытий.

Таким образом, рост динамической вязкости неотвержденных композиций на основе эпоксидной смолы ЭД-20, содержащих наночастицы, свидетельствует об образовании физических связей между наночастицами и полярными группами (эпоксидными и гидроксильными) в макромолекулах эпоксидной смолы. Образующаяся физическая сетка наночастицы – макромолекулы эпоксидной смолы, связывает макромолекулы, требует дополнительной механической энергии для их перемещения друг относительно друга (течения), что проявляется в повышении динамической вязкости композиции.

Образующаяся физическая сетка сохраняется и при химическом отверждении композиции (пространственной сшивкой макромолекул молекулами отвердителя). Это подтверждается экспериментально увеличением гель-фракции у наномодифицированных отвержденных покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Улучшение механических свойств эпоксидных покрытий по металлу наночастицами разной природы / Н. Р. Прокопчук [и др.] // Цветные металлы. 2023. № 8. С. 25–29.

2. А.Н. Бормотов Оптимизация полимерной матрицы эпоксидных композитов // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 1. 115 с.

3. Улучшение свойств покрытий по металлу наноалмазными частицами / Н. Р. Прокопчук [и др.] // Цветные металлы. 2021. № 6. С. 50–54.

УДК 691.175

Белов Д.А.
(ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет)

ПРОМЫШЛЕННЫЙ КЛАСТЕР ПОЛИМЕРОВ В РОССИИ: ФОРМИРОВАНИЕ, РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Промышленный кластер полимеров в России представляет собой важный элемент химической промышленности, который сильно влияет на экономическое развитие страны и её технологическую независимость. В условиях глобализации и постоянного изменения рыночной

конъюнктуры, создание эффективной модели полимерного кластера становится приоритетной задачей для обеспечения конкурентоспособности отечественной продукции.

Кластеры в химической промышленности, и в частности полимерные, формируются на основе взаимосвязей между производственными, научными и образовательными учреждениями, а также другими заинтересованными сторонами. Основные составные части кластера представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Участники промышленного кластера полимеров в России

Исторически, на развитие российского полимерного кластера начали влиять нефтяная и газовая отрасли, обеспечивающие сырьем для производства полимеров. В 2020 году объем производства полимеров в России составил более 3 миллионов тонн, однако, по сравнению с мировыми показателями, это число остается невысоким [1].

В последние годы наблюдается рост интереса к полимерным материалам, как со стороны производителей, так и со стороны потребителей. Согласно данным Федеральной службы государственной статистики, в 2022 году объем производства полимеров в России увеличился на 5% по сравнению с предыдущим годом (Росстат, 2022). Основное внимание уделяется разработке материалов с уникальными свойствами: устойчивостью к высоким температурам, химической инертностью, биоразлагаемостью и т.д.

В будущем можно ожидать активное развитие кластера полимеров в России, особенно в контексте перехода на экологически чистые технологии. Научные исследования и разработки в области «умных» полимеров, bio-based материалов и технологий вторичной переработки будут играть ключевую роль в этом процессе [2].

Модернизация старых производств и создание новых высокотехнологичных предприятий также помогут повысить конкурентоспособность российского полимерного кластера на международной арене. Полимерная промышленность в России демонстрирует тенденции к росту, несмотря на ряд экономических и политических вызовов (рисунок 2).

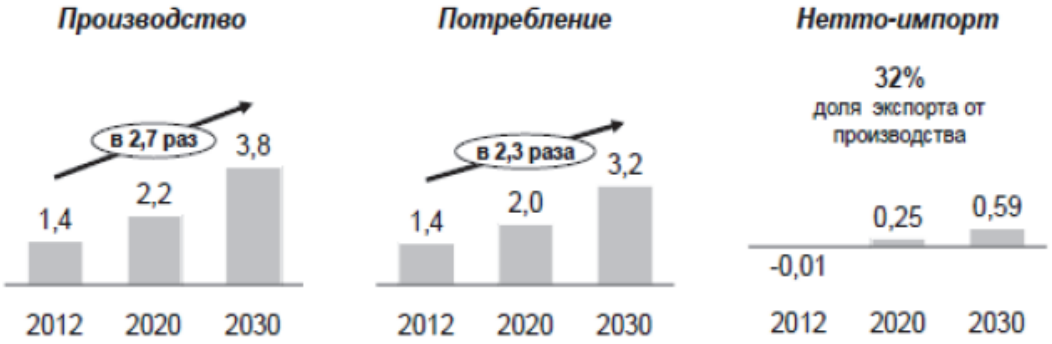


Рисунок 2 – Статистические данные и прогноз развития полимерной продукции

В условиях санкций и ограничений, российские производители начали активно развивать программы импортозамещения, что способствовало увеличению объемов производства полимеров и сокращению зависимости от иностранных поставок.

Россия также активизировала экспорт полимерной продукции, особенно в страны СНГ и Восточной Европы, где наблюдалось увеличение спроса на определенные виды полимеров.

С учетом текущих тенденций, ожидалось, что в ближайшие несколько лет рынок полимерной продукции продолжит расти, с акцентом на инновационные материалы и технологии, а также на улучшение экологической устойчивости.

Инвестиции являются ключевым фактором, определяющим динамику развития любого промышленного кластера, в том числе и полимерного. Они обеспечивают модернизацию производства, расширение ассортимента продукции, повышение качества и конкурентоспособности.

Кластерный подход в развитии полимерной промышленности России представляет собой эффективную стратегию, позволяющую объединить усилия различных участников этого сектора для достижения устойчивого роста и инновационного развития (рисунок 3).

В свете работ Хорохорина А. Е. согласно [3] кластеры позволяют объединить ресурсные, человеческие и инфраструктурные потенциалы различных предприятий и организаций. Это создает условия для более эффективного взаимодействия между участниками рынка, что в свою очередь способствует инновациям и повышению качества продукции.

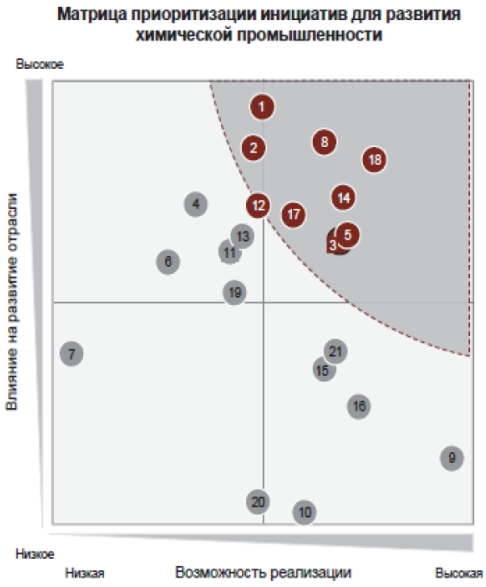


Рисунок 3 – Кластерный подход развития полимерного комплекса в РФ

Кластерный подход может способствовать более рациональному использованию ресурсов и снижению негативного воздействия на экологию. В рамках кластеров можно внедрять более чистые технологии и эффективные методы переработки.

Представленный кластер является и логистическим, так как фокусируется на оптимизации транспортных и складских услуг для обеспечения эффективной доставки сырья и готовой продукции.

Но любой проект требует оценку рисков и инициатив, результаты данного блока представлен на рисунке 4 на матрице инициатив «Вероятность / Влияние». Порядка десяти инициатив имеют высокую степень для реализации в химической отрасли.



Перечень инициатив для развития химической промышленности

18	Формирование химических индустриальных парков
8	Стимулирование применения химической продукции
14	Поддержка крупнейших национальных проектов
1	Стабилизация госрегулирования отрасли (мораторий)
5	Поддержка российских производителей в ВТО
3	Развитие кадрового потенциала
2	Обеспечение собственной компонентной базой
17	Поддержка производств спецхимии
12	Налоговое стимулирование инвестиций
9	Развитие стандартов качества химической продукции
13	Повышение доступности финансовых ресурсов
4	Актуализация регулирования в области промбезопасности
11	Актуализация стратегических документов в смежных отраслях
16	Создание резерва критических материалов
15	Создание Каталога критически важных материалов
19	Развитие собственных технологических разработок
6	Оптимизация системы таможенных пошлин
10	Развитие системы контроля качества
20	Содействие трансферу технологий
7	Поддержка экспортной деятельности

Рисунок 4 – Матрица инициатив «Вероятность / Влияние »

Данные кластеры не только способствуют развитию нефтегазохимической отрасли, но и создают условия для устойчивого экономического роста, формирования высококвалифицированных рабочих мест и повышения конкурентоспособности российской экономики на международной арене.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекетов Н. В. Проблемы формирования кластеров промышленного развития российской экономики //Региональные проблемы преобразования экономики. – 2011. – №. 1. – С. 79-94.

2. Напольских Д. Л. Тенденции и перспективные модели формирования промышленных кластеров в Российской Федерации //Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2017. – №. 6 (54). – С. 248-263.

3. Хорохорин А. Е. Стратегия развития современных нефтехимических комплексов, мировой опыт и возможности для России //М.: Российский государственный университет нефти и газа им. ИМ Губкина. – 2015. – Т. 178. – С. 15-65.

УДК 678

Валько Н.Г., Обрядова А.А.
(ГрГУ им. Янки Купалы)
Глоба А.И.
(Белорусский государственный технологический университет)

МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ И КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ СТИРОЛ-АКРИЛОВЫХ ПОКРЫТИЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

В современном мире одним из самых распространенных способов защиты металла от коррозии является нанесение на его поверхность лакокрасочных покрытий (ЛКП). Высокие защитные свойства и хорошую адгезию практически к любым поверхностям демонстрируют алкидные лакокрасочные материалы (ЛКМ), при этом, они могут выступать в качестве ингибитора коррозии и останавливать коррозионные процессы покрываемых изделий.

В настоящее время активно развивается способ отверждения ЛКМ ультрафиолетовым излучением. Это один из наиболее перспективных способов отверждения благодаря тому, что он характеризуется относительно высокой производительностью, малыми затратами энергии, а

также простой технологического оборудования. Как правило, отверждение ЛКМ посредством облучения УФ-излучением используют при получении покрытий из материалов, отверждаемых за счет реакции полимеризации.

Основная задача исследований, приведенных в данной работе – это разработать режимы проведения радиационной модификации УФ-излучением (207 нм), с целью получения ЛКП, обладающих повышенными коррозионно-защитными свойствами [1-2]. Объектами исследования служили стирол-акриловых покрытий на основе ВД-АК-1179. УФ-облучение (207 нм) покрытий осуществлялось дважды: на стадии отверждения и через месяц после отверждения. Исследовались покрытия, облучаемые в течение 15, 30, 45 и 60 мин.

Коррозионные испытания покрытий проводились методом полярографического анализа в 3%-м растворе NaCl с помощью полярографа ПУ-1 (ОАО «Гомельский завод измерительных приборов», Беларусь) [1].

В таблице 1 представлены результаты расчета плотности токов коррозии по диаграммам Эванса, которые были построенны в полулогарифмических координатах по данным полярографического анализа.

Таблица 1 – Плотность тока коррозии основе ВД-АК-1179, отвержденных при воздействии УФ-излучения

Время облучения УФ- излучением (мин)	Плотность тока коррозии ЛКП, облученных в процессе отверждения, $lg(i_к)$ (А/см^2)	Плотность тока коррозии ЛКП, облученных через месяц после отверждения, $lg(i_к)$ (А/см^2)
контрольные покрытия	-3,63	-4
15	-3,31	-1,30
30	-3,29	-0,93
45	-3,34	-1,27
60	-3,37	-1,67
75	-3,4	-2,73

Из таблицы 1 видно, что ток коррозии у покрытий, отвержденных при УФ-облучении меньше по сравнению с необлученными лакокрасочными покрытиями. Так, в частности, плотность тока коррозии $lg(i_к)$ для контрольных покрытий составляет -3,63 А/см^2, а для облучаемых в процессе отверждения в течение 30 мин – 3,29 А/см^2. Полученные данные указывают на то, что коррозионная стойкость стирол-акриловых лакокрасочных покрытий, отвержденных при УФ-облучении, снижается, на что указывает уменьшение плотности тока коррозии. При этом, увеличение времени облучения до 30 мин приводит к снижению плотности тока, что обусловлено увеличением сплошности покрытий.

Дальнейшее увеличение времени УФ-облучения приводит к соответствующему росту плотности токов коррозии. Так, при УФ-облучении ЛКП в течение 75 мин плотность тока коррозии $lg(i_к)$ увеличивается до -3,4 А/см^2.

Интересные результаты, были получены при исследовании коррозионной стойкости ЛКП после облучения УФ излучением через месяц после отверждения ЛКМ. Из таблицы 1 видно, что плотность тока коррозии для всех исследуемых ЛКП снижается в 2–3 раза, что указывает на улучшение их защитных свойств. Так, в частности, для покрытий, отвержденных в течение 15 мин и облученных УФ-излучением через месяц также в течение 15 мин, плотность тока коррозии уменьшилась в 3,5 раза. Однако для покрытий, отверждаемых и облучаемых в последствии в течение 75 мин, эта разница составляет только 25 %.

Таким образом, результаты исследования коррозионной стойкости стирол-акриловых покрытий позволяют заключить, что УФ-облучение в процессе отверждения, а также УФ-облучение через месяц после УФ-отверждения позволяет улучшить защитные функции покрытий на основе ВД-АК-1179 за счет увеличения сплошности ЛКП. Полученные результаты имеют практическое значение при разработке технологических режимов получения защитных покрытий с повышенными эксплуатационными свойствами посредством УФ-облучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богдевич, Д.И. Исследование влияния рентгеновского излучения на тонкую структуру и защитные свойства акриловых лакокрасочных покрытий / Д. И. Богдевич, Н. Г. Валько // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка. В 2 ч. Ч. 2 : сб. докладов 13-го Междунар. симпозиума, Минск, 5-7 апр. 2023 г. – Минск : Беларуская навука, 2023. – С. 138-141.

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

3. Н.Г. Валько. Влияние УФ-облучения на защитные свойства стирол-акриловых лакокрасочных покрытий / А.А. Обрядова// Технология органических веществ: материалы 88-й науч.-технич. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 28 января – 16 февраля 2024 г. / отв. за изд. И. В. Войтов. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 247 – 249.

4. Богдевич, Д.И. Исследование влияния рентгеновского излучения на тонкую структуру и защитные свойства акриловых лакокрасочных

покрытий / Д. И. Богдевич, Н. Г. Валько // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка. В 2 ч. Ч. 2 : сб. докладов 13-го Междунар. симпозиума, Минск, 5-7 апр. 2023 г. – Минск : Беларуская навука, 2023. – С. 138-141.

5. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза : адгезия-2014. – Введ. РБ 01.09.2015. – М. : Белорус. гос. комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2015. – 16 с.

УДК 541.64

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРЯДИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛОНИТРИЛА, СОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦЫ

Все чаще в различных областях науки и промышленности апробируют и используют наноразмерные модификаторы, что позволяет получать усовершенствованные материалы с уникальными характеристиками. Определенный интерес представляет изучение влияния введения различных наноразмерных модификаторов на свойства полиакрилонитрильных (ПАН) волокон. С целью получения научно-технических данных, необходимых для разработки технологического процесса производства ПАН волокна, обладающего новыми свойствами, в данной работе было рассмотрено влияние введения различных наноразмерных частиц в прядильный раствор на основе диметилформамида и промышленного волокнообразующего терсополимера (ВТП) – поли[акрилонитрил (АН)–со–метилакрилат (МА)–со–2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС)].

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

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

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

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

Прядильные растворы, содержащие ТУ, готовили двумя методами:

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

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

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

Результаты изучения влияния содержания наноразмерных частиц ТУ на динамическую вязкость прядильных растворов ВТП представлены на рисунке 1. Можно отметить, что введение до 2 % (от массы прядильного раствора) наноразмерных частиц ТУ марки PowCarbon 5317F (без УЗ) не оказывает достоверного влияния на эффективную вязкость прядильных растворов. Проведение дополнительного ультразвукового воздействия на прядильные растворы в целом незначительно снижает их динамическую вязкость. Более высокие значения эффективной вязкости прядильных растворов, приготовленных по методу I, можно объяснить более высоким содержанием в них ВТП.

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

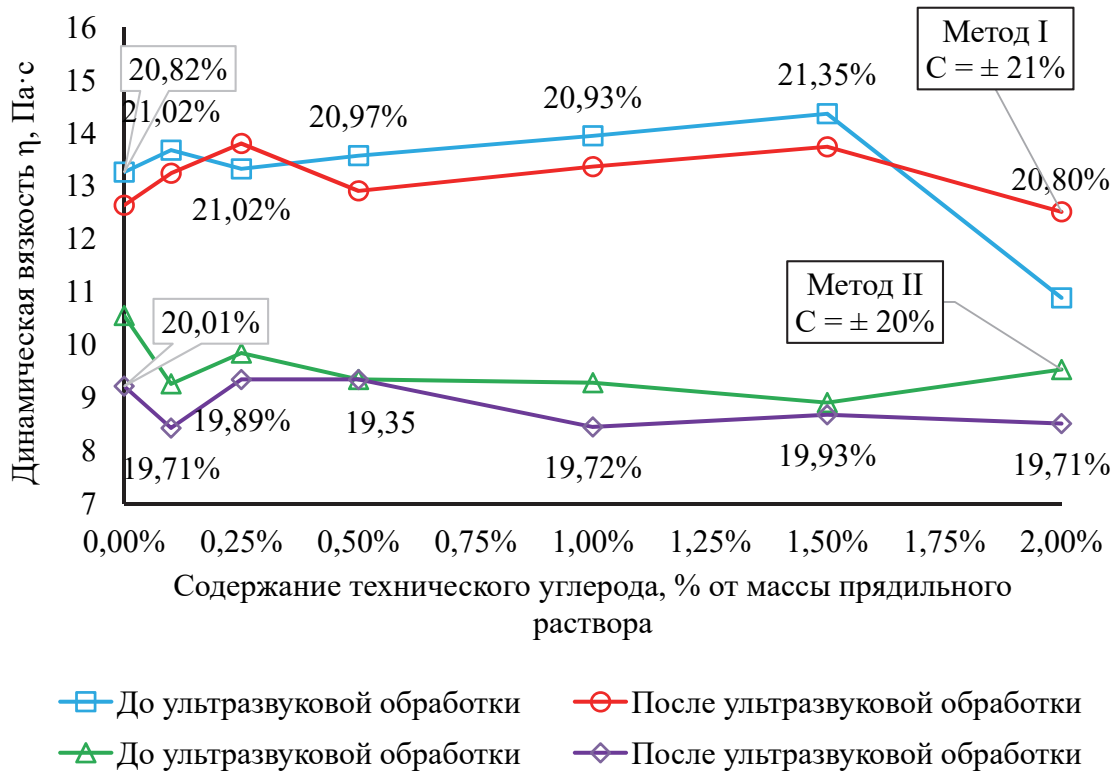


Рисунок 1 – Зависимость динамической вязкости прядильных растворах от содержания наноразмерных частиц технического углерода марки PowCarbon 5317F при скорости сдвига 4 $с^{-1}$ и температуре 20 °С

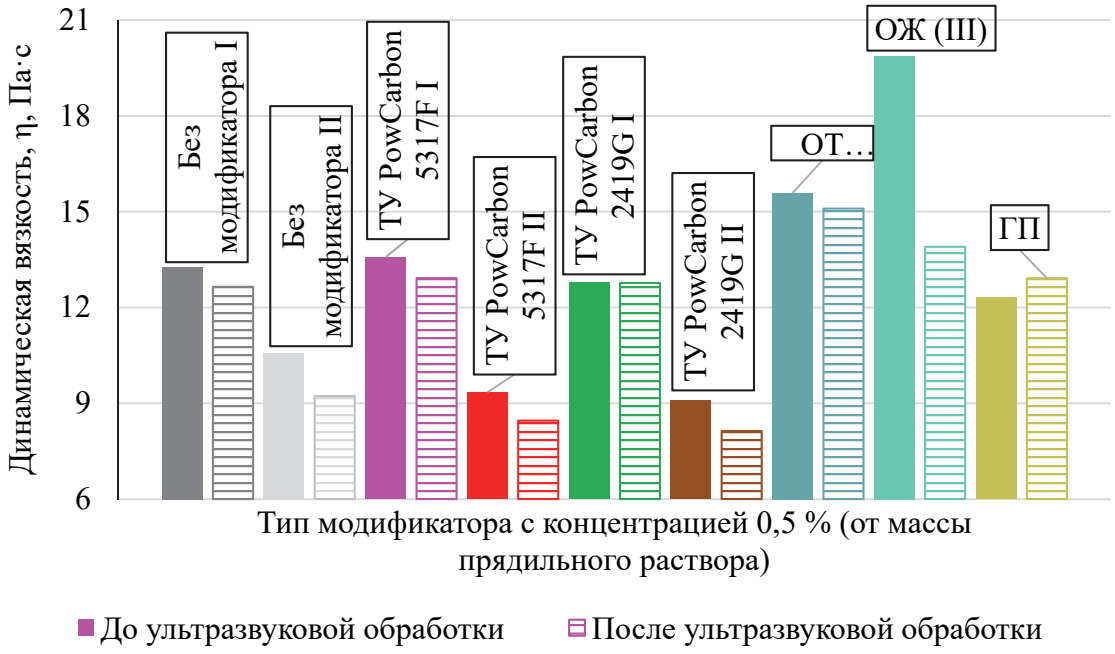


Рисунок 2 – Динамическая вязкость прядильных растворов, модифицированных наноразмерными частицами в количестве 0,5 % (масс.), при температуре 20 °С

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

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

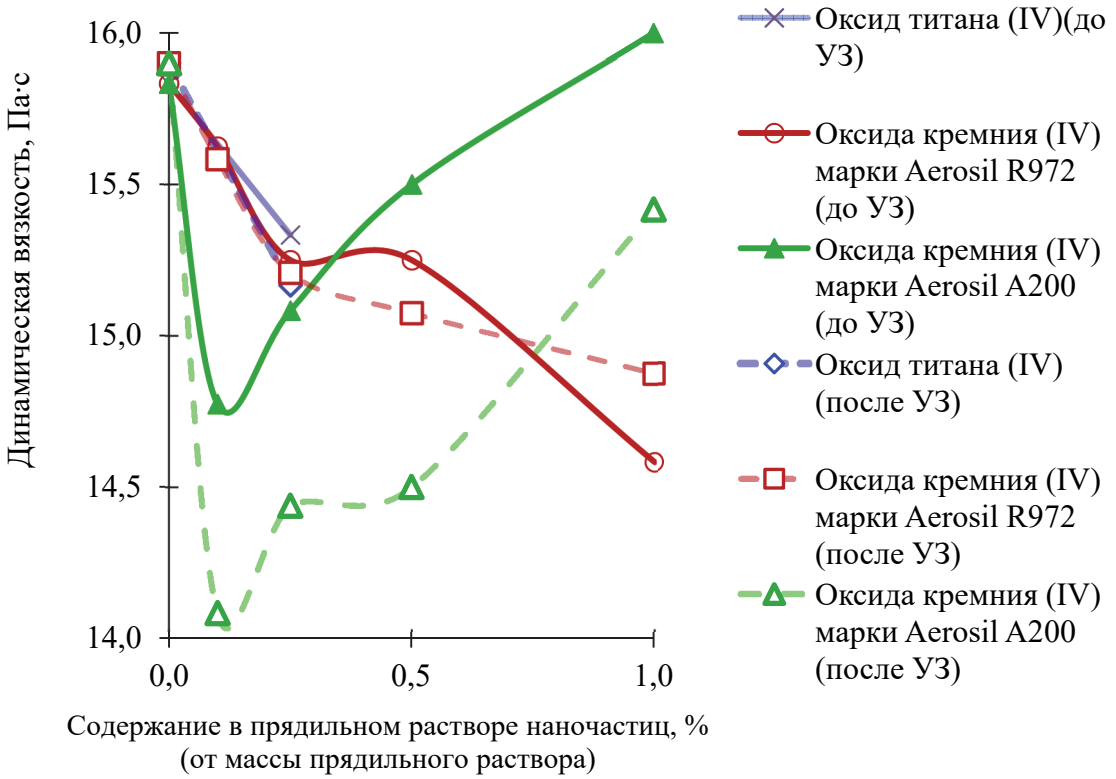


Рисунок 3 – Зависимость эффективной вязкости прядильных растворов от количества и природы вводимых в них наноразмерных частиц

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

УДК 677.494.745.32:677.027.423

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 1 – Условия формования модельных образцов

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

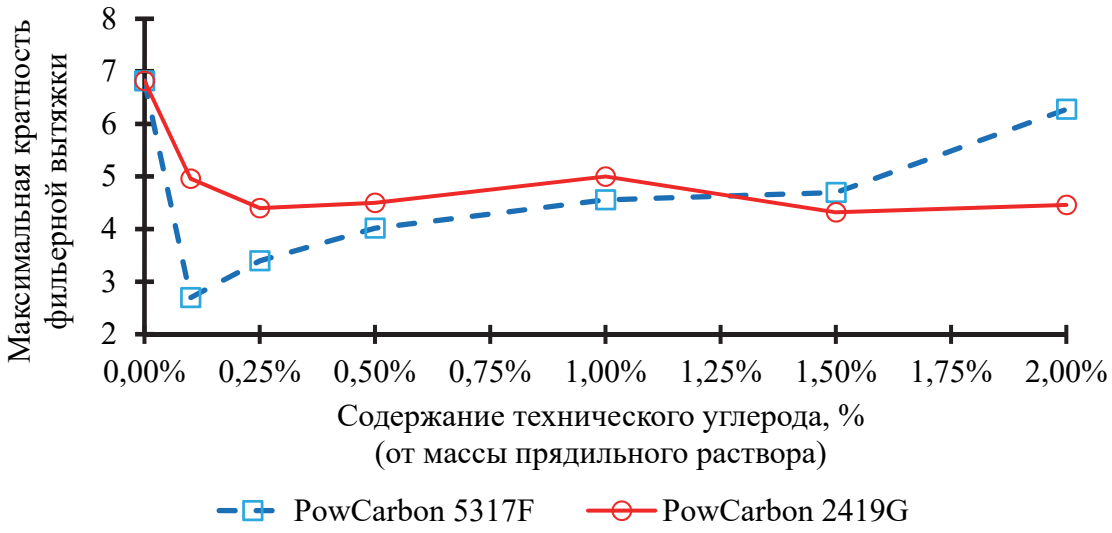


Рисунок 1 – Влияние содержания наноразмерных частиц ТУ на максимальное значение кратности фильерной вытяжки

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

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

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

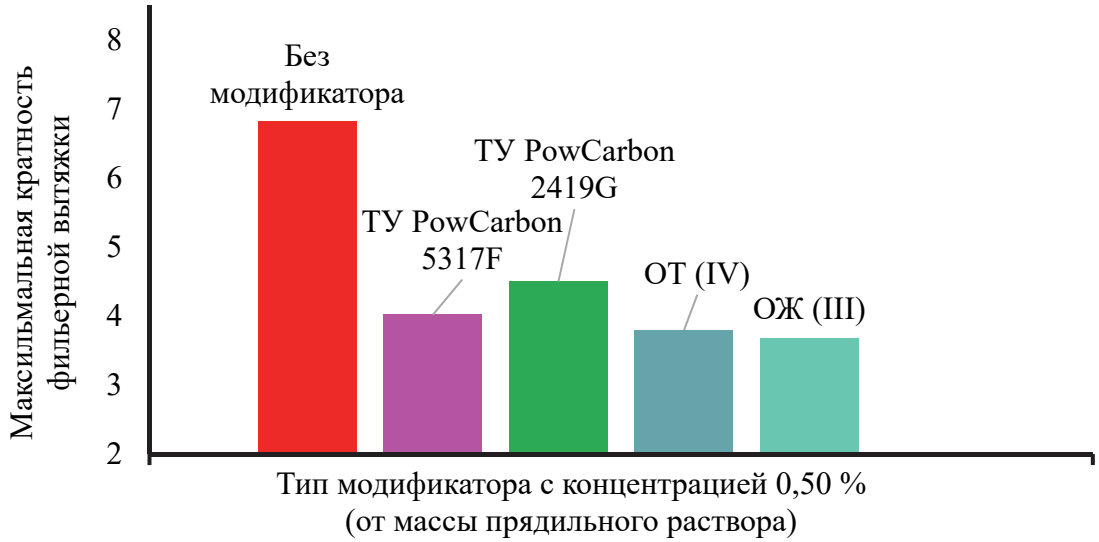


Рисунок 2 – Влияние природы наноразмерных частиц, при их содержании 0,5 % (от массы прядильного раствора), на максимальное значение кратности фильерной вытяжки волокна

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

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

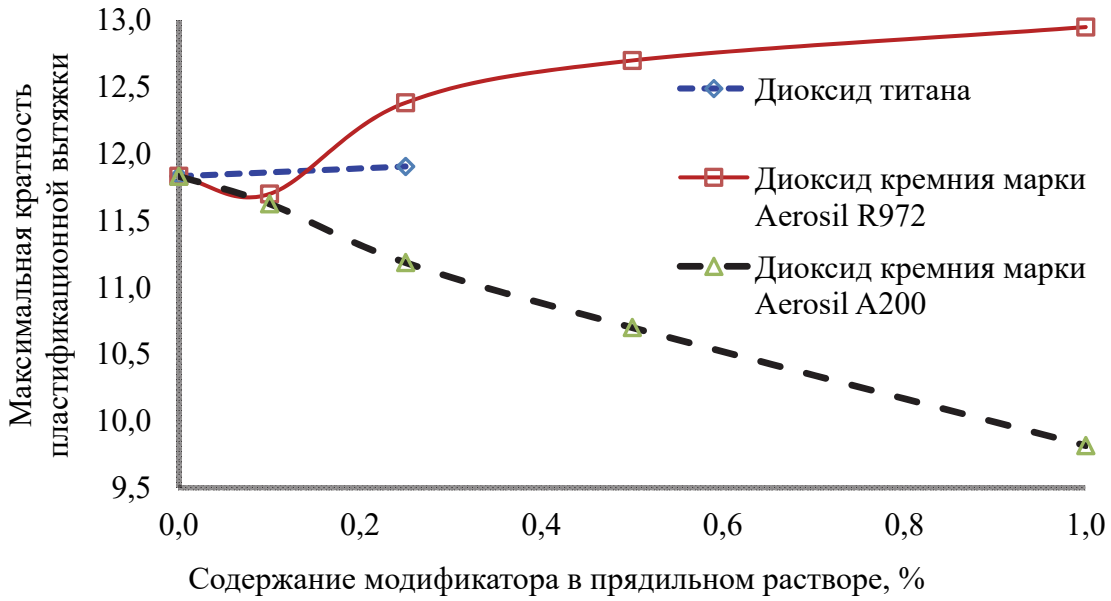


Рисунок 3 – Зависимость максимальной кратности пластификационного вытягивания от содержания модификаторов в прядильных растворах

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

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

УДК 621.923

Вишневский К.В., Шашок Ж.С.
(Белорусский государственный технологический университет)

ОСОБЕННОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

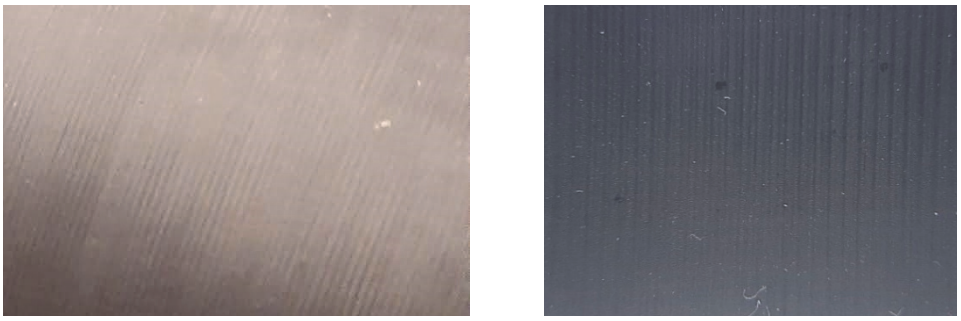
Шлифовальные работы подразумевают обработку поверхностей различными абразивными материалами и инструментами для придания им гладкости, снятия верхнего деформированного или поврежденного слоя и обновления элемента в целом.

Шлифование обычно выполняется в сочетании с другими работами по обработке поверхности (токарными, фрезерными и т.д.) и является финальным, заключающим этапом изготовления или восстановления детали. Шлифовка осуществляется на специальном оборудовании – шлифовальных станках – позволяет достичь высочайших показателей четкости и гладкости (или низких показателей шероховатости) детали. При обработке металлических поверхностей качество выполняемых работ напрямую зависит от эксплуатационных характеристик и технического состояния оборудования и квалификации мастера. Однако, при обработке полимерных материалов дополнительное влияние оказывают свойства материла, который подвергается обработке, поскольку изменяется механизм, при котором происходит истирание материала. Истирание материала является следствием трения, возникающего при перемещении его относительно поверхности более твердого тела (абразива).

Целью работы является определение режима шлифования в зависимости от свойств шлифуемого материала.

Для получения необходимого результата, а именно, поверхности соответствующей шероховатости, при шлифовании повреждение поверхности резины должно осуществляться выступами контртела. Это может происходить в том случае, если твердость материала достаточна, про этом поверхность контртела оставляет на поверхности резины след, при очень острых краях могут происходить разрывы и раздиры. Наряду с механическими факторами разрушения при шлифовании на поверхности резины развивается высокая температура. Поэтому при обработке очень важно следить за температурой поверхности для предотвращения теплового старения. Кроме того, в некоторых случаях возможно накопление статического электричества – трибоэлектрического эффекта, что влияет на механизм, по которому происходит снятие слоя материала с поверхности изделия.

При верно подобранном режиме шлифовки и при соответствии свойств шлифуемого материала на его поверхности наблюдается четкий рисунок, который формируется абразивным инструментом (рис. 1, а).



а) б)

Рисунок 1 – Поверхность отшлифованного полимерного материала

В случае, когда твердость материала не соответствует выбранному режиму шлифования, наблюдается несколько иная картина: на поверхности шлифуемого материала наблюдаются повреждения в виде вырывов (рис. 1б). Указанные повреждения соответствуют размеру частиц абразива, это видно, поскольку размер повреждений не превышает размер борозд (полос) оставленных абразивом на поверхности резины. Крайним случаем не соответствия свойств материала режиму шлифования и выбранному абразиву наблюдается износ поверхности, при котором с поверхности шлифуемого материала вырываются крупные куски (рис. 2), что приводит к браку и требует значительных усилий и трудозатрат для исправления.

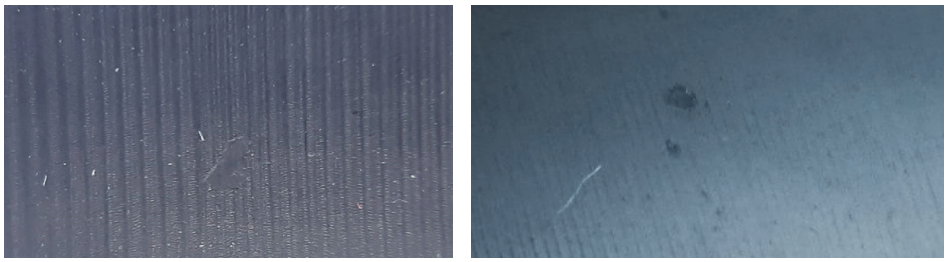


Рисунок 2 – Виды брака при шлифовании поверхности полимерного материала

Таким образом, для получения поверхности полимерного материала с заданными параметрами шероховатости необходимо как соблюдение целого ряда требований по режиму шлифования, так и знание свойств, и понимание вида износа поверхности полимерного материла.

УДК 546.47:66.081.3

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

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

Волокнообразующие сополимеры на основе акрилонитрила (АН) обладают комплексом свойств, которые позволяют им долгие годы сохранять за собой стабильную потребительскую нишу среди других полимерных материалов. В частности, получаемые из них волокнистые

материалы проявляют уникальные свойства и способность к различным модификационным обработкам. Исследования в области разработки и применения хемосорбционных волокнистых материалов входят в число приоритетных научных направлений в промышленно развитых странах. Введение в структуру сорбентов хемоактивных сорбатов позволяет использовать их в качестве катализаторов в процессах получения различных веществ. Подобные подходы не новы, однако имеющиеся научно-практические результаты позволяют считать их развитие перспективным и многообещающим.

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

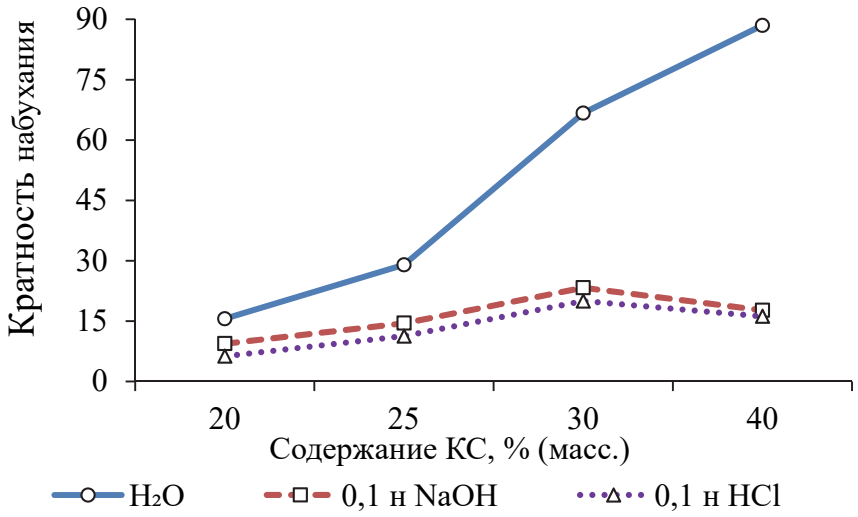


Рисунок 1 – Влияние содержания КС в поли[АН–со–АМПС] на кратность их набухания в водных средах

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

Исходя из этого, целью данного исследования явился анализ возможности снижения кратности (степени) набухания в различных

водных средах ионообменных материалов на основе поли[АН–со–АМПС] за счет их модификации посредством воздействия физических факторов.

Так, для обеспечения меньшей склонности ионитов к набуханию в водных средах, на модельных гранулированных образцах на основе поли[АН–со–АМПС], содержащих от 20 до 30 % (масс.) кислотного сомономера, было рассмотрено влияние на них термической обработки.

С этой целью образцы ионитов выдерживали в течение 60 минут при различных температурах. Результаты проведенных экспериментов показали, что кратность набухания изучаемых ионогенных материалов по мере увеличения температуры их обработки снижается (рисунок 2). Возможными причинами этого могут являться активируемые температурным воздействием полимераналогичные и иные превращения в полимерном субстрате поли[АН–со–АМПС].

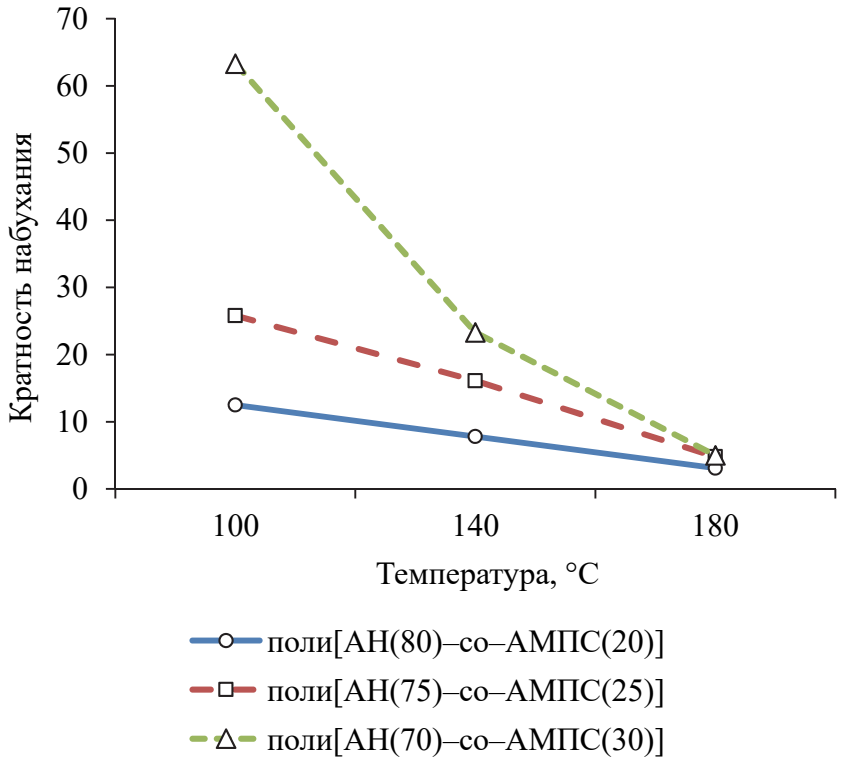


Рисунок 2 – Влияние температуры обработки ионитов на основе поли[АН–со–АМПС] на кратность их набухания в воде

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

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

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

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

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

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

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

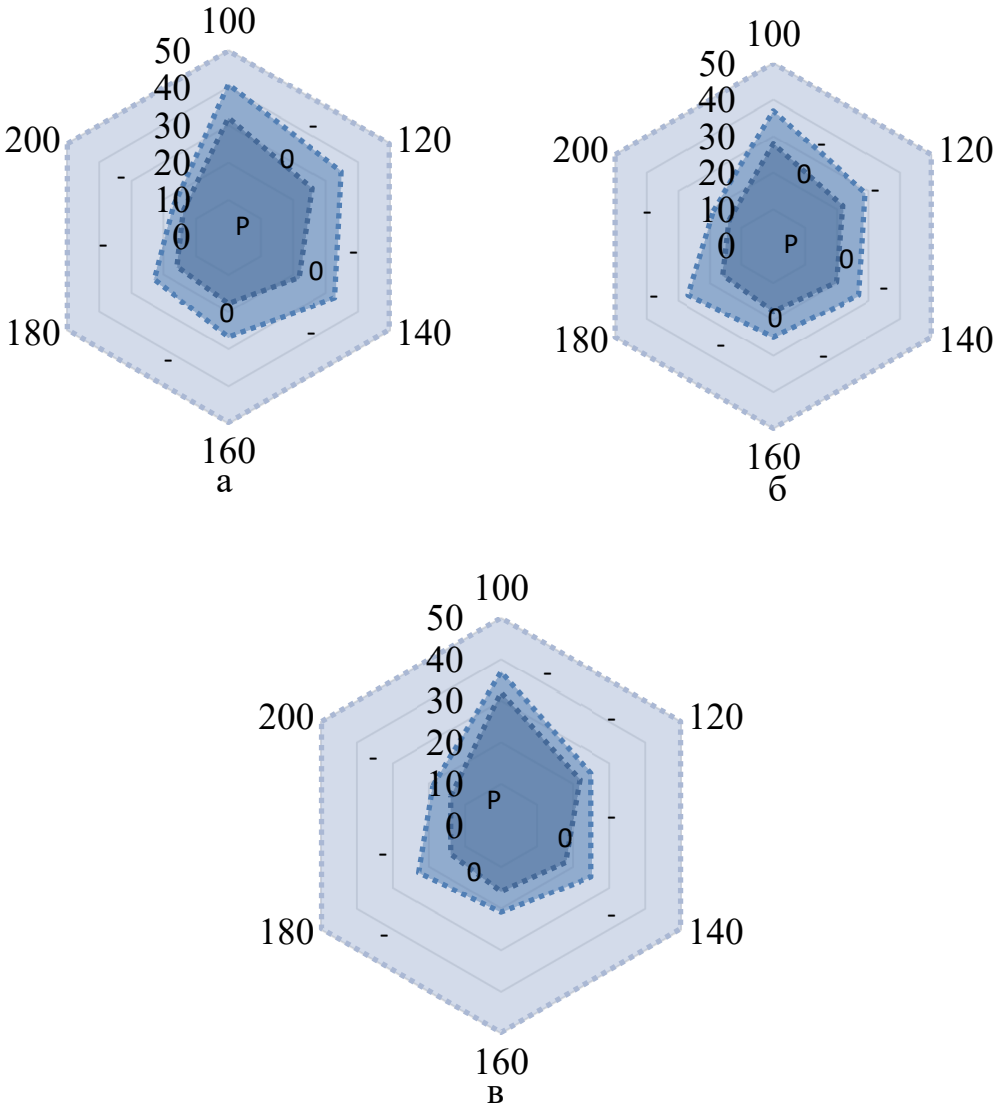


Рисунок 3 – Влияние продолжительности термообработки образцов поли[АН–со–АМПС] на их растворимость в ДМФ (при содержании КС: а – 20 % (масс.), б – 25 % (масс.), в – 30 % (масс.))

ЛИТЕРАТУРА

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

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

УДК 546.47:66.081.3

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОНИТРИЛА И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ ZN^{2+}, NI^{2+}, MG^{2+}, CA^{2+}

Исследования в области разработки и применения полимерных ионообменных материалов входят в число приоритетных научных направлений в промышленно развитых странах. Так, например, извлечение металлов из растворов, их разделение и очистка во многих случаях могут осуществляться с применением ионитов. Немаловажным параметром является возможность регенерации ионитов для восстановления их работоспособности [1]. Сравнительно новым, но достаточно перспективным направлением использования способности ионитов сорбировать на своей поверхности различные вещества, является получение таким образом каталитически-активных в процессах синтеза различных веществ материалов [1].

Одним из направлений этой работы является создание подобных материалов на основе сополимеров акрилонитрила. Их важными преимуществами являются возможность широкой вариабельности химической структуры, устойчивость основной полимерной цепи к гидролитической деструкции и чрезвычайная устойчивость к микробиологическому воздействию [2]. Например, перспективными могут оказаться ионообменные материалы, содержащие в своей структуре акрилонитрил (АН) и более 25 % (масс.). 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС).

Для их изучения, методом свободно-радикальной сополимеризации в 51,5 %-ом водном растворе роданида натрия при 80 °С, были синтезированы [3] сополимеры на основе АН и АМПС при содержании в реакционной среде (РС) кислотного сомономера (КС) 25, 30 и 40 % (от массы сомономеров).

Сорбционная активность ионитов оценивалась в статическом режиме путем последовательных погружений набухшего ионита в растворы различных сорбатов. В качестве таковых были использованы 0,1 н растворы $CaCl_2$, $MgSO_4$, $NiSO_4$ и $ZnSO_4$. Для оценки количества сорбированных ионитами ионов применяли методы комплексонометрического титрования, изложенные в [4]. Перевод ионита в водородную форму проводился аналогично [4].

В таблице 1 приведены экспериментальные данные по количеству ионов использованных в работе s- и d-металлов, а также ионов натрия, сорбированных за три последовательных погружения гранулированными ионитами на основе поли[АН–со–АМПС-Н]. Также были рассчитаны, исходя из количества КС, значения теоретической статической обменной емкости (СОЕ) ионитов.

Таблица 1 – Данные по статической обменной емкости ионитов на основе поли[АН-со-АМПС-Н]

Содержание КС в исходной РС, % (от массы сомономеров в РС)	Теоретическое значение СОЕ, ммоль-экв/г	СОЕ по ионам натрия, ммоль-экв/г	Общее количество сорбированных (за 3 погружения) ионов, ммоль-экв/г			
			Zn^{2+}	Ni^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
25	1,21	1,42	3,78	1,11	0,83	2,50
30	1,45	1,45	18,55	1,39	2,51	14,70
40	1,93	1,61	4,92	2,17	1,22	6,51

Анализ данных, представленных в таблице 1, показал, что при использовании в качестве сорбата солей магния или цинка отмечается превышение количество сорбированных ионов Mg^{2+} и Zn^{2+} над значениями теоретической СОЕ (рисунок 1).

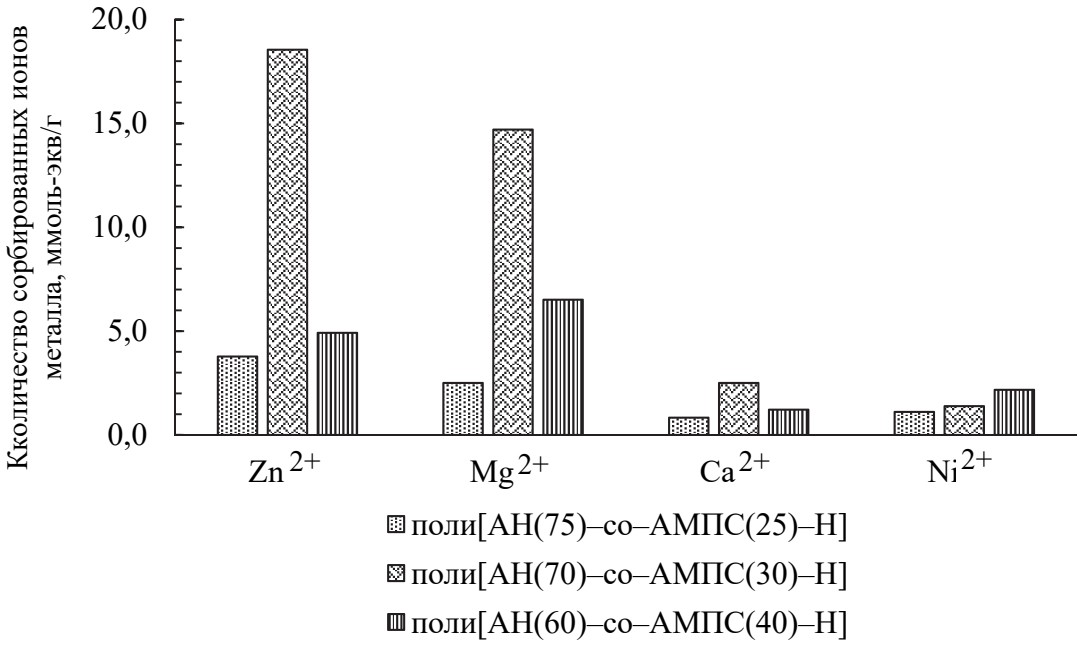


Рисунок 1 – Общее количество сорбированных (за 3 погружения) ионов металлов материалами на основе поли[АН–со–АМПС-Н] из 0,1 н растворов сорбатов

Также можно отметить, что эффект сверхэквивалентной сорбции в большей степени отмечается у ионитов, синтезированных при содержании АМПС в исходной РС 30 % (от массы сомономеров).

Для примера выходные данные, полученные при изучении сорбции ионов Zn^{2+} (за 3 погружения), проиллюстрированы на рисунке 2. При этом иониты, синтезированные при содержании АМПС 25 и 30 % (от массы РС), сорбируют основное количество ионов в течение первого погружения (рисунок 2 а, б). На это указывают данные об изменении pH водных растворов сорбатов. При первом погружении отмечается значительное снижение pH раствора, что свидетельствует о наибольшем высвобождении ионов водорода из полимерной матрицы ионита, и, следовательно, о большем количестве сорбированных им ионов металлов. В результате второго погружения наблюдается небольшое снижение pH раствора, по сравнению с исходным значением. При третьем погружении pH либо остается на уровне исходного значения, либо изменяется незначительно. Также стоит отметить, что сорбция ионов металлов ионитом, синтезированным при содержании АМПС в РС 40 % (масс.), происходит примерно равными долями при каждом его погружении в раствор сорбата (рисунок 2 в).

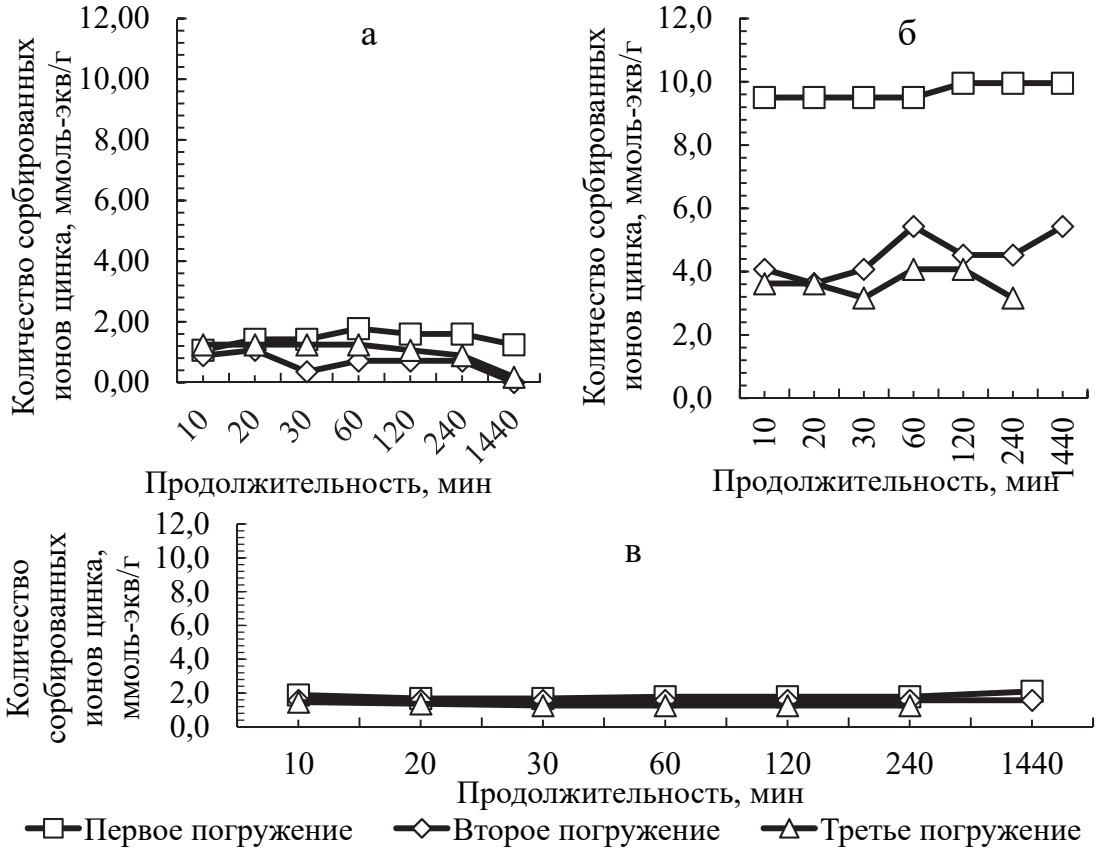


Рисунок 2 – Количество сорбированных из 0,1 н раствора $ZnSO_4$ ионов Zn^{2+} сорбентами в Н-форме: поли[АН(75)–со–АМПС(25)] (а), поли[АН(70)–со–АМПС(30)] (б) и поли[АН(60)–со–АМПС(40)] (в)

Таким образом, в результате проведенной работы показана способность ионообменных материалов, синтезированных на основе АН и АМПС, к сверхэквивалентной сорбции по отношению к ионам цинка и магния. Объяснение наблюдаемого явления требует дополнительного изучения. В настоящий момент можно предположить, что превышение значений экспериментальной статической обменной емкости над теоретическими значениями обусловлено необменными взаимодействиями ионов цинка с азотсодержащими группами полимерного субстрата по донорно-акцепторному механизму и/или «инклюзией» ионов металлов в процессе «усадки» ионита в растворе сорбата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бозорова, Н. Х. Физико-химические свойства модифицированных сшитых сополимеров акрилонитрила // Молодой ученый. – 2014. – № 9. – С. 6–8.

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

3. Щербина Л. А. Синтез и свойства сополимеров на основе акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты // Химические волокна. – 2020. – № 6. – С. 24–29.

4. 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.

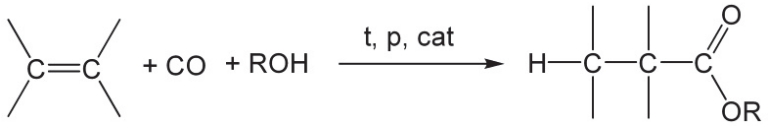
Секция III
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА. ПРОИЗВОДСТВО МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

УДК 66.095.62+547.29+544.47

Севостьянова Н.Т.
(Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого»)

АЛКОКСИКАРБОНИЛИРОВАНИЕ В СИНТЕЗЕ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ: РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ МИНИМИЗАЦИИ ОТХОДОВ

Сложные эфиры находят применение как растворители, ароматизаторы, мономеры в синтезе полимеров, полупродукты для различных химических и фармацевтических синтезов. Алкоксикарбонилирование ненасыщенных соединений спиртами и CO открывает возможности одностадийного синтеза сложных эфиров из доступных реагентов (реакция (1)). На сегодняшний день в промышленности реализуется метоксикарбонилирование этилена как первая стадия в синтезе метилметакрилата по технологии Alpha компании Lucite [1].



(1)

CO в основном выделяют из синтез-газа, получение которого возможно не только с использованием традиционных сырьевых источников – нефти и природного газа, – но также на основе каменного угля и отходов биомассы.

Алкоксикарбонилирование может протекать в присутствии гомогенных катализаторов на основе Pd, Rh, Ru, Ir, Pt, Os, Co, Ni, Mo, W, Cr и Sn [2]. Примечательно, что представленный ряд содержит не только дорогостоящие платиновые металлы, но и доступные, такие как Co и Ni, что, на первый взгляд, открывает перспективы разработки дешевых

производств сложных эфиров. Однако при использовании большинства из этих металлов реакция (1) осложняется образованием продуктов различных классов, что снижает привлекательность процесса алкоксикарбонилирования в связи с увеличением количества отходов. Наиболее активными и селективными являются палладий-фосфиновые каталитические системы с сильными протонными кислотами, в присутствии которых алкоксикарбонилирование протекает в мягких условиях при температуре 50–120 ºС (вместо 150-200 °С при использовании, например, катализаторов на основе Co и Ru) и давлении CO 0,5–3,0 МПа. Таким образом, использование палладий-фосфиновых каталитических систем открывает возможности разработки ресурсосберегающих малоотходных производств сложных эфиров путем алкоксикарбонилирования. Тем не менее основная проблема Pd-катализируемого алкоксикарбонилирования ненасыщенных соединений линейного строения связана с образованием изомерных сложных эфиров, среди которых наибольшую ценность представляют, как правило, линейные продукты. Так, причинами образования разветвленных сложных эфиров из линейных терминальных алкенов являются возможность присоединения карбоксильной группы ко второму атому С кратной связи, а также изомеризация связи С=С по цепи, катализируемая, главным образом, сильными протонными кислотами – сокатализаторами Pd-фосфиновых каталитических систем. Решение проблемы повышения селективности в настоящее время является одним из актуальных направлений в исследовании процессов алкоксикарбонилирования. Для решения этой проблемы были предложены различные пути.

Во-первых, повышение выходов линейных сложных эфиров при использовании дифосфиновых промоторов в составе каталитических систем на основе соединений Pd и сильных Н-кислот. Как было показано в ряде работ, при использовании объемных молекул дифосфинов повышается селективность алкоксикарбонилирования по линейным продуктам [1].

Во-вторых, широкие перспективы открывает использование в алкоксикарбонилировании бескислотных палладий-фосфиновых каталитических систем. Следует отметить, что в последние десятилетия для алкоксикарбонилирования, катализируемого системами с сильными Н-кислотами, придерживаются гидридного механизма в котором ключевые Pd-гидридные комплексы, дающие начало каталитическому циклу, образуются при участии протонных кислот. Примечательно, что и в случае бескислотных палладий-фосфиновых систем большинство исследователей придерживается гидридного механизма. К таким системам относятся системы палладиевый предшественник / органофосфин (или палладий-фосфиновый комплекс) [1], палладиевый предшественник / органофосфин / H_2O [1], палладиевый предшественник / органофосфин / H_2 и палладиевый предшественник / органофосфин / кислота

Льюиса [3, 4]. По нашему мнению, наиболее предпочтительными среди них являются системы, работающие в присутствии H_2, поскольку в этом случае чистый CO можно заменить на более доступный синтез-газ. С использованием указанных бескислотных систем было осуществлено алкоксикарбонилирование алкенов различной длины (от этилена до олигомеров) с линейной и разветвленной структурой, а также циклоалкены и функционализированные ненасыщенные соединения. В ряде случаев были предложены не только методики высокопроизводительного алкоксикарбонилирования, но и пути выделения высококипящих сложноэфирных продуктов с рециклом каталитической системы без использования энергоемкой ректификации: селективная кристаллизация продукта [1, 5] и использование системы термоморфных растворителей [1]. Первый способ представляется более предпочтительным, поскольку в нем использовали единственный растворитель – метанол, – являющийся одновременно сореагентом алкоксикарбонилирования. Таким образом, на сегодняшний день алкоксикарбонилирование алкенов открывает возможности разработки ресурсосберегающих малоотходных производств сложных эфиров с высоким уровнем экологической безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Севостьянова, Н.Т. Алкоксикарбонилирование ненасыщенных субстратов растительного происхождения с использованием палладиевых катализаторов как путь к получению сложноэфирных продуктов / Н.Т. Севостьянова, С.А. Баташев // Катализ в промышленности. – 2024. – Т. 23. – № 1. – С. 37-55.

2. Лапидус, А.Л. Каталитический синтез органических соединений карбонилированием непредельных углеводородов и спиртов / А.Л. Лапидус, С.Д. Пирожков // Успехи химии. – 1989. – Т. 58. – № 2. – С. 197-233.

3. Nifant'ev, I.E. Synthesis of methyl β-alkylcarboxylates by Pd/diphosphine-catalyzed methoxycarbonylation of methylenealkanes $RCH_2CH_2C(R)=CH_2$ / I.E. Nifant'ev, N.T. Sevostyanova, S.A. Batashev, A.A. Vinogradov, A.A. Vinogradov, A.V. Churakov, P.V. Ivchenko // Applied Catalysis A: General. – 2019. – V. 581. – P. 123-132.

4. Nifant'ev, I. Methylenealkane-based low-viscosity ester oils: synthesis and outlook / I. Nifant'ev, V. Bagrov, A. Vinogradov, A. Vinogradov, S. Ilyin, N. Sevostyanova, S. Batashev, P. Ivchenko // Lubricants. – 2020. – V. 8. – P. 50-59.

5. Herrmann, N. Selective product crystallization for concurrent product separation and catalyst recycling in the isomerizing methoxycarbonylation of methyl oleate / N. Herrmann, K. Köhnke, T. Seidensticker // ACS Sustainable Chemical Engineering. – 2020. – V. 8. – № 29. – P. 10633-10638.

УДК 657.6

Занько Н.Г., Раковская Е.Г.
(СПбГЛТУ им. С.М. Кирова)

ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОЛОГИИ

Воздействие человека на окружающую среду может рассматриваться в разных аспектах в зависимости от цели изучения этого вопроса. С точки зрения экологии представляет интерес рассмотрение воздействия человека на экологические системы под углом зрения соответствия или противоречия действий человека объективным законам функционирования природных экосистем.

Сегодня достаточно сложно ранжировать хозяйственную деятельность по степени ее экологической опасности для окружающей среды – это зависит от очень многих факторов и носит ярко выраженный региональный характер. Экологическая безопасность промышленного региона базируется на синтезе трех основных концепций, используемых в мировой практике. Первая – концепция воздушной среды как главного фактора создания экологической ситуации в промышленном регионе. Вторая – концепция водооборота промышленного региона как фактора его жизнеобеспечения. Здесь главное значение имеют ресурсы и количество бытовых и хозяйственно вод, проблемы полноты очистки и сброса сточных вод. Третья – концепция депонирующих сред. Разработка ее особенно сложна, поскольку цель этой концепции – выявление зон воздействия всех видов загрязнений в промышленных агломерациях. Анализ миграции загрязняющих веществ в окружающей среде и динамики происходящих на всех ее этапах процессов очень затруднен. Роль и место каждой из концепций меняется в зависимости от промышленной специализации региона, длительности техногенного воздействия, природных факторов загрязнения и самоочищения среды.

Вместе с тем, по материалам Международной конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте [1], экологически опасными признаны следующие виды производств и объектов: добыча полезных ископаемых, химическая промышленность; производство целлюлозы, бумаги и картона; вырубка лесов на больших площадях и др.

В зависимости от вида хозяйственной деятельности форма разрушения природных экосистем может быть различной. Однако многие из этих производств стали причиной возникновения объектов накопленного вреда окружающей среде (НВОС). НВОС - вред окружающей

среде, возникший в результате прошлой экономической и иной деятельности, обязанности по устранению которого не были выполнены либо были выполнены не в полном объеме [2].

В настоящее время в соответствии с [3] ведется государственный учет объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. По состоянию на март 2023 года в государственный реестр объектов накопленного вреда окружающей среде (ГРОНВОС) зарегистрировано 509 таких объектов.

Объекты накопленного вреда окружающей среде оказывают негативное воздействие на компоненты природной среды и население. Атмосферный воздух в зоне влияния объектов накопленного вреда окружающей среде, прилегающие к ним земли, поверхностные водоемы, а также подземные воды загрязнены самыми разнообразными органическими и неорганическими веществами, опасными микроорганизмами. Набор загрязняющих веществ определяется видом деятельности, в результате которого образован объект.

Объекты, являющиеся результатом деятельности химического производства, имеют площади от 0,284 до 22 000,000 тыс. кв. м с накопленными на них отходами I-V классов опасности объемом от 0,035 тыс. куб. м до 44 500,000 тыс. куб. м. Превышения установленных нормативов в поверхностных водах по содержанию меди, марганца, кадмия, свинца, фенолов, сухого остатка составляют от 15 до 30 ПДК. Атмосферный воздух загрязнен взвешенными веществами, формальдегидом, фенолом, оксидом углерода, метаном, ртутью. Почвы в зоне влияния объектов, являющиеся результатом деятельности химического производства, загрязнены свинцом, мышьяком, бенз(а)пиреном, кадмием, ртутью. Превышение ОДК и ПДК в среднем составляет до 100 раз.

Объекты, являющиеся результатом деятельности предприятий нефтепереработки, нефтехимического производства, имеют площади от 4,7 до 61,3 тыс. кв. м с накопленными на них отходами III-V классов опасности объемом от 1,6 тыс. куб. м до 96,0 тыс. куб. м. Основное воздействие данные объекты оказывают на подземные и поверхностные воды. Так, поверхностные воды в основном загрязнены марганцем (до 13 мг/л), нефтепродуктами (до 60 мг/л), железом (до 8,1мг/л), аммоний-ионом (до 41,1мг/л). Содержание нефтепродуктов, марганца, железа, мышьяка в подземных водах превышает установленные нормативы в десятки, сотни и тысячи раз.

В объем неутилизированных отходов, которые относятся к НВОС, отходы производств химической переработки древесины вносят значимый вклад. На объектах, являющихся результатом деятельности целлюлозно-бумажной промышленности, накоплены отходы III–V классов

опасности объемом от 1,030 до 2 879,815 тыс. куб. м. В компонентах природной среды вблизи таких объектов фиксируются высокие и экстремально высокие превышения по железу, ртути, взвешенным веществам, марганцу (табл.1) [4]

Принципы ESG становятся одним из ключевых параметров бизнес-стратегий при химической переработке древесины.

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) стремятся хотя бы половину потребляемой энергии производить самим, в том числе за счет сжигания собственных твердых отходов, вводятся в эксплуатацию объекты по производству биотоплива на основе илового остатка. Рассматривается возможность использования в качестве энергетических ресурсов вторичного сырья и отходов производства — черного и красного щелоков, кородревесных отходов, продуктов лесохимии.

Таблица 1 – Загрязняющие вещества деятельности ЦБП

Компонент окружающей природной среды							
Почва		Поверхностные воды		Подземные воды		Атмосферный воздух	
Наименование загрязняющего вещества	Выявленные превышения, доли ПДК, ОДК[1]	Наименование загрязняющего вещества	Выявленные превышения, доли ПДК[1]	Наименование загрязняющего вещества	Выявленные превышения, доли ПДК[1]	Наименование загрязняющего вещества	Выявленные превышения, доли ПДК, ОБУВ[1]
Цинк	2	Железо	9	Нитрат-анион	2,8	Фенол	1,5
Мышьяк	5,25	Медь	2	АПАВ	4,6	Оксид углерода	1,55
Никель	2,13	Марганец	2	Взвешенные вещества	250		
Свинец	1,5	Аммоний-ион	7,58	Алюминий	9,6		
Медь	3	Нитрат-анион	1,13	Марганец	44		
Кадмий	1,24	Фосфат-ион	11	Свинец	11		
		БПК	2,42	Железо	96,67		
		Нефтепродукты	1,8	Ртуть	2600		
		Взвешенные вещества	17,4				
		Алюминий	2,75				
		Свинец	1,2				
		Фенол	1,7				
		Ртуть	55				

Другое направление – снижение водопотребления и очистка сточных вод. Водооборот и среднем по отрасли составляет около 65%. Количество воды, находящейся во внецеховом водообороте (сточные воды после соответствующей внеплощадочной обработки возвращаются в производство), не превышает в среднем 3-5%. Несколько большее количество воды находится в межцеховом водообороте (сточные воды одного цеха используются взамен свежей воды в другом) - в среднем 10-15%, а величина внутрицехового оборотного и последовательного использования воды достигает 70-90%.

Снижение вредных выбросов в окружающую среду возможно за счет исключения хлорсодержащих соединений из технологии. Рассматривается возможность перехода на использование перекиси водорода в качестве отбеливающего реагента при производстве целлюлозы вместо используемого ранее гипохлорита натрия, то есть без использования элементарного хлора.

Работа предприятий химической переработки древесины строится согласно принципам социальной ответственности, в рамках комплексного подхода, направленного на удовлетворение потребностей потребителя, сотрудников и окружающей среды. Такой подход обеспечивает экологические права человека: право на благоприятную окружающую среду, право на информацию об окружающей среде, право на участие в принятии экологических решений, право на возмещение вреда, причиненного экологическими правонарушением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конвенция об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте. [Электронный ресурс] – URL: – https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/

2. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002г. №7 – ФЗ [Электронный ресурс]: URL: https://base.garant.ru/12125350

3. Постановление Правительства Российской Федерации от 13.04.2017 № 445 (ред. от 25.12.2019) «Об утверждении Правил ведения государственного реестра объектов накопленного вреда окружающей URL: https://base.garant.ru/71656476

4. Дашкевич А.С., Занько Н.Г., Раковская Е.Г. Накопленный вред окружающей среде как угроза экологической безопасности /Вестник МАНЭБ – 2023, Т.28, №4, с. 78-82.

УДК 661

Раджабов Ш.Х.
(Таджикский национальный университет)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ НЕФТИ И ГАЗА В ЖИЗНОДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

В настоящее время, пластовые воды, откачиваемые из коллекторов вместе с нефтью находит применение в системах оборотном водоснабжении при добыче нефти. Однако при использовании пластовых вод

особое внимание следует уделить биологической и химической совместимости закачиваемых вод.

Низкое содержание сульфат-иона или полное отсутствие его в водах нефтяных месторождений объясняется тем, что присутствие органического углерода создает восстановительные условия в пласте.

Среди разнообразных групп микроорганизмов, обнаруженных в попутных водах, следует отметить сульфатвосстанавливающие бактерии, которые обусловливают процесс восстановления сульфатов, который ведет к накоплению сероводорода и усилению явлений коррозии нефтепромыслового оборудования.

Исходя из этого нами было исследовано возможности получения ядохимиката нового состава обладающего акарицидным действием по отношению к клещам животных (ИСПК- инсектоакарицидное средство против клещей) на основе пластовых отработанных сероводородсодержащих вод (отходы) при добыче нефти.

Подземные воды являются непременным спутником нефти и газа, находясь в тех же самых пластах (коллекторах). При этом происходит естественное разделение по плотности: самое высокое положение занимает газ, ниже – нефть, а ещё ниже – вода. Помимо пластов, в которых нефть залегает вместе с водой, в разрезах нефтяных и газовых месторождений могут находиться и самостоятельные водоносные горизонты, залегающие выше или ниже нефтяной или газовой залежи [1].

Химический состав вод нефтяных и газовых месторождений формируется обычно при затрудненном водообмене и активном воздействии нефти и газа. Поэтому пластовые воды характеризуются разнообразными химическими особенностями. Состав пластовых вод зависит от геологического возраста и химических свойств вмещающих пород, а также нефти и газа. Поэтому пластовые воды, как в пределах одной нефтяной или газовой залежи, так и особенно для разных месторождений, имеют существенные различия в количественном содержании и химическом составе растворенных минеральных солей, газов, компонентов нефти. Изменяются состав и свойства пластовых вод и по мере разработки залежи. Снижение давления, температуры, контакт с другими пластовыми водами, которые происходят в процессе добычи нефти, приводят к дегазации и к нарушению ионных равновесий. Для сравнения химического состава пластовые воды, как и другие природные воды, классифицируют по характерным признакам. Наиболее распространенными среди вод нефтяных месторождений являются гидрокарбонатно-натриевые, сульфатно-натриевые и, особенно, хлоридно-кальциевые воды [2]. Состав пластовых вод некоторых нефтяных месторождений нашей страны представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Ионный состав закачиваемой и попутно добываемой пластовой воды месторождения Шаамбары.

Вода	pH	Содержание ионов, мг/л							Общая минерализация, г/л
		Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	
Пластовая вода	7,55	11002	348	323	1425	20138	2479	74	35,789
Закачиваемая вода	6,83	38542	1649	16813	619	91990	627	53	150,293

В настоящее время пластовые воды откачиваемые из коллекторов вместе с нефтью находит применение в системах оборотном водоснабжении и частично компенсирует расход пресных вод для технологических целей при добыче нефти. Однако при использовании пластовых вод особое внимание следует уделить биологической и химической совместимости закачиваемых вод.

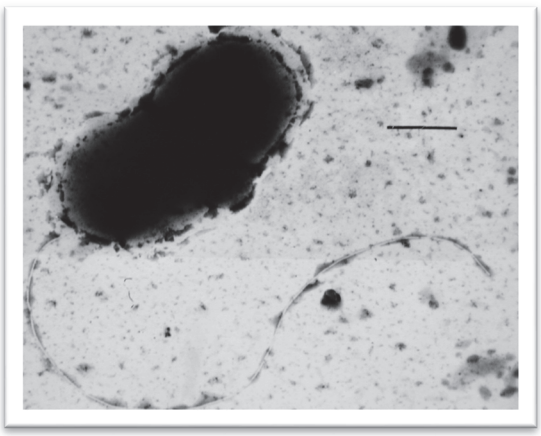
Низкое содержание сульфат-иона или полное отсутствие его в водах нефтяных месторождений объясняется тем, что присутствие органического углерода создает восстановительные условия в пласте. В результате этого сульфаты восстанавливаются по уравнению

$$MeSO_4 + 2C + H_2O = MeCO_3 + CO_2 + H_2S$$

Из приведенной реакции следует, что органическое вещество окисляется и превращается в CO_2, а сульфаты исчезают из вод, превращаясь в сероводород. Процессу восстановления сульфатов (десульфатации) способствуют бактерии-десульфатизаторы, живущие в нефти. Эти бактерии используют кислород сульфатов для дыхания, а углеводороды служат им источником питания.

Среди разнообразных групп микроорганизмов, обнаруженных в попутных водах, следует отметить сульфатвосстанавливающие бактерии, содержание которых достигает нескольких миллионов клеток в 1 мл воды. Именно они обусловливают процесс восстановления сульфатов, который ведет к накоплению сероводорода и усилению явлений коррозии нефтепромыслового оборудования.

Сульфатредуцирующие микроорганизмы (SRM) представляют собой группу, состоящую из сульфатредуцирующих бактерий (SRB) и сульфатредуцирующих архей (SRA), которые могут осуществлять анаэробное дыхание с использованием сульфата (SO2-4) в качестве конечного акцептора электронов, восстанавливая его до сероводорода (H2S). Следовательно, эти сульфидогенные микроорганизмы "дышат" сульфатом, а не молекулярным кислородом (O_2), который является конечным акцептором электронов, восстанавливающимся до воды (H2O) при аэробном дыхании [3].





В последнее время для получение препаратов нового состава обладающего акарицидным действием по отношению к клещам животных достигнута значительный прогресс, однако с точки зрения себестоимости получения и производства некоторые из этих препаратов не эффективны и не приносят экономической выгоды.

Тем не менее, размножение клеща животных еще остаются в категории широко распространенных во многих странах, вызывая серьезные экономические и социальные последствия.

Исходя из этого нами было исследовано возможности получения ядохимиката нового состава обладающего акарицидным действием по отношению к клещам животных (ИСПК- инсектоакарицидное средство против клещей) на основе пластовых отработанных сероводородсодержащих вод (отходы) при добыче нефти.

Препараты с серой относятся к специфическим акарицидам. Такие вещества имеют неоспоримое преимущество: они действуют избирательно, только на клещей. Также после обработки серными препаратами пропадают возбудители грибковых заболеваний. Для людей и растений они не токсичны. Их действие на клещей практически моментально.

Исследования ИСПК было проведено в исследовательских лабораториях отдела паразитологии Института ветеринарной медицины ТАСХН и достигнут удовлетворительный результат.

Испытание эффективности предлагаемого ИСПК в качестве акарицидного средства осуществляли методом опрыскивания с помощью пульверизатора концентрация предлагаемого ядохимиката на поверхность тела сельскохозяйственного животного содержащего определенное количество клещей следующих групп: acari (acarina), ixcodidae и orbatidae. Объем опрыскиваемой эмульсии составлял 30-40 мл на 1м^2 поверхностьи тела животного имеющего клещей. Исследования проводили при атмосферной температуре от 20 до 35°С [4].

Наблюдения показали, что после опрыскивания предлагаемым составом ИСПК 45% -ой концентрации, через 10-15 минут все клещи упали с поверхности тела животного и погибли. После обработки раздражения на коже животных не наблюдались, наоборот происходит полное заживление ранее имеющихся ран. Предлагаемый состав на организм клещей воздействует губительно, но не является токсичным для теплокровных животных.

Таблица 2 – Результаты испытания приведены в

Группа животных	Концентрация препарата ИСПК, %.	Доза по ДВ мл/м^2	Число животных в группе	Из них освободилось от клещей через 1 сутки	ЭЭ, %
Подопытные КРС	45	40	2	2	100
Подопытные собаки	45	30	2	2	100

Исходя из табл.2. становится ясным, что предлагаемый состав проявляет высокую эффективность защиты от клещей и не уступает известным составам а в отличие от них обладает низкой токсичностью на теплокровных животных. Предлагаемый состав акарицидного действия по отношению к клещам животных по эффективности превосходит известные реагенты и входящие в них компоненты. Испытуемый препарат хорошо снижает количество клещей на теле животных и одновременно имеет низкую токсичность (LD_{45} = 3000мг/кг), чем Диазинон (LD_{50} = 0,002мг/кг массы тела) и рекомендуется для широкого применения в животноводческих хозяйствах [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Проскуряков В.А., Драбкин А.Е. – Химия нефти и газа. 3-е изд. доп. и испр. " Издательство Альянс " 2013.- с. 293.

2. Ланина, Т.Д. Процессы переработки пластовых вод месторождений углеводородов: монография // Т.Д. Ланина, В.И. Литвиненко, Б.Г. Варфоломеев. – Ухта: УГТУ, 2006.- с.172.

3. Гусев М. В., Минеева Л. А. Микробиология. — М.: МГУ, 2004. — С. 388—393.- 448 с.

4. Прикладная гидрогеохимия: Учебник // В.А. Кирюхин; Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 2010.- 189с.

5. Антонюк А.А. Медицинская паразитология. Членистоногие: Пособие для студентов мед. ВУЗов // А.А. Антонюк, Е.В. Карпова. СПб: Изд-во СПбГМУ, 1998.- 67с.

УДК 666.3-128

Баранцева С.Е., Климош Ю.А.,
Курилович М.А., Герасимчук А.А.
(Белорусский государственный технологический университет)

КЕРАМИЧЕСКИЕ ОБЛИЦОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗАЛЬТОВ И ТУФОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Облицовочные керамические материалы – изделия, полученные путем формования и последующего высокотемпературного обжига полуфабриката из керамических масс на основе минерального сырья. Важнейшими качественными показателями таких изделий являются физико-механические и декоративные свойства, которые предопределяют выбор сырьевых материалов при их производстве. Данные показатели и требования, предъявляемые к керамическим облицовочным материалам, зависят от области их применения.

Наиболее популярными облицовочными материалами, применяемыми для отделки жилых помещений и зданий, являются керамические плитки для внутренней отделки стен и керамические плитки для покрытия полов. Требования, предъявляемые к данным изделиям, регламентированы ГОСТ 13996-2019. Традиционно для производства керамических плиток применяют глинистые материалы (тугоплавкие и огнеупорные глины каолинитового и каолинит-гидрослюдистого состава), кварцевый песок, полевые шпаты, пегматиты, отсевы дробления горных пород, волластонит, доломит и другие компоненты. Использование оптимальных сочетаний сырьевых материалов и режимов обжига позволяет получать готовую продукцию с высокими физико-эксплуатационными и эстетическими свойствами. Однако в рецептурах керамических масс для производства плиток для настила полов значительную часть составляют импортируемые сырьевые материалы, такие как полевые шпаты и пегматиты, беложгущиеся огнеупорные глины и др., что значительно сказывается на себестоимости продукции.

Альтернативы импортируемому из Российской Федерации глинистому сырью в Республике Беларусь практически нет, так как белорусские глины являются неспекающимися, низкосортными и могут быть использованы только в сочетании с привозными глинами. В современных условиях наиболее актуальным является замена традиционных флюсующих материалов (полевых шпатов, пегматитов) на местные сырьевые аналоги, например, такие как базальт и туф.

В результате проведенных геологоразведочных работ в 2023 г. выполнена детальная разведка Новодворского месторождения базальтов

и туфов – первого и единственного месторождения вышеуказанного сырья в Республике Беларусь, выявленного в Пинском районе Брестской области [1–3]. Новодворское месторождение базальтов и туфов отличается специфическим залеганием пород, которые располагаются по высоте толщи сверху вниз в следующем порядке: вскрыша в виде строительных песков с примесью гравия; глауконитсодержащие пески, алевриты и алевролиты; базальты и сапонитовые туфы.

Базальты и туфы являются новым видом полезных ископаемых подготавливаемых к разработке на территории Республики Беларусь. В настоящее время базальтовый щебень импортируется в страну из Российской Федерации предприятиями по производству базальтовых волокон.

В соответствии с Кодексом Республики Беларусь о недрах комплексное использование минерального сырья месторождения «Новодворское» можно реализовать только при условии его разработки открытым способом. При разработке карьера планируется, что пески, алевриты, туфы и туффиты селективно складируются на специально отведенных для этих целей площадях.

В данной работе была проведена оценка возможности использования базальтов и туфов в качестве компонентов в составах шихт для получения керамических плиток для настила полов и плиток для внутренней отделки стен. Базальт и туф рассматриваются в качестве альтернативы частичной или полной замены импортируемых полевых шпатов и пегматитов.

В качестве сырьевой основы нами выбраны сырьевые компоненты, применяемые в составах керамических масс на ОАО «Березастройматериалы» при производстве керамических плиток. В составы керамических масс плиток для полов вводили сочетание двух огнеупорных российских глин, полевой шпат, гранитоидные отсевы, кварцевый песок. Базальт и туф вводились как индивидуально, так и комплексно в составы масс частично или полностью заменяя в рецептурах полевой шпат.

В составах масс плиток для внутренней отделки стен применяли местные сырьевые компоненты – сочетание двух легкоплавких глин, кварцевый песок, доломит, гранитоидные отсевы, плиточный бой, а также базальт и туф.

Для изготовления экспериментальных образцов осуществлялось приготовление шликера методом мокрого помола отдозированных сырьевых компонентов в шаровой мельнице, влажность шликера составляла около 37-38 %. Далее для получения пресс-порошка шликер подвергался термическому обезвоживанию до влажности 6-7 %. Прессовали полуфабрикаты плиток размером (50×50×7) мм на гидравлическом прессе при удельном давлении 15-25 МПа. Отформованный полуфабрикат плиток подвергался сушке в сушильном шкафу при температуре 120–150 °С до остаточной влажности не более 1 %. Обжигали керамические плитки для

полов при температуре 1180-1195 °С, а плитки для внутренней отделки стен – при температурах 1105-1125 °С.

Изучение показателей физико-химических свойств плиток для внутренней отделки стен показало, что на показатели свойств значительное влияние оказывает температура обжига, в меньшей степени содержание базальта или туфа в составах масс. При увеличении температуры обжига образцов закономерно уменьшались значения водопоглощения, пористости, в то время как плотность материала увеличивалась. Это связано с тем, что с увеличением температуры обжига интенсифицируются процессы спекания, повышается содержание стекловидной фазы, которая заполняет поры, оказывает влияние на фазовый состав плиток. Так, в зависимости от температуры обжига водопоглощение плиток составляло 16,1-23 %; общая усадка – 0,8-2,7 %; плотность – 1,64-1,93 г/см^3; открытая пористость – 29,4–39 %; механическая прочность при изгибе 8-21,5 МПа; температурный коэффициент линейного расширения образцов – $(68,5–72,5)\cdot10^{-7}$ K^{-1}. Фазовый состав опытных облицовочных плиток представлен аморфизированным глинистым веществом, кварцем, анортитом и гематитом.

Более сложные закономерности изменения «состав–свойство» наблюдались для образцов плиток для полов. Это обусловлено более высокими температурами обжига плиток (1195-1200 °С), что необходимо для обеспечения минимальных значений водопоглощения и высокой механической прочности. Визуальное изучение образцов плиток для полов показало, что образцы имеют равномерную насыщенную окраску коричнево-шоколадного цвета. Замена полевого шпата на базальт на цветовые характеристики заметного влияния не оказывает. Вместе с тем, повышение температуры обжига с 1180 °С до 1200 °С оказывает влияние как на цветовые характеристики, так и на деформационную устойчивость и усадку образцов плиток. Отмечается, что при высоком содержании базальтов в массах (22,5-25 %) взамен полевого шпата наблюдается возрастание огневой усадки до 4,5-5 %, появляется деформация образцов плиток (кривизна поверхности). Вероятно, это обусловлено значительным снижением вязкости расплава, образующегося при плавлении базальтов, а также увеличением его количества при 1200 °С. Это требует корректировки рецептур керамических масс, поиска оптимальных режимов обжига плиток. Обожженные при 1195 °С образцы керамических плиток для полов оптимальных составов характеризовались следующими показателями свойств: водопоглощение 2,45–5,5 %; плотность 2,1–2,4 г/см^3; истираемость 0,06–0,09 г/см^2; предел прочности при изгибе 18–29,5 МПа. На дифрактограммах плиток для полов фиксировался кварц, муллит, анортит, гематит.

Анализируя результаты экспериментальных исследований, можно отметить, что введение базальта или туфа в составы сырьевых смесей

возможно до 20 %. При этом установлено, что возможно и их совместное присутствие в плиточных массах в различных сочетаниях (от 1:3 до 3:1), что незначительно влияет на изменения показателей физико-химических свойств. Более эффективно оказывал флюсующее действие базальт по сравнению с туфом, что, вероятно, обусловлено более высоким содержанием плагиоклазов и вулканического стекла в составе. Тем не менее, учитывая открытый способ разработки карьера, попадание вместе с базальтом незначительных количеств туфов не окажет заметного отрицательного влияния на показатели физико-механических свойств изделий. В целом можно отметить, что белорусские базальты являются перспективным сырьем для изготовления облицовочных материалов и могут стать альтернативой импортируемым полевым шпатам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьменкова О.Ф., Левицкий И.А., Баранцева С.Е., Позняк А.И. Вендские траппы Беларуси – перспективное сырье для силикатной промышленности // Літасфера. 2012. № 2 (37). – С. 130–137.

2. Кузьменкова О.Ф., Дашкевич В.П., Качанко Г.Б. и др. Базальты Пинской поисковой площади: геология и перспективы использования // Сб. докл. Междунар. науч. конф. «Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья. – Минск : Беларуская навука, 2016. – Т. 1. – С. 544–550.

3. Кузьменкова О.Ф., Стрельцова Г.Д., Миненкова Т.М. и др. Глауконитсодержащие породы поискового участка Пинский (Беларусь) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования. Минск: СтройМедиаПроект, 2017. С. 172–176.

УДК 661

Медведев А.А., Еремина Е.В., Байбурский В.Л.,
Бельдова Д.А., Соколовский П.В.
(Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН)

УГЛЕКИСЛОТНАЯ КОНВЕРСИЯ СКОРЛУПЫ ОРЕХА МАКАДАМИЯ В МОНООКСИД УГЛЕРОДА, КАТАЛИЗИРУЕМАЯ СОЕДИНЕНИЯМИ КОБАЛЬТА

В связи с увеличением численности населения растет спрос на различные энергоносители, а ресурсы ископаемого топлива ограничены [1]. Кроме того, существуют трудности с утилизацией разнообразных

невостребованных углеродных материалов, в частности, биомассы различного происхождения. Одним из методов утилизации невостребованных углеродных материалов является газификация. Процесс газификации органического сырья с использованием CO_2, как газифицирующего агента, приводит к получению монооксида углерода, который в свою очередь является сырьем в синтезе Фишера-Тропша [2, 3], а также может выступать в качестве топлива на ГТС. Использование диоксида углерода в углекислотной конверсии невостребованных углеродных материалов является способом утилизации парникового газа. Однако, этот процесс является сильно эндотермичным и протекает со значительной конверсией лишь при температурах около 1000 °С. Нанесенные на поверхность твердого субстрата катализаторы позволяют снизить температуру процесса, а значит повысить эффективность данной технологии. Каталитической активностью в данном процессе обладают соединения щелочных, щелочноземельных и переходных металлов. Использование доступных соединений переходных металлов как катализаторов процесса газификации, например, соединения кобальта вызывают интерес, ввиду высокой активности [2,4] и низкой нагрузки на экосистему планеты. Одним из невостребованных углеродных материалов является скорлупа ореха, в частности, скорлупа ореха макадамия (Macadamia Nutshell (MNS)). В настоящей работе были приготовлены и использованы каталитические системы на основе соли кобальта для выявления зависимости конверсии полученных материалов газификации MNS [3].

Образец готовили следующим образом: нитрат кобальта растворяли в соответствующем количестве воды, определенном по влагоемкости Macadamia Nutshell. MNS пропитывали определенным количеством раствора соли для получения необходимого содержания металла (5 масс. %). Пропитанный образец высушивали при температуре 80 °С в течение 24 часов в сушильном шкафу.

Результаты конверсии чистой скорлупы ореха макадамии и модифицированной соединениями кобальта в монооксид углерода представлены на рисунках 1 и 2, соответственно. Показано, что селективность по монооксиду углерода растет с повышением температуры. Введение металла в каталитическую систему также положительно влияет как на конверсию MNS, так и на селективность по CO. Конверсия MNS, модифицированной кобальта, близка к 100% при температуре проведения газификации 940 °С. Образцы до и после конверсии были исследованы рядом физико-химических методов: РФА, СЭМ-РСМА, ПЭМ.

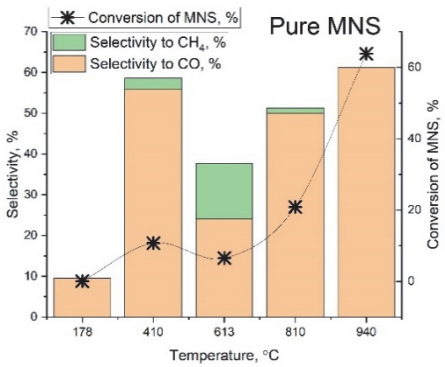


Рисунок 1 – Селективность по CH_4 и CO и конверсия углерода скорлупы ореха макадамии в монооксид углерода

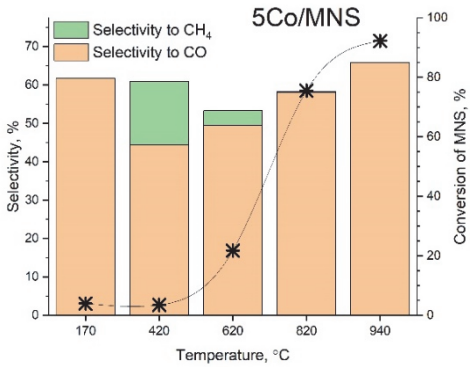


Рисунок 2 – Селективность по CH_4 и CO и конверсия углерода скорлупы ореха макадамии, модифицированной Co, в монооксид углерода

Благодарности: Работа выполнена в рамках темы госзадания номер 13 «Разработка адсорбционно-каталитических систем для очистки воздуха от парниковых и кислых газов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Akbarian A. et al. Challenges and opportunities of lignocellulosic biomass gasification in the path of circular bioeconomy // Bioresource Technology., 2022. Vol. 362, № 8, P. 127774.

2. Medvedev A. A. et al. Gasification of hydrolysis lignin with CO2 in the presence of Fe and Co compounds //Mendeleev Communications. – 2022. – Т. 32. – №. 3. – С. 402-404.

3. Evdokimenko N. et al. Sponge-like CoNi Catalysts Synthesized by Combustion of Reactive Solutions: Stability and Performance for CO2 Hydrogenation // Materials. 2022. Vol. 15, № 15. P. 5129.

4. Beldova D. A. et al. CO2-Assisted Sugar Cane Gasification Using Transition Metal Catalysis: An Impact of Metal Loading on the Catalytic Behavior //Materials. – 2023. – Т. 16. – №. 16. – С. 5662.

УДК 628.355

Емельянова В.А. Ермак А.А.
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА

При эксплуатации биохимических очистных сооружений образуются крупнотоннажные органоминеральные отходы, одним из которых является избыточный активный ил, утилизация которого является

сложной экологической и технологической проблемой [1]. Осадки и илы сточных вод представляют собой бактериологическую и эпидемиологическую опасность. В них встречаются все основные формы бактериальных организмов, в т.ч. возбудители желудочно-кишечных и других заболеваний, большое число гельминтов. Поэтому традиционные методы утилизации осадков, такие как, использование в качестве сельскохозяйственных удобрений, сброс в природные водоемы, компостирование, захоронение, не всегда эффективны и становятся экологически небезопасными [2].

На основе анализа научно-технической информации и зарубежного опыта можно выделить следующие способы переработки и утилизации активного ила:

− депонирование на иловых картах;
− биологическая переработка;
− термические методы;
− другие методы.

В Республике Беларусь основным способом утилизации обезвоженного избыточного активного ила остается его складирование на иловых картах и в илонакопителях, где в течение длительного времени протекает биодеградация отходов. Однако данные методы неэффективны и экологически небезопасны [2].

Основные направления утилизации избыточного активного ила представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Способы утилизации избыточного активного ила очистных сооружений

Поиск экологически безопасных и экономически выгодных способов утилизации избыточного активного ила на сегодняшний день является актуальной темой.

В качестве объекта исследований использовался избыточный активный ил с очистных сооружений ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод “Альбертин”». Он образуется в процессе биологической очистки производственных сточных вод в аэротенках. Объем образования ила составляет 1200 т/год.

Избыточный активный ил состоит из 92,23% влаги и 7,77% сухого вещества, который в свою очередь включает 59,33% органического вещества, 5,23% азота, 2,37% фосфора и 0,14% калия. Во влажном избыточном активном иле содержатся такие металлы, как свинец (2,35 мг/кг), кадмий (0,09 мг/кг), марганец (27,24 мг/кг), хром (1,50 мг/кг), никель (1,01 мг/кг) и цинк (12,15 мг/кг). Кислотность активного ила составляет 7,77.

Были получены ИК-спектры образцов избыточного активного ила, представленные на рисунке 2.

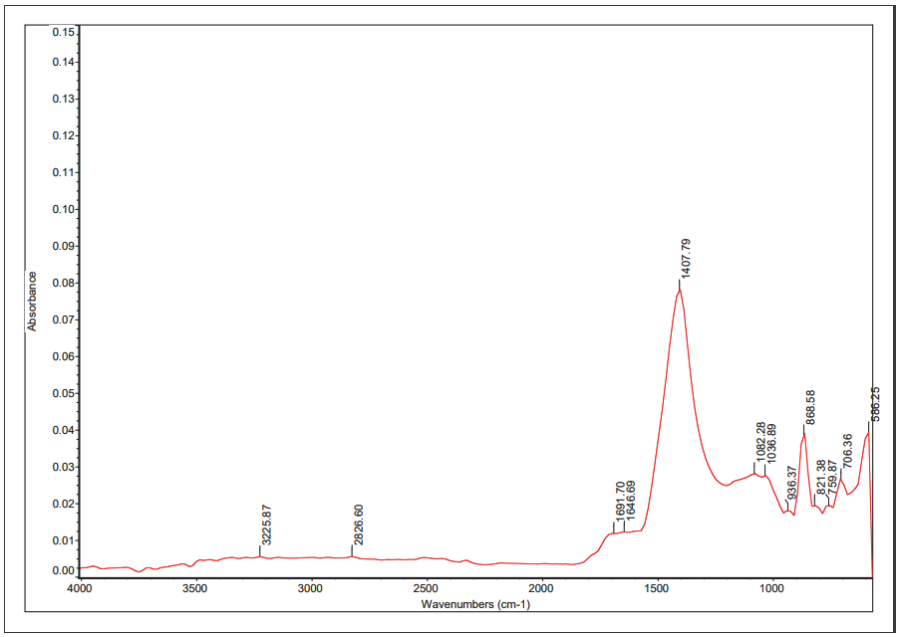


Рисунок 2 – ИК-спектр избыточного активного ила

Как видно из рисунка 2, в этом образце больше всего присоединённых -CH_3 групп: N-CH_3 (1426 $см^{-1}$), O-CH_3 (1455 $см^{-1}$) и карбонаты. Также присутствуют алкены (диены) об этом указывает пик 1637,09 $см^{-1}$ и ароматические углеводороды (пики 1034,54-601,86 $см^{-1}$). Спектры 3270,43 $см^{-1}$ и 2923,41 $см^{-1}$ обозначают наличие аминокислот.

Был произведен термогравиметрический анализ образцов избыточного активного ила на термогравиметрическом анализаторе TGA-101.

Результаты анализа представлены на рисунке 3. Во время термогравиметрического анализа температура повышалась со скоростью 10°С в минуту и устанавливалась на 900°С.

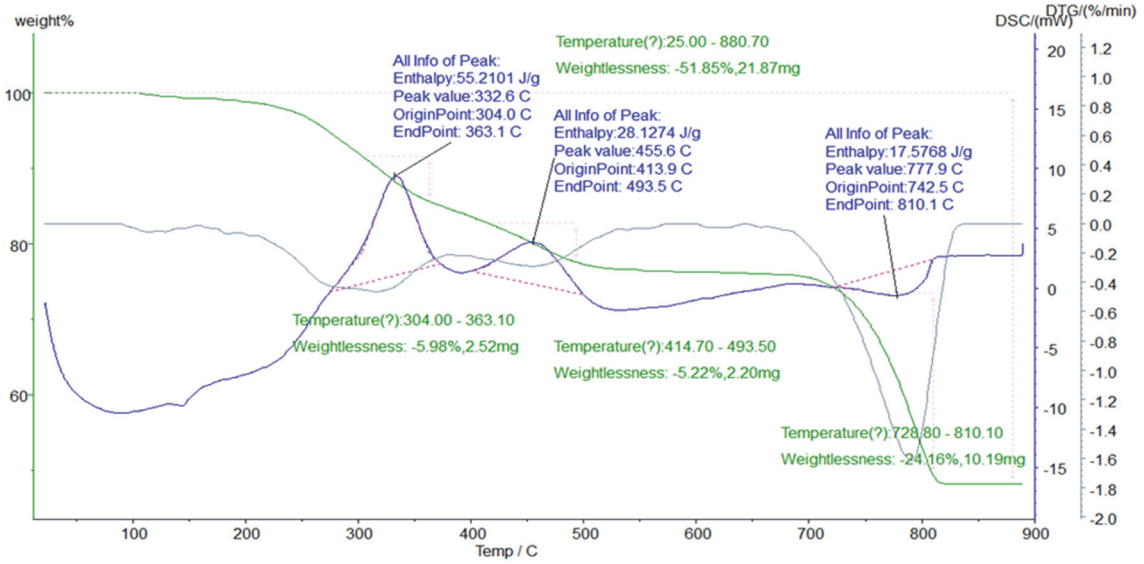


Рисунок 3 – Результаты термогравиметрического анализа активного ила

В области от 200°С до 800°С наблюдается 3 пика потери массы. Первый пик с наибольшей удельной энтальпией (экзотермический эффект) равен 332,6°С, энтальпия 55,2 Дж/г. Второй пик (экзотермический эффект) для ила равен 455,6°С, энтальпия 26,1 Дж/г. Третий пик (эндотермический эффект) для исходного активного ила равен 777,9°С, энтальпия 17,6 Дж/г. Общая потеря массы составляет 51,37% масс.

На основе представленных данных можно сделать вывод о том, что перспективными способами утилизации избыточного активного ила является его переработка с целью компонента твердых топлив.

ЛИТЕРАТУРА

1 Экологически безопасный способ утилизации осадков сточных вод биохимических очистных сооружений с получением углеродсодержащих сорбционных материалов / Я.И. Вайсман, И.С. Глушанкова, М.С. Дьяков, М.Б. Ходяшев // Вода: химия и экология. -2011. - № 3. - С. 14-24.

2 Путырская, Е.А. Анализ методов утилизации активного ила при очистке сточных вод / Е.А. Путырская, науч. рук. Г.В. Бельская //Сборник материалов 72-й студенческой научно-технической конференции, 20-28 апреля 2016г. / Белорусский национальный технический университет, факультет горного дела и инженерной экологии. Секция экологический менеджмент. – Минск, 2016. – С. 69-72.

УДК 666.3-128

Баранцева С.Е., Климош Ю.А.,
Попов Р.Ю., Бубич А.С.
(Белорусский государственный технологический университет)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДОЧНЫХ И МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЛИНКЕРНОГО КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

В настоящее время в строительной отрасли всё большее внимание уделяется решению задач импортозамещения строительных отделочных материалов, повышению долговечности зданий и сооружений, снижению текущих затрат на их эксплуатацию и ремонт. Долговечностью, обеспеченной высокими механической прочностью и морозостойкостью, хорошими эстетическими качествами обладает клинкерный керамический кирпич. Как известно, различают клинкер дорожный (клинкерная брусчатка), строительный и облицовочный, применяемые в гражданском строительстве, клинкер для гидротехнических сооружений и кислотоупорный клинкер [1-3]. Благодаря высоким физико-механическим свойствам, химической и коррозионной стойкости клинкерный кирпич способен выдерживать интенсивные статические и динамические нагрузки, что определяет область использования изделий для мощения территорий с интенсивным транспортным и пешеходным движением. Кроме того, кладка из клинкерного кирпича на протяжении длительного времени не требует ремонта, что значительно сокращает затраты на эксплуатацию. Поэтому клинкерная керамика в европейских странах широко используется при загородном строительстве и тротуарном мощении пешеходных дорожек, строительстве фундаментов, наружной кладке дымовых труб.

В настоящее время на белорусском рынке строительных материалов имеется клинкерная керамика (кирпич, плитка) как белорусского производителя (ОАО «Керамин»), так и импортируемая из стран ближнего зарубежья.

На кафедре технологии стекла и керамики БГТУ под руководством проф. Пища И.В., проф. Левицкого И.А. проводились исследования в направлении изучения возможности использования местного глинистого сырья и отходов промышленности в производстве клинкерного кирпича [2-3].

Целью представленной работы является изучение возможности использования базальтов и туфов месторождения «Новодворское» (Пинский район), а также глинистого сырья Брестской области для получения

керамического клинкерного кирпича. Наличие в Брестской области качественных тугоплавких и легкоплавких глин, каолина, разведанного месторождения базальтов и туфов способствует развитию минерально-сырьевой базы региона, что особенно актуально в плане расширения имеющихся производств строительных материалов и импортозамещению. Интерес к организации производства клинкерной керамики на своих площадях проявляет ОАО «Горынский комбинат строительных материалов».

В качестве сырьевой основы нами использованы полиминеральные глины Брестской области месторождений «Столинские Хутора» и «Журавлево», а также российские огнеупорные глины Новоорского и Кумакского месторождений. Сочетание глин использовали с целью расширения интервала спекания образцов клинкерной керамики и стабилизации химического состава керамических масс. В качестве флюсующего компонента применяли базальты и туфы, которые вводились как индивидуально, так и в сочетании друг с другом в количестве до 30 % по массе. При необходимости отощения керамических масс применялась добавка кварцевого песка.

Базальты и туфы являются новым видом полезных ископаемых подготавливаемых к разработке на территории Республики Беларусь. Усредненный химический и минеральный составы пород Новодворского месторождения приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Усредненный химический состав пород

Порода	Оксиды и их содержание, %								
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	FeO+ Fe_2O_3	K_2O+ Na_2O	TiO_2	P_2O_5	п.п.п.
Базальт	46,11	11,49	5,0	7,87	14	4,3	1,74	0,31	9,18
Туф, скважина 9Д	48,28	13,56	2,79	8,71	12,61	4,04	1,88	0,14	7,99

Все сырьевые материалы предварительно высушивались, измельчались, дозировались в соответствии с рецептом. Масса проходила смешивание, вылеживание, вакуумирование. Образцы формовали пластическим методом при влажности керамической массы 17–20 %. Выбор пластической технологии обусловлен тем, что в настоящее время все кирпичные предприятия республики используют указанный способ формования, а также природной влажностью применяемого сырья.

Таблица 2 – Усредненный минеральный состав используемых пород

Порода	Усредненный минеральный состав, мас. %
Базальт толеитовый	Плагиоклаз (андезин-лабрадор) – 30; моноклинный пироксен – 10; рудный (титаномагнетит, ильменит) – 9; цеолиты (клиноптилолит, морденит) – 5; вулканическое стекло, хлорофеит – 15, хлорит – 22,5; монтмориллонит – 17,5; гидрослюда – 5; гематит 3,5; кальцит 2,5; каолинит – 0,5
Туф сапонитсодержащий	Полевые шпаты (плагиоклаз, калиевые полевые шпаты) – 12,5; кварц – 10; биотит, мусковит – 0,5; моноклинный пироксен – 5; рудный (титаномагнетит, ильменит) – 3,5; цеолиты – 0,5; монтмориллонит (сапонит) – 20; гидрослюда 5; гематит – 5, доломит – 2,5; каолинит 2,5; хлорит 2,5; кальцит – 1,5

После подвялки образцы сушились в электрическом шкафу при температуре 110–120 °С до постоянной массы, после чего обжигались в муфельной печи в интервале температур 1050–1200 °С с выдержкой при максимальной температуре в течение 1 ч. Высокая температура обжига, наличие в составах масс достаточного количества оксидов щелочных, щелочноземельных металлов, оксидов железа, аморфного кремнезема обеспечивает активное протекание жидкофазного механизма спекания.

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее важными факторами, влияющими на процессы формирования спекшейся структуры клинкерной керамики, являются условия спекания образцов (температурно-временные условия обжига), химико-минералогический состав опытных масс.

Визуальное изучение термообработанных образцов показало, что при изменении содержания компонентов шихты, вида глинистого сырья, а также температуры обжига происходят изменения окраски образцов клинкерной керамики от бежевых, горчично-коричневых до оранжево-шоколадных цветов. Причем с увеличением температуры термообработки интенсивность окрашивания черепка усиливается.

Дефекты поверхности (вспучивание, деформация) отсутствуют. Однако следует отметить, что для образцов с высоким содержанием базальтов и туфов (20-30 %) и обожженных при максимальной температуре 1200 °С на поверхности наблюдаются мелкие выплавки в виде застывших капель расплава. Для этих образцов характерна высокая общая усадка (более 10 %), что обусловлено активным плавлением пород, недопустимо высокой максимальной температурой обжига, оптимальное значение которой для разработанных составов масс составляет 1100–1150 °С.

Опытные образцы, полученные с использованием в массах оптимальных сочетаний тугоплавкой глины «Журавлево» и огнеупорной

российской глины, туфов и базальтов в количестве 15-25 %, и обожженные при температурах 1100–1150 °С, характеризовались следующими показателями свойств: водопоглощение – 1,6-6 %, кажущаяся плотность – 2170–2320 кг/м^3, механическая прочность при изгибе – 18,2–25,4 МПа, кислотостойкость – более 98 %. Значения удельной эффективной активности естественных радионуклидов для образцов всех составов составляли 120–185 Бк/кг. Морозостойкость образцов оптимальных составов составила более 200 циклов.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что на основе минерального сырья Республики Беларусь возможно получить клинкерный керамический кирпич, удовлетворяющий требованиям СТБ 1787-2007. Использование оптимальных сочетаний сырьевых компонентов, современных формовочных вакуумных прессов, эффективных теплотехнических агрегатов позволяет получать клинкерный кирпич пластическим методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов А.В. Краткий обзор истории, состояния и перспектив рынка клинкерного кирпича в России / А.В. Гаврилов, Г.И. Гринфельд // Строительные материалы.– 2013.– №4.– С.20-22.

2. Пищ И.В., Бирюк В.А., Климош Ю.А., Попов Р.Ю., Микулич Т.Н. Получение клинкерного кирпича на основе минерального сырья Республики Беларусь // Весці НАНБ. Сер. хім. навук. – 2017. – № 4. – С. 90–98.

3. Левицкий И. А., Хоружик О. Н. Взаимосвязь свойств, фазового состава и микроструктуры клинкерного кирпича // Стекло и керамика. 2021. Т. 94, № 5. С. 26-33.

4. Мустафин, Н.Р. Клинкерная керамика на основе кремнеземистого сырья и техногенных отходов / Н.Р. Мустафин, Г.Д. Ашмарин // Строительные материалы.– 2006.–№1.– С.32-35.

УДК 665.6

Исмаилов Р.И., Ражабова Э.Б., Исмаилов А.И.
(Ташкентский государственный технический университет)

ОЧИСТКА ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ОЛИГОМЕРНЫМИ СОРБЕНТАМИ

В последние годы в практике очистки и стабилизации отработанных моторных масел широкое применение получили адсорбционные методы, которые являются эффективными и экономически выгодными.

При контакте моторного масла с адсорбентами, масла освобождаются от механических примесей и очищаются от образовавшихся в ходе эксплуатации смолистых веществ, непредельных углеводородов и других примесных веществ. В этой связи разработка научных основ очистки и стабилизации загрязненных моторных масел с помощью адсорбентов имеет как теоретическое, так и практическое значение [1, 2].

Модифицирование сорбентов высокомолекулярными и олигомерными соединениями в настоящее время можно считать разработанным способом модифицирования сорбентов с водорастворимыми высокомолекулярными веществами, в цепи макромолекул которых имеются гидроксильные, карбоксильные, амидные и другие гидрофильные функциональные группы [3]. Сущность модифицирования в этом случае заключается в обработке растворами водорастворимых полимеров модифицируемых образцов, взятых в виде водной суспензии или сухого порошка, с последующим удалением дисперсионной среды. Следствием такой обработки является существенное изменение свойств сорбентов. В частности, замечено увеличение гидрофильности модифицированного с помощью полимера как гидролизованного полиакрилонитрила, так и модифицированного олигомера эпихлоргидрина (ЭХГ) с диэтиламинодифурилсиланом (ДАЭДФС), приводящей к увеличению их селективности (табл.).

Таблица 1 – Результаты лабораторного испытания адсорбентов по очистке масел

Адсорбент	Температура очистки, ^{0}C	Кинематическая вязкость при 50^{0}C	Кислотное число КОН/г	Содержание воды, %	Содержание механических примесей, %
нет	60 80	31,65 29,3	0,10 0,86	Следы 1,2	Отсутствует 0,38
Силикагель	60 80	30,0 31,1	0,18 0,20	Следы Следы	Отсутствует 0,03
Оксид алюминия	60 80	30,1 29,8	0,08 0,06	Следы 0,08	0,05 0,03
Модифицированный ПАА	60 80	29,2 29,6	0,13 0,15	0,07 Следы	0,05 0,10
Модифицированный олигомером ЭХГ с ДАЭДФС	60 80	30,1 30,2	0,12 0,14	0,08 Следы	0,08 Отсутствует

В результате активирования и модифицирования существенным образом изменяются структурно-сорбционные и поверхностные свойства сорбентов.

Для получения данных были использованы следующие методы исследования:

– определение наличие механических примесей качественным методом. В маслах присутствие механических примесей можно обнаружить следующими способами: испытуемое масло наносят тонким слоем на чистое стекло и просматривают на свет. Муть, подтёки и крупинки указывают на присутствие в масле механических примесей. Если масло стандартное, тонкий слой его должен быть совершенно прозрачным; испытуемое масло взбалтывают и подогревают до 40-500С. Затем 25-50 мл масла разбавляют бензином, в соотношении 1:4, фильтруют через бумажный фильтр, который затем просматривают через увеличительное стекло. Темные точки и крупинки на фильтре указывают на присутствие в масле механических примесей; испытуемое масло в количестве 50-100 мл разбавляют в химическом стакане бензином в соотношении 1:4. Смесь перемешивают и дают отстояться 5-10 минут. Затем смеси придают вращательное движение. При наличии механических примесей они соберутся в центре на дне стакана.

– определение наличия воды в моторном масле в чистую и высушенную пробирку наливают испытуемое масло до высоты 85±3 мм, вставляют термометр с таким расчетом, чтобы шарик термометра был на равных расстояниях от стенок пробирки и на расстоянии 25±5 мм от дна пробирки. Пробирку с испытуемым маслом помещают в нагретую до температуры 175±50С масляную баню и наблюдают за маслом в пробирке до момента достижения температуры 1300С. При наличии в испытуемом масле воды оно пенится, слышится треск, пробирка вздрагивает, а слой масла на стенках пробирки мутнеет. Содержание воды в трансмиссионных маслах не допускается, так как попадание воды во внутрь агрегатов трансмиссии вызывает окисление масла, коррозионно агрессивному воздействию механизмов, увеличивается опасность гидролиза присадок. Испытуемое масло помещают в круглодонную колбу, доливают растворитель и закрывают шлифованной пробкой с присоединенной к ней отводной трубкой приемника-ловушки, на которой крепят холодильник (колбу греют в колбонагревателе до кипения и выдерживают ее при таком состоянии до тех пор, пока в ловушке не перестанет увеличиваться количество воды, а верхний слой растворителя не станет прозрачным). Количество уловленной воды рассчитывается в процентах.

– определение кинематической вязкости масел. Для определения кинематической вязкости масла, вискозиметр подбирают с таким расчетом, чтобы время течения масла было не менее 200 сек. Количество замеров производят в зависимости от течения масла. Если время течения составляет от 200 до 300 сек., то проводят 5 измерений, от 300-600 сек. - 4 измерения.

Результаты измерения времени течения масла не должны отличаться друг от друга больше, чем на 1,5% при температурах определения вязкости от – 60 до + 1500С. При выполнении данной работы определяют опытным путем кинематическую вязкость при 50 и 1000С.

– кислотное число характеризует присутствие в масле веществ, способных вступать в реакцию со щелочью. В практике кислотное число оценивают по кислотности свежих масел, не имеющих темной окраски. В колбу помещают испытуемое масло, заливают спиртобензольную смесь, содержащую щелочной индикатор, перемешивают и титрируют спиртовым раствором едкого калия до перехода синей окраски в красную. Из израсходованного количества щелочи вычитают щелочь, затраченную на титрование растворителя и рассчитывают в % кислотное число в мг КОН на 1 г масла.

Таким образом, путем модификации элементсодержащих фурановых соединений получен ряд олигомерных поверхностно-активных веществ, обладающих комплексом ценных коллоидно-химических и физико-механических свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайдахмедов Ш.М. Развитие технологии производства смазочных масел в Узбекистане . - Ташкент: Фан, 2004 . - 112 с.

2. Межиковский С.М., Аринштейн А.Э., Дебердеев Р.Я. Олигомерное состояние вещества. – М.: Наука, 2005. – 252 с.

3. Р.И. Исмаилов, О.Х.Хасанов, А.И.Исмаилов. Изучение свойств высокомолекулярных азот- и галогенсодержащих соединений на основе четвертичных аммониевых солей // Материалы докладов 84-й научно-технической конференции, посвященной 90-летнему юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с международным участием), Минск, 2020. с.78-82.

УДК 658.567.1

Булавка Ю.А., Стельмах Е.А.
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

АНАЛИЗ СОСТАВА ШЛАМОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МОЮЩЕ-ДИСПЕРГИРУЮЩИХ ПРИСАДОК СУЛЬФОНАТНОГО ТИПА

В производствах сульфонатных присадок к смазочным маслам образуется тысячи тонн шлама, представляющего собой мелкодисперсную систему с плотностью 920…1200 кг/м3 от светло-коричневого до

черного цвета, содержащую присадку (до 30% масс.), сульфат кальция (до 30% масс.), карбонат кальция (до 40% масс.), гидроксид кальция (до 3% масс.) и воду. Только на трех нефтеперерабатывающих заводах (Новокуйбышевском, Уфимском и Омском) шлам образуется в объемах более 50 тыс. т/год и является многотоннажным отходом [1-3].

В качестве объекта исследования выбран шлам, образующихся при синтезе моюще-диспергирующих присадок сульфонатного типа выпускаемый ООО «ЭддиТек» под маркой «концентрат кальциевых соединений» (ККС) согласно ТУ BY 390401182.046-2016. Концентрат кальциевых соединений может применятся в качестве компонента для производства дорожных герметизирующих и гидроизоляционных мастик, модифицированных битумов и асфальтобетонных смесей на их основе, а также наплавляемых кровельных материалов. Нормативные требования к концентрату кальциевых соединений ООО «ЭддиТек» приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормативные требования к концентрату кальциевых соединений ООО «ЭддиТек»

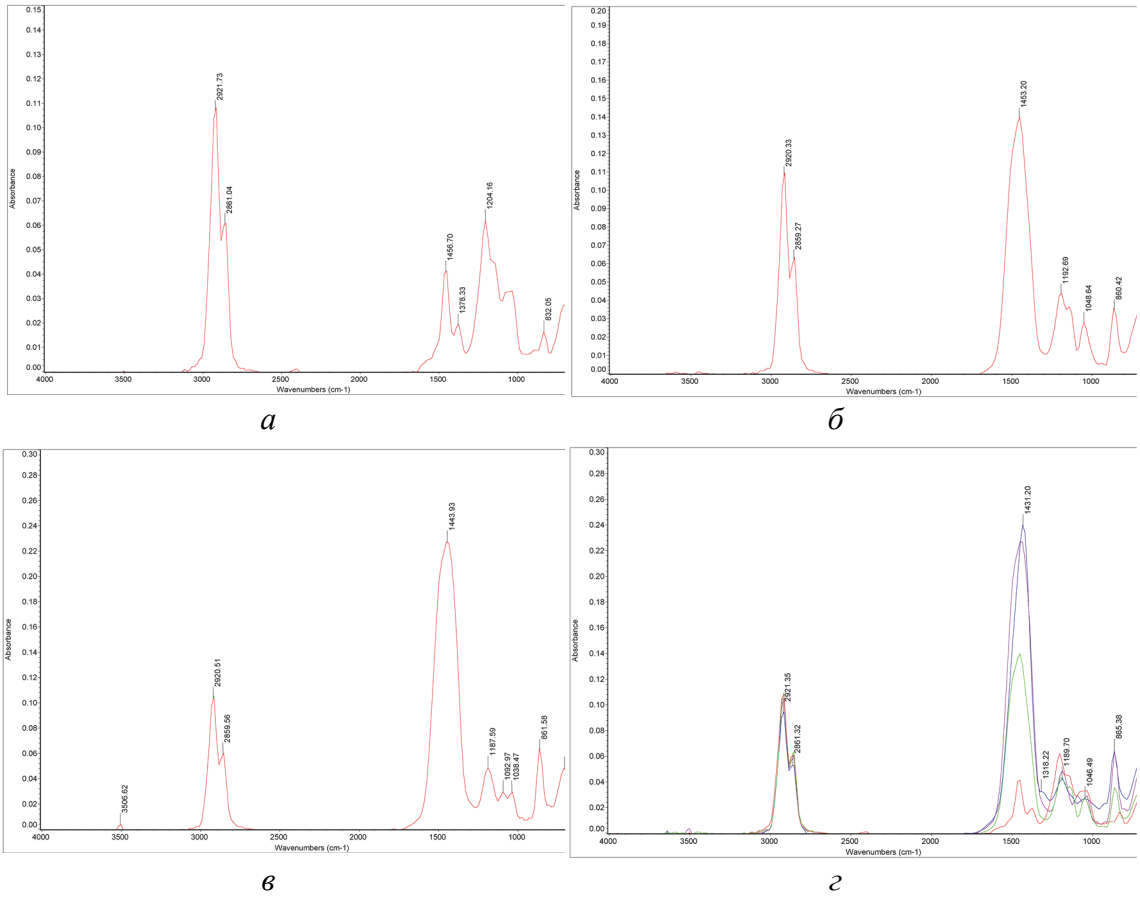
Показатели	Минимум	Типовое значение	Максимум
Температура вспышки в открытом тигле, °С	150	165	-
Вязкость условная при 80 °С, с	-	55	-
Массовая доля воды, %	-	0,30	0,40

Для исследования использовали три моюще-диспергирующих присадки сульфонатного типа выпускаемых в ООО «ЭддиТек»: НССК-30 (производимая по ТУ BY 390401182-022-2011), представляющая собой растворенный нейтральный синтетический сульфонат кальция (на основе ДАБСК) в минеральном масле; С-150 (производимая по ТУ BY 38.101685-84) представляющая собой растворенный среднещелочной синтетический сульфонат кальция в минеральном масле; ССК-400 (производимая по ТУ BY 390401182.022-2011), представляющая собой растворенный высокощелочной синтетический сульфонат кальция (на основе АБСК) в минеральном масле.

Молекулярное строение образцов моюще-диспергирующих присадок сульфонатного типа, выпускаемых в ООО «ЭддиТек» (, а также шламов, образующихся при их синтезе изучали при помощи ИК-спектрометра Фурье Kaycan. ИК – спектры исследуемых образцов приведены на рисунке 1.

По результатам ИК-спектральных исследований присадок и шлама получены следующие сведения об их структурно-групповом составе: полосы поглощения при частотах 2921 и 2861 $см^{-1}$ указывают на

симметричные и асимметричные валентные колебания CH_2- и CH_3-групп, что характерно для алканов; полоса поглощения при частоте 1431 $см^{-1}$ – ножничные деформационные колебания –CH_3- и асимметричные деформационные колебания связей С-Н ароматического ряда; полоса поглощения при частоте – 1318 $см^{-1}$ - деформационные колебания –CH_3- и деформационные колебания связей С-Н в концевой группе S-CH_3; полосы поглощения при частотах 1190 $см^{-1}$ и – 1047 $см^{-1}$ - валентные колебания связи С–О (признак сульфокислоты); полоса поглощения при частоте – 865 $см^{-1}$ – деформационные колебания связей С-Н ароматического ряда; полоса поглощения при частоте – 709 $см^{-1}$ – деформационные колебания связей С-Н в концевой метиленовой группе HRC=CR'H цис-. Наличие карбоната кальция, имеющего некристаллическую (аморфную) структуру, подтверждается полосой поглощения 860 $см^{-1}$, характерный для аморфного $CaCO_3$. В целом, результаты анализа структурно-группового состава моюще-диспергирующих присадок и шламов потверждают их базовый сосав – ароматические углеводороды, сульфонаты, сульфат и карбонат кальция.



а *б*

в *г*

Рисунок 1 – ИК – спектры образцов:
а – присадка *НССК-30*; *б* – присадка *С-150*; *в* – присадка *ССК400*; *г* – шламы *ККС*

Выполненный анализ динамики изменения физико-химических свойсв (температуры вспышки в открытом тигле, условной вязкости и массовой доли воды) шламов, образующихся при синтезе моюще-диспергирующих присадок сульфонатного типа (ККС) в ООО «ЭддиТек» позволил установить следующее:

1.Результаты анализа динамики изменения температуры вспышки в открытом тигле ККС в зависимости от выпускаемой партии за полуторагодовой период наблюдения показали, что в целом качество продукта по данному показателю поддерживается на стабильном уровне с температуры вспышки в открытом тигле выше 150 °С, однако регистрируется периоды (около 30% анализируемых проб) с выпуском брака обусловленные недостаточной отпаркой растворителя (толуола).

2.Результаты анализа динамика изменения условной вязкости при 80 °С ККС в зависимости от выпускаемой партии за полуторагодовой период наблюдения показали, что исследуемый параметр изменяется в достаточно широких пределах от 12 до 240 с, что обусловлено различным остаточным содержанием присадки и растворителя.

3. Результаты анализа динамика изменения массовой доли воды в ККС в зависимости от выпускаемой партии за полуторагодовой период наблюдения показали, что исследуемый параметр на стабильном уровне, минимально изменяется в пределах от 0,27 до 0,5 % масс., что обусловлено различной степенью отпарки воды.

В целом, физико-химические свойсва ККС поддерживаются на стабильном уровне от партии к партии, однако регистрируется периоды с выпуском брака обусловленные недостаточной отпаркой растворителя (толуола). Данный факт необходимо учитывать при его использовании в составе битумных материалов. Вместе с тем, модифицирование ККС битумных материалов будет способствовать увеличению долговечности, эластичности, окислительной стабильности, теплостойкости товарного продукта за счет высокого остаточного содержания присадки (до 30% масс.), обладающей детергентно-диспергирующими, антиокислительными и нейтрализующими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ физико-химических свойств шламов, образующихся при синтезе моюще-диспергирующих присадок сульфонатного типа Е. А. Стельмах, Т. Л. Беляй, Ю. А. Булавка//Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой [Электронный ресурс]. – Новополоцк : Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, 2023. – Вып. 50(120). Промышленность. С. 127-130.

2. Модифицирование битумных вяжущих отходами нефтехимии / Булавка Ю.А., Гришанин К.А., Слепенков В.С., Стельмах Е.А. // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. -2023.- № 2 (48). -С. 75-79.

3. Способ рационального использования нефтяных шламов в производстве битумных материалов /Булавка Ю.А., Беляй Т.Л., Стельмах Е.А. // Проблемы экологии и экологической безопасности. Создание новых полимерных материалов: сб. материалов XI международной заочной научно-практической конференции – Минск: УГЗ, 2024. –С.19-21

УДК 631.895

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

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВОРИТЕЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ БУРЫХ УГЛЕЙ НА СОСТАВ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Рост численности населения является причиной увеличения потребности в продуктах питания, что приводит к сокращению пригодных для сельского хозяйства земель в результате нерационального использования почвенных ресурсов. Интенсивное землепользование при низком качестве мероприятий по восстановлению и поддержанию почвенного потенциала приводит к деградации почв и нарушению баланса питательных элементов.

Одним из вариантов восстановления и поддержания почвенных ресурсов является использование органоминеральных удобрений (ОМУ), как комплекс минеральной и органической составляющих. Органическая составляющая повышает биологическую активность микроорганизмов в почве, улучшает агрохимические свойства почвы. Минеральная составляющая обеспечивает внесение в почву основных макро- и микроэлементов необходимых для питания растения.

В качестве сырья для производства ОМУ на основе гуминовых веществ могут применяться: углефицированные материалы (бурый уголь, леонардит и др.), торф и донные отложения, органические отходы (лигносульфонаты, вермикомпост).

В качестве исходного сырья были выбраны бурые угли (далее БУ) Бринёвского месторождения, состав которых представлен в таблице 1. Для установления фазового и минералогического состава образцов был

выполнен их рентгенофазовый и ИК-спектральный анализы. Было установлено, что основными неорганическими примесями являются кварц, микроклин и фенгит.

Таблица 1 – Химический состав исходного бурого угля

Компоненты, %								
1. Органическая масса – 72,518, в том числе:								
Гуминовые кислоты			Фульвокислоты			Гумин		
55,543			3,017			13,958		
2. Неорганическая масса – 27,482, в том числе:								
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	SO_4^{2-}	P_2O_5
16,551	3,268	2,904	2,362	0,952	0,399	0,195	0,097	0,086

Существенные различия в плотностях бурых углей (0,8-1,5 г/см^3) и неорганических примесей (кварц – 2,6-2,65 г/см^3, микроклин – 2,57 г/см^3, фенгит – 2,76-3,10 г/см^3) обуславливают возможность обогащения БУ гравитационными методами. Ввиду высокой влажности исходного угля и возможности использования суспензий в процессах экстракции ГВ мокрое гравитационное обогащение не обладает недостатками, характерными для обогащения углей для энергетических нужд (необходимо использовать уголь с влажностью 3-5 % для сухого обогащения и осуществлять сушку обогащённого угля). В связи с чем, на первой стадии осуществлено первичное мокрое гравитационное обогащение исходного бурого угля в воде. Образцы обогащенного бурого угля исследованы методами химического анализа и инфракрасной спектроскопией (табл. 2).

Таблица 2 – Химический состав обогащённого бурого угля

Компоненты, %								
1. Органическая масса угля (ОМУ) – 90,999, в том числе:								
Гуминовые кислоты			Фульвокислоты			Гумин		
69,698			3,786			17,515		
2. Неорганическая масса угля (НМУ) – 9,001, в том числе:								
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	SO_4^{2-}	P_2O_5
2,776	1,898	1,689	1,131	0,744	0,172	0,102	0,061	0,055

Химическое воздействие оказывает влияние как на минеральную, так и на органическую составляющую бурого угля. Окисление органической массы как химический процесс можно рассматривать с двух позиций: самопроизвольное окисление и направленное окисление. Самопроизвольное протекает в естественных условиях в пластах, при хранении или транспортировке. Направленное окисление применяют для переработки углей с получением органических и органоминеральных

удобрений. В общем случае воздействие химических веществ при окислении углей изменяет выход летучих веществ и элементный состав, снижает выход продуктов коксования и теплоту сгорания коксового газа. Для бурых углей характерно резкое возрастание содержания гуминовых кислот, в каменных углях образуются вторичные гуминовые кислоты.

Трудность изучения механизма окисления органической массы углей заключается в сложности и неоднозначности состава и структуры углей. Это влечет за собой сложность и неоднозначность химических реакций, протекающих при окислении твердых горючих ископаемых, а способ изучения данного процесса приобретает экспериментально-статистический характер с выделением общих закономерностей.

Поскольку основным компонентом органической составляющей органоминеральных удобрений являются гуминовые вещества, возникает необходимость в окислении БУ с целью увеличения их содержания. Исследование процесса окисления БУ проводили при следующих параметрах: соотношение бурый уголь:раствор окислителя = 1:10, продолжительности окисления 60 мин., температура 20 °С. Результаты исследования представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Состав органической массы окисленных бурых углей

Окислитель	Концентрация окислителя, %	Гуминовые кислоты (ГК)		Фульвокислоты (ФК)	
		Содержание, %	Изменение содержания, %	Содержание, %	Изменение содержания, %
HNO_3	3	71,15	+2,08	4,86	+28,23
	5	73,65	+5,67	6,26	+65,17
	10	67,51	-3,14	10,82	+185,49
	15	54,28	-22,12	17,54	+362,80
H_2SO_4	3	70,74	+1,49	3,98	+5,01
	5	72,21	+3,60	5,26	+38,79
	10	68,87	-1,19	8,81	+132,45
	15	61,29	-12,07	13,55	+257,52
H_2O_2	1	73,44	+5,37	5,86	+54,62
	1,5	72,92	+4,62	8,81	+132,45
	2	69,25	-0,65	14,36	+278,89
	3	53,01	-23,95	24,86	+555,94

Для всех окислителей характерен идентичный ход зависимостей изменения содержания гуминовых и фульвокислот. Так при увеличении концентрации окислителя происходит возрастание содержания гуминовых кислот до определённого максимума, а затем резкое снижение, что связано с процессом вторичного окисления органической массы БУ и переходом ГК в фульвокислоты.

Окисленные БУ характеризуются меньшим содержанием органической массы, что обусловлено переходом части углерода в углекислый газ, кроме того для углей, окисленных с использованием азотной и серной кислот характерно снижение зольность на 2-4 %, за счёт растворения части минеральных компонентов.

Анализ полученных данных показал, что окисление бурых углей Бринёвского месторождения не даёт значительного увеличения суммарного содержания гуминовых веществ (до 102,81 % от исходного количества), поскольку увеличение содержания ФК нивелируется одновременным снижением содержания ГК. Однако значительное возрастание фульвокислот до 24,86 % от массы окисленного БУ является положительным фактором: поддерживает идеальную среду для растворенных минеральных комплексов, элементов и клеток для биологической реакции друг с другом, вызывая перенос электронов, каталитические реакции и трансмутации в новые минералы.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что проведение предварительного окисления бурого угля Бринёвского месторождения не целесообразно, поскольку не обеспечивает существенное увеличение выхода гуминовых веществ, однако данный процесс может быть рекомендован для получения ОМУ с повышенным содержанием фульвокислот. Как показали результаты исследования, оптимальным является применение 2 %-го раствора H_2O_2, обеспечивающего максимальную степень увеличения содержания фульвокислот, при минимальных потерях гуминовых кислот.

Для получения ОМУ из окисленных БУ необходимо перевести нерастворимые ГК в гуматы, для этого проводят процесс экстракции с использованием растворов щелочей. Для экстракции использовался гидроксид калия. Количество вводимого KOH вносилось из расчета его содержания в суспензии с БУ 5 %. Температура экстракции - 70 °С, продолжительность - 2 часа. Суспензии центрифугировали, а жидкую фазу упаривали и сушили при температуре 85°С. Состав полученных образцов ОМУ представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Состав ОМУ, получаемых из окисленных бурых углей

Концентрация окислителя	Содержание компонентов на сухое вещество, %			
	Гумат калия	Фульвокислоты	KNO_3	K_2SO_4
HNO_3 – 5 %	57,09	3,44	39,47	–
H_2SO_4 – 10 %	44,48	4,01	–	51,52
H_2O_2 – 2 %	87,78	12,22	–	–
Исх. уголь	96,26	3,74	–	–

Использование БУ, окисленных минеральными кислотами, приводит к перерасходу гидроксида калия на нейтрализацию остаточных кислот, при этом если проводить предварительное разделение и отмывку окисленного БУ, то с жидкой фазой будут уносится фульвокислоты. Исходя из этого наиболее оптимальным будет применение 2 % раствора пероксида водорода.

Полученные результаты показывают, что для бурых углей с высоким содержанием нерастворимых гуминовых веществ (более 50 %) на стадии окисления БУ значительная часть содержащихся в исходом угле гуминовых кислот окисляется до фульвокислот. Применение предварительного окисления возможно проводить для увеличения содержания фульвокислот в конечном продукте, однако это приводит к снижению выхода гуминовых веществ при экстракции. Исходя из этого, наиболее целесообразно проведение процесса окисления БУ после предварительной экстракции основного количества гуминовых кислот.

УДК 54.058

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

КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЕ

Одним из наиболее крупнотоннажных и востребованных на мировом рынке видов химической продукции является ортофосфорная кислота. Мировые мощности по производству которой в 2024 г. составили 67,36 млн т (в пересчете на P_2O_5), а к 2029 г., согласно прогнозам, достигнут 82,87 млн т P_2O_5 [1]. Действующие в СНГ и зарубежных странах технические требования к кормовым и техническим фосфатам, пищевым солям предъявляют жесткие ограничения по содержанию фторидов, сульфатов, полуторных оксидов и ряду других примесей. Наиболее подходящим видом сырья для получения указанных фосфорсодержащих солей является термическая ортофосфорная кислота, однако объемы ее производства крайне ограничены. Так, среди стран СНГ мощности по получению термической кислоты сохранились только в Казахстане. Основная часть кормовых, технических и пищевых фосфатов сегодня производится на основе очищенной экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК).

Вопросам очистки экстракционной фосфорной кислоты посвящен ряд работ, описывающих методы, принципиальные особенности и аппаратурное оформление процессов, позволяющих получать ортофосфорную кислоту технической и пищевой квалификации.

В опубликованном авторами исследовании [2], касающемся комплексной очистки фосфорной кислоты, показано, что ключевым фактором в достижении высоких степеней очисти является разрушение содержащихся в кислоте комплексных соединений, характеризующихся высокой химической стабильностью. Литературные данные о содержании в экстракционной фосфорной кислоте комплексных соединений, их качественном составе и механизмах образования практически отсутствуют, что обуславливает необходимость их систематизации, поиске методов анализа и идентификации.

Экстракционная фосфорная кислота, являясь микрогетерогенной системой, характеризуется поливариантностью качественного и количественного состава, связанной как с исходным сырьем, так и с непрерывно протекающими физико-химическими процессами, на стадии ее хранения и переработки. Изменение ион-молекулярного состава водных растворов фосфорной кислоты приводит к трансформации структуры комплексных соединений, образующихся на всех стадиях ее производства, основное количество которых образуется при концентрировании кислоты и разложения фосфатного сырья.

Опираясь на данные об ионно-молекулярном составе раствора ортофосфорной кислоты при различных ее концентрациях, в общем случае он представлен: H^+, $H_2PO_4^-$, $H_5P_2O_8^-$, H_3PO_4, $H_6P_2O_8$, а также о содержании примесей, количество которых варьируется от 5 до 15 мас. %, установление точных механизмов образования комплексных соединений представляется трудноосуществимым ввиду отсутствия практических методов определения качественного состава комплексных соединений в столь сложных системах.

Анализ литературных данных показывает, что в качестве комлексообразователей в растворах экстракционных фосфорных кислот могут выступать ионы алюминия и железа, а также в меньшей степени, ввиду их низкого содержания, ионы кобальта, никеля, марганца, хрома и других поливалентных металлов. В качестве лигандов преимущественно выступают фторид и серосодержащие анионы.

Фосфорная кислота, получаемая сернокислотной экстракцией природных фосфатов, содержит примеси, имеющие следующий качественный состав:

– катионы: Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{3+}, Al^{3+}, Ti^{4+}, Zn^{2+}, Pb^{2+}, NH_4^+ и др.;

– анионы: SO_4^{2-}, HSO_4^-, F^-, SiF_6^{2-}, HF_2^-, CO_3^{2-}, Cl^-, NO_3^-, AsO_4^{3-} и др.

Из приведённых примесей наиболее опасными являются соединения фтора, ввиду токсического действия на живые организмы и расширения термодинамических границ загрязнения фосфорной кислоты катионами металлов из-за образования прочных фторсодержащих комплексов. Фтор содержится в экстракционной фосфорной кислоте преимущественно в виде кремнефтористоводородной кислоты и ее соединений: $Fe_2(SiF_6)_3$, $FeSiF_6$, $Al_2(SiF_6)_3$, Na_2SiF_6, K_2SiF_6 и др., а также фторидов – HF, SiF_4, NaF, CaF_2, AlF_3 и др., фторфосфорных кислот – H_2PO_3F, $H_2PO_2F_2$, комплексных фторидов Fe и Al – FeF_{3-x}^{x+}, AlF_{3-x}^{x+}, и солей $Me_n(H_2PO_4)_xF_y(PO_3F)_z(H_2O)_k$, где Me – Ca, Fe, Al, характеризующихся высокой химической стабильностью.

Серосодержащие соединения присутствуют в виде: сульфат- и гидросульфат ионов, соединений типа – $MeSO_4$, $Me_2(SO_4)_3$, $Me(HSO_4)_3$, $MeF_n(HSO_4)_m$, где Me – Ca, Mg, Fe, Al, Ni, Ti, Mn, Zn и другие.

В процессе концентрирования фосфорной кислоты происходит ее частичное дефторирование за счет десорбции легколетучих HF и SiF_4, образующихся при частичном разрушении гексафторкремниевой кислоты и соединений комплексного типа – $MeF(HSO_4)_2$, MeF_2HSO_4, $(Me)_2(SiF_6)_3$, $MeF_2H_2PO_4$ и других, где Me – Al, Fe (III).

Одним из возможных вариантов определения количества комплексных соединений в растворах экстракционных фосфорных кислот является метод основанный на определении содержания иона, присутствующего в растворе как в виде комплексных соединений, так и в ион-молекулярных формах, обусловленных растворимостью веществ.

Определение количества ионов, присутствующих в растворе ЭФК в виде комплексных соединений, основано на расчете разницы общего содержания примесного иона и содержания ион-молекулярных форм примесей, обусловленных взаимной растворимостью в рассматриваемой системе.

Работа выполнялась в рамках ГБ 24-107 «Разработка метода получения ортофосфорной кислоты технической квалификации на основе комплексной очистки экстракционной фосфорной кислоты», номер государственной регистрации: 20240816.

ЛИТЕРАТУРА

1. Production capacity of phosphoric acid worlwide from 2016 to 2021, with a forecast until 2029. URL: https://www.statista.com/statistics/1289304/global-phosphoric-acid-production.

2. Мохорт М.С., Бышик А.А., Дормешкин О.Б., Гаврилюк А.Н. Особенности очистки экстракционной фосфорной кислоты от

фторсодержащих соединений комбинированным методом // Сборник статей республиканской научно-практической конференции “Перспективы развития инновационных технологий производства неорганических веществ и материалов в условиях глобализации”: Ташкент, 9 –10 ноября 2023 г. [Электронный ресурс] – Ташкент :ТХТИ, 2023. – 466 с. – 389.

УДК 66.012

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

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И КАЛОРИЙНОСТИ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕКОГО АММИКА

Основным видом сырья для получения синтетического аммиака как известно является природный газ, поставщиками которого на ОАО «ГродноАзот» являются российские газодобывающие компании. Согласно сложившейся практике, технико-экономические показатели цехов по производству аммиака рассчитываются исходя из усредненных качественно-количественных показателей состава поступающего природного газа. Однако, как показывает практика, состав природного газа колеблется как для различных месторождений, так и в границах одного месторождения, что неизбежно оказывает влияние на конечные показатели работы аммиачных производств. В связи с этим, авторами по заказу ОАО «ГродноАзот» выполнен комплекс исследований, целью которых явилось изучение влияния калорийности природного газа на величину расхода природного газа на тонну аммиака, в том числе влияние калорийности природного газа на величину расхода природного газа, отдельно потребляемого на технологию и отдельно потребляемого на сжигание в качестве топлива, что в свою очередь позволит заранее спрогнозировать влияние изменения состава и расхода природного газа на технологический процесс и его технико-экономические показатели.

В настоящее время на предприятии эксплуатируются два цеха по производству аммиака: «Аммиак-3» и «Аммиак-4». Метод производства

основан на переработке природного газа по энерготехнологической схеме и включает следующие стадии: компримирование природного газа и воздуха; гидрирование органических серосоединений; паровую конверсию метана в трубчатой печи (первичный риформинг) и паровоздушную конверсию остаточного метана в шахтном конверторе (вторичный риформинг); двухступенчатую конверсию окиси углерода; очистку конвертированного газа; тонкую очистку конвертированного газа; компримирование синтез-газа; синтез аммиака; захолаживание продукционного аммиака и его выдача в хранилище и потребителям. Необходимые технологические и теплотехнические расчеты выполнялись по каждой из указанных выше стадий по каждому из цехов для различных составов природного газа (табл. 1).

Таблица 1 – Составы природного газа

Содержание компонента, %	Составы природного газа		
	№1	№2	№3
CH_4	96,1868	95,6599	94,7770
C_2H_6	2,5499	2,8303	3,1796
C_3H_8	0,3360	0,5201	0,8199
C_4H_{10}	0,1170	0,1540	0,2320
C_5H_{12}	0,0217	0,0226	0,0333
C_6H_{14}	0,0186	0,0097	0,0077
N_2	0,5040	0,5401	0,8199
He	0,0097	0,0114	0,0114
H_2	0,0015	0,0023	0,0023
O_2	0,0038	0,0037	0,0050
CO_2	0,2510	0,2460	0,1120
Всего:	**100,0000**	**100,0000**	**100,0000**

Компонентный состав газа определялся согласно ГОСТ 23781-87. Определялись все компоненты, объемная доля которых превышает 0,005 %, кроме метана, содержание которого рассчитывалось по разности 100 % и суммы всех компонентов. Для указанных составов природных газов выполнен расчет высшей и низшей теплоты сгорания согласно требованиям ГОСТ 22667-82 «Газы горючие природные» по теплоте сгорания отдельных компонентов газа (табл.2). Для каждой технологической стадии и составов природного газа выполнены расчеты составов входных и выходных потоков, а также тепловые балансы. На основании проведённых расчётов установлена зависимость технологических показателей и расходных норм от калорийности природного газа цеха (табл.3).

Таблица 2 – Высшая и низшая теплота сгорания заданных составов природного газа

Номер состава газа	Теплота сгорания			
	высшая		низшая	
	МДж/м^3	ккал/м^3	МДж/м^3	ккал/м^3
при 0 °С				
Состав №1	40,6628093	9711,242	36,67696136	8760,298
Состав №2	40,8709274	9760,939	36,87172422	8806,816
Состав №3	41,1871049	9836,444	37,16878343	8877,768
при 20 °С				
Состав №1	37,87946	9046,319	34,14798	8156,392
Состав №2	38,07207	9092,343	34,32836	8199,492
Состав №3	38,36435	9162,177	34,60317	8265,152

Проведенные исследования влияния калорийности природного газа на величину расхода природного газа и технологические показатели производства синтетического аммиака, а также выполненные тепло-технические расчеты с учетом особенностей технологического процесса, оборудования и режимов производства аммиака цехов «Аммиак-3» и «Аммиак-4» ОАО «ГродноАзот», позволили сделать вывод, что с повышением доли гомологов метана в исходном природном газе его расход на производство одной тонны аммиака снижается. Это обусловлено образованием большего количества водорода на стадии конверсии и выделением большего количества теплоты в межтрубном пространстве трубчатой печи, ввиду более высокой теплоты сгорания гомологов метана.

Таблица 3 – Зависимость технологических показателей производств синтетического аммиака и расходных норм от калорийности природного газа

№ состава	Рассчитанная калорийность, ккал/м^3	Фактическая калорийность, согласно ТЗ ккал/м^3	Образуется NH_3 с 1000 м^3 ПГ	Расход природного газа			
				На сжигание в трубчатой печи, м^3/т NH_3	На получение пара, м^3/т NH_3	На технологию, м^3/т NH_3	Общий расход ПГ, м^3/т NH_3
цех Аммиак-3							
1	8156,392	8154	1683,0716	451,3864	78,3062	594,1518	1123,8444
2	8199,492	8193	1690,6239	448,2494	77,1124	591,4976	1116,8594
3	8265,152	8247	1702,5371	443,2830	75,3720	587,3587	1106,0137
цех Аммиак-4							
1	8156,392	8154	1700,4541	417,8462	69,4155	588,0782	1075,3399
2	8199,492	8193	1708,4294	414,8658	68,2844	585,3329	1068,4831
3	8265,152	8247	1721,0003	410,1388	66,6395	581,0574	1057,8357

Полученные результаты позволяют заранее спрогнозировать изменение расхода природного газа на технологию и на сжигание при изменении его калорийности.

УДК 661.2/.6

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

ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА НОВЫХ ВИДОВ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ И СОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТРУБЧАТЫХ РЕАКТОРОВ

Качество химической продукции, производимой на ОАО «Гомельский химический завод» (далее ГХЗ), а также на всех других профильных предприятиях стран СНГ регламентируется соответствующей нормативной документацией. Среди основных показателей, определяющих качество минеральных удобрений – содержание основных питательных элементов, а также ряд физико-механических свойств. Однако, регламентируемые показатели не в полной мере позволяют охарактеризовать качество удобрений, поскольку как известно, для оценки агрохимической ценности, кинетики перехода питательных элементов в почвенные растворы и растения, а также изменения свойств удобрений на стадиях длительного хранения и транспортировки, важно знание не только количественных показателей содержания отдельных элементов, но и в виде каких соединений они находятся, т. е. минералогический состав удобрений. Согласно требованиям, действующим на территории стран Европейского экономического сообщества (ЕС), для выхода продукции на рынки этих стран продукты (вещества) подлежат процедуре «пре-регистрации» в соответствии с нормативным документом - регламентом REACH. Принципиальным отличием требований регламента REACH от требований отечественных нормативных документов является необходимость указания всех идентификационных показателей веществ, включая молекулярную и структурную формулу одно и многосоставных веществ. Как показали выполненные автором ранее исследования, переход на новые виды сырья и марки удобрений, а также изменения технологического процесса существенно влияют на протекающие химические процессы, и как следствие, минералогический состав продуктов. Современные технологии получения комплексных удобрений, включают стадию аммонизации фосфорно- и сернокислых суспензий в трубчатых реакторах. Однако, как показал анализ действующего в цехе ЦДС ГХЗ технологического процесса, «узким местом» является образование солевых отложений на внутренних поверхностях трубчатых реакторов, что ведет к снижению производительности, ухудшению тепло- и массообмена, необходимости периодической чистки либо замены трубчатых реакторов.

В связи с изложенным, авторами по заказу ГХЗ был выполнен комплекс исследований, целью которых явилось изучение химического и минералогического состава новых видов комплексных удобрений, а также солевых отложений, образующихся в трубчатых реакторах цеха ЦДС, а также подготовка рекомендаций по предотвращению «зарастания» ректоров.

На основании данных химического и рентгенофазового анализа определены основные фазы и количественное содержание отдельных фаз по разработанной авторами методике расчета балансов по катионам и анионам (табл. 1). Обращают внимание четкие рефлексы, характерные для хлорида аммония, двойных солей калия-аммония, в частности, аммонийного арканита, различных нестехиометрических солей серной кислоты. Возможность образования указанных соединений в исследуемой системе ранее была описана авторами.

Таблица 1 – Минералогический состав образцов азотно-фосфорно-калийных удобрений различных марок, выпускаемых в ЦДС

Все химические вещества, входящие в состав продукта (включая примеси ≥ 1%)	Масс. % в продукте различных марок		Молекулярная формула
	8-24-24	10-20-20: (B, Zn)	
дигидрофосфат аммония	36,71	26,48	$NH_4H_2PO_4$
хлорид аммония	5,02	8,30	NH_4Cl
хлорид калия	32,82	18,36	KCl
сульфат аммония	0,59	0,29	$(NH_4)_2SO_4$
двойная соль сульфат калия-аммония	13,31	9,62	$K_x(NH_4)_ySO_4$
сульфат калия	1,37	21,84	K_2SO_4
дигидрофосфат калия	0,42	0,61	KH_2PO_4
сульфат кальция дигидрат	0,12	0,89	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
фторид кальция	0,26	0,91	CaF_2
фосфат железа	0,25	0,35	$FePO_4$
фосфат алюминия	0,47	0,59	$AlPO_4$
сульфат магния семиводный	1,34	1,61	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$

Кроме того, в образце марки 10-20-20: (B, Zn) присутствует значительное количество сульфата калия, что свидетельствует о протекании вторичных конверсионных процессов с участием хлорида калия и подтверждается существенным снижением его содержания с 32,82% (для марки 8-24-24) до 18,36%. Таким образом, полученные результаты подтверждают предположение о влиянии состава и соотношения исходных компонентов, а также условий их введения в технологический процесс на качественно-количественный состав целевых продуктов. Как видно на рисунке состав солевых отложений существенно отличается как по слоям, так и для отдельных марок, что подтверждается данными табл. 2.

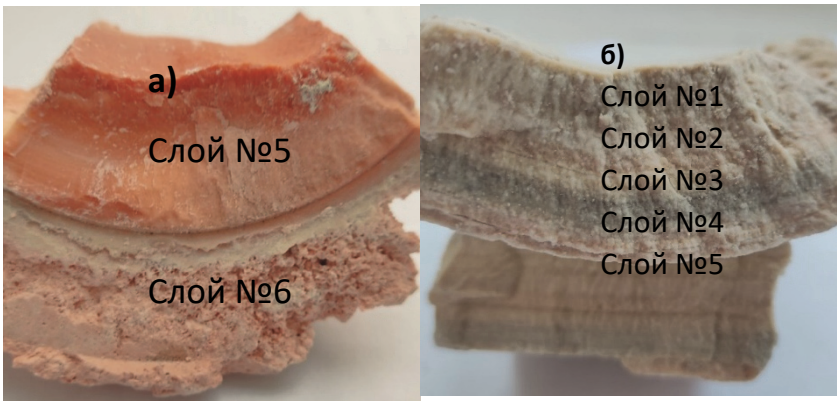


Рисунок – Образцы солевых отложений трубчатого реактора:
а) марка 8-24-24; б) марка 10-20-20: (B, Zn)

Таблица 2 – Количественный состав солевых отложений, образующихся при производстве удобрения марки 8-24-24

Компоненты	Содержание, масс. дол. %	
	Слой №5	Слой №6
$(NH_4)_2Mg(SO_4)_2\ 6H_2O$	1,37	3,13
$(NH_4)_{0,104}K_{1,896}(SO_4)$	81,09	43,60
$NH_4H_2PO_4$	0,46	28,21
$K_2Ca_2Mg(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ (полигалит)	1,20	1,24
NH_4Cl	4,72	9,36
$NH_4FePO_4 \cdot H_2O$	10,22	13,06

Результаты выполненных исследований легли в основу подготовки рекомендаций по снижению процесса солеобразования в трубчатых реакторах.

УДК 546.47:66.081.3

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОНИТРИЛА И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ ZN^{2+}, NI^{2+}, MG^{2+}, CA^{2+}

Исследования в области разработки и применения полимерных ионообменных материалов входят в число приоритетных научных направлений в промышленно развитых странах. Так, например, извлечение

металлов из растворов, их разделение и очистка во многих случаях могут осуществляться с применением ионитов. Немаловажным параметром является возможность регенерации ионитов для восстановления их работоспособности [1]. Сравнительно новым, но достаточно перспективным направлением использования способности ионитов сорбировать на своей поверхности различные вещества, является получение таким образом каталитически-активных в процессах синтеза различных веществ материалов [1].

Одним из направлений этой работы является создание подобных материалов на основе сополимеров акрилонитрила. Их важными преимуществами являются возможность широкой вариабельности химической структуры, устойчивость основной полимерной цепи к гидролитической деструкции и чрезвычайная устойчивость к микробиологическому воздействию [2]. Например, перспективными могут оказаться ионообменные материалы, содержащие в своей структуре акрилонитрил (АН) и более 25 % (масс.). 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС).

Для их изучения, методом свободно-радикальной сополимеризации в 51,5 %-ом водном растворе роданида натрия при 80 °С, были синтезированы [3] сополимеры на основе АН и АМПС при содержании в реакционной среде (РС) кислотного сомономера (КС) 25, 30 и 40 % (от массы сомономеров).

Сорбционная активность ионитов оценивалась в статическом режиме путем последовательных погружений набухшего ионита в растворы различных сорбатов. В качестве таковых были использованы 0,1 н растворы $CaCl_2$, $MgSO_4$, $NiSO_4$ и $ZnSO_4$. Для оценки количества сорбированных ионитами ионов применяли методы комплексонометрического титрования, изложенные в [4]. Перевод ионита в водородную форму проводился аналогично [4].

В таблице 1 приведены экспериментальные данные по количеству ионов использованных в работе s- и d-металлов, а также ионов натрия, сорбированных за три последовательных погружения гранулированными ионитами на основе поли[АН–со–АМПС-Н]. Также были рассчитаны, исходя из количества КС, значения теоретической статической обменной емкости (СОЕ) ионитов.

Таблица 1 – Данные по статической обменной емкости ионитов на основе поли[АН-со-АМПС-Н]

Содержание КС в исходной РС, % (от массы сомономеров в РС)	Теоретическое значение СОЕ, ммоль-экв/г	СОЕ по ионам натрия, ммоль-экв/г	Общее количество сорбированных (за 3 погружения) ионов, ммоль-экв/г			
			Zn^{2+}	Ni^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
25	1,21	1,42	3,78	1,11	0,83	2,50
30	1,45	1,45	18,55	1,39	2,51	14,70
40	1,93	1,61	4,92	2,17	1,22	6,51

Анализ данных, представленных в таблице 1, показал, что при использовании в качестве сорбата солей магния или цинка отмечается превышение количество сорбированных ионов Mg^{2+} и Zn^{2+} над значениями теоретической СОЕ (рисунок 1).

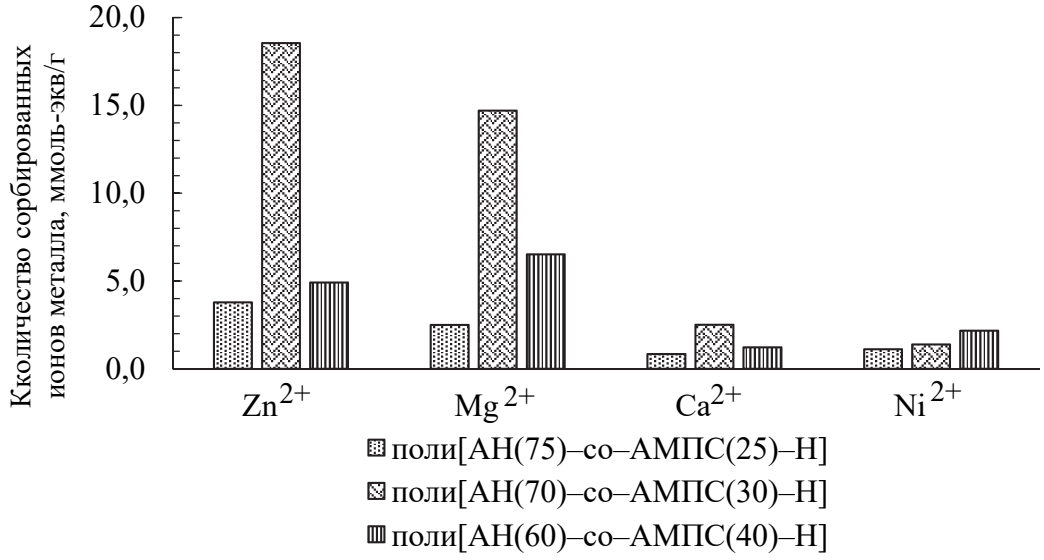


Рисунок 1 – Общее количество сорбированных (за 3 погружения) ионов металлов материалами на основе поли[АН–со–АМПС-Н] из 0,1 н растворов сорбатов

Также можно отметить, что эффект сверхэквивалентной сорбции в большей степени отмечается у ионитов, синтезированных при содержании АМПС в исходной РС 30 % (от массы сомономеров).

Для примера выходные данные, полученные при изучении сорбции ионов Zn^{2+} (за 3 погружения), проиллюстрированы на рисунке 2. При этом иониты, синтезированные при содержании АМПС 25 и 30 % (от массы РС), сорбируют основное количество ионов в течение первого погружения (рисунок 2 а, б). На это указывают данные об изменении pH водных растворов сорбатов. При первом погружении отмечается значительное снижение pH раствора, что свидетельствует о наибольшем высвобождении ионов водорода из полимерной матрицы ионита, и, следовательно, о большем количестве сорбированных им ионов металлов. В результате второго погружения наблюдается небольшое снижение pH раствора, по сравнению с исходным значением. При третьем погружении pH либо остается на уровне исходного значения, либо изменяется незначительно. Также стоит отметить, что сорбция ионов металлов ионитом, синтезированным при содержании АМПС в РС 40 % (масс.), происходит примерно равными долями при каждом его погружении в раствор сорбата (рисунок 2 в).

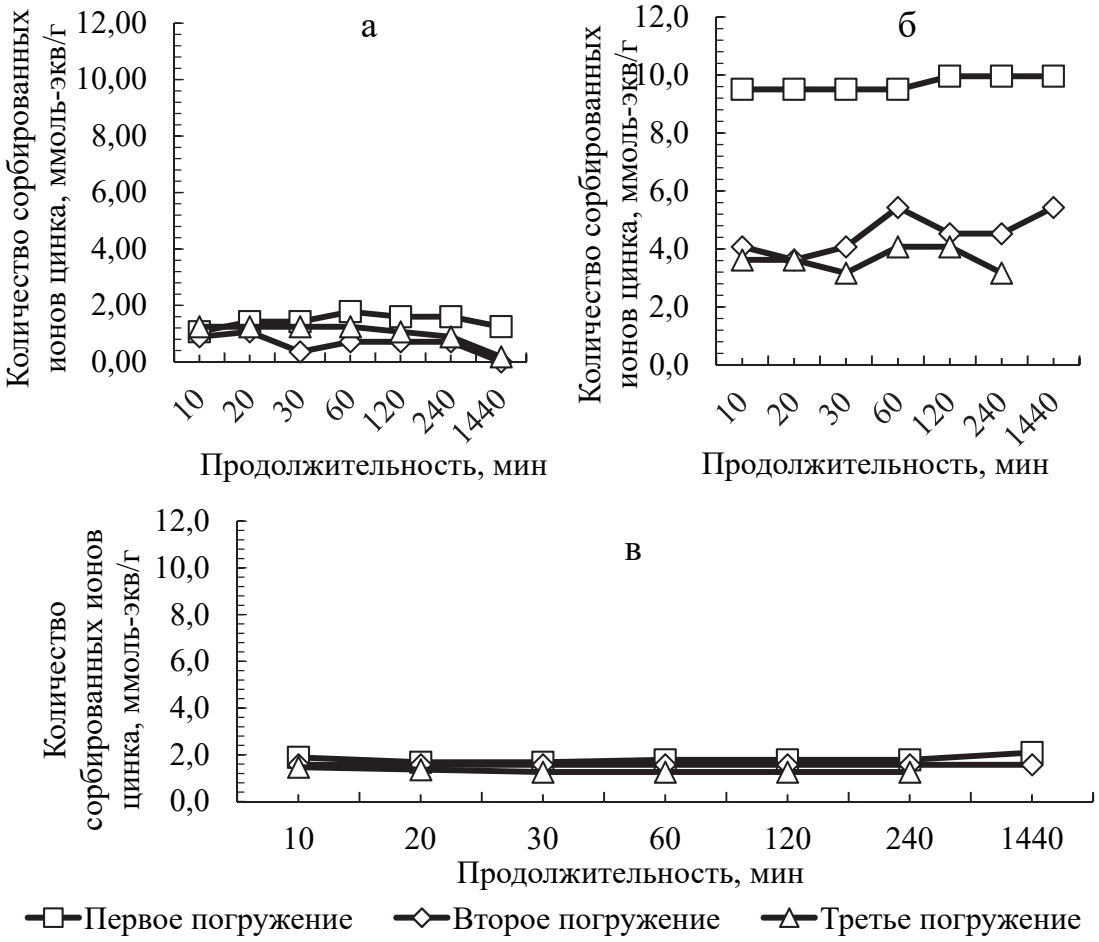


Рисунок 2 – Количество сорбированных из 0,1 н раствора $ZnSO_4$ ионов Zn^{2+} сорбентами в Н-форме: поли[АН(75)–со–АМПС(25)] (а), поли[АН(70)–со–АМПС(30)] (б) и поли[АН(60)–со–АМПС(40)] (в)

Таким образом, в результате проведенной работы показана способность ионообменных материалов, синтезированных на основе АН и АМПС, к сверхэквивалентной сорбции по отношению к ионам цинка и магния. Объяснение наблюдаемого явления требует дополнительного изучения. В настоящий момент можно предположить, что превышение значений экспериментальной статической обменной емкости над теоретическими значениями обусловлено необменными взаимодействиями ионов цинка с азотсодержащими группами полимерного субстрата по донорно-акцепторному механизму и/или «инклюзией» ионов металлов в процессе «усадки» ионита в растворе сорбата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бозорова, Н. Х. Физико-химические свойства модифицированных сшитых сополимеров акрилонитрила // Молодой ученый. – 2014. – № 9. – С. 6–8.

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

3. Щербина Л. А. Синтез и свойства сополимеров на основе акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты // Химические волокна. – 2020. – № 6. – С. 24–29.

4. 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.

УДК 502.174.1:543.544-414 (043.3)

Ван Гочжен, Лихачева А.В.
(Белорусский государственный технологический университет)

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАГНИТНЫХ СОРБЕНТОВ В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Магнитные наноматериалы – это новый тип функциональных наноматериалов, которые начали разрабатывать в 80-х годах прошлого века. По сравнению с традиционными адсорбентами магнитные наноматериалы имеют высокую скорость и эффективность адсорбции, низкую стоимость приготовления, пригодность к вторичной переработке. Поэтому их применение в процессах очистки сточных вод становится все более распространенным. Их уникальные свойства позволяют находить им применение в разных сферах деятельности.

Обычные магнитные наноматериалы на основе железа в основном включают частицы γ-Fe_2O_3, Fe_3O_4 и их функционализированные композитные материалы.

На данный момент разработка и исследование магнитных адсорбентов ведется по следующим направлениям их совершенствования:

1) Стабильность немодифицированных магнитных наночастиц относительно низкая. Получение композиционных сорбентов является основным способом расширения области их практического применения.

2) Получение композиционных сорбентов должно быть направлено на улучшение селективности, адсорбционной емкости и скорости адсорбции.

3) Присутствие в компонентах окружающей среды большого количества загрязняющих веществ, требует дополнительного изучения механизмов сорбции, особенностей их сорбции магнитными сорбентами.

4) Необходима разработка технологии получения магнитных материалов с контролируемой морфологией и размером, хорошими магнитными свойствами, низкой стоимостью, простой эксплуатацией и высокой активностью адсорбцией, чтобы облегчить промышленное производство и применение.

Одним из основных методов получения магнитных сорбентов является метод соосаждения [1]. В традиционной технологии получения магнитных сорбентов в качестве сырьевых материалов используют чистые вещества, целью нашей работы являлось изучить технологию получения такого рода материалов из отходов. Для этих целей могут быть использованы отходы металлургического производства и металлообработки, содержащие железо [2]. На рисунке показана последовательность действий при получении магнитного сорбента с использованием смеси окалины и сварочного шлака и шлак от индукционной печи (или дуговой печи).

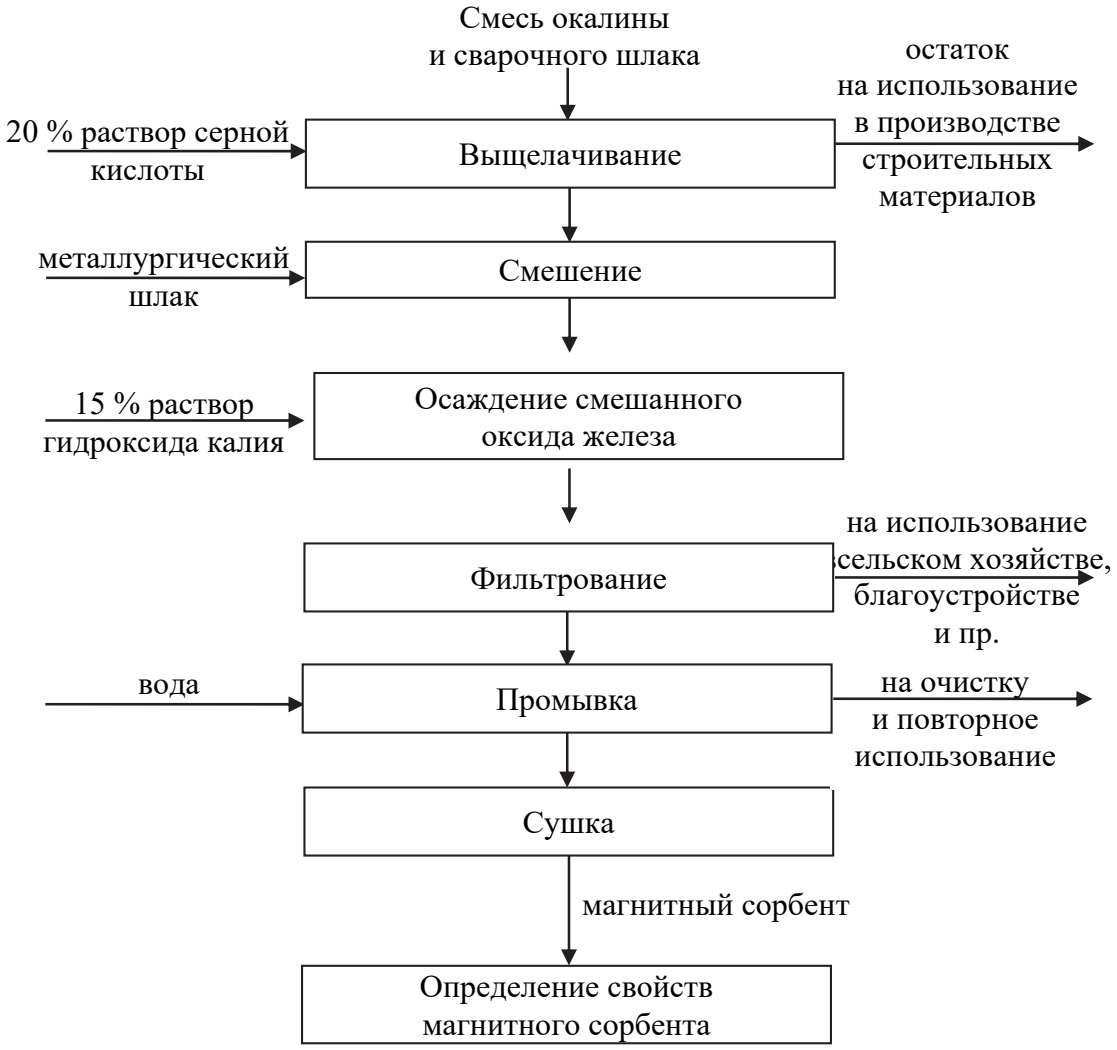


Рисунок 1 – Блок-схема процесса получения магнитных сорбентов из отходов производства

Рентгенофазовый анализ отходов показал, что основными компонентами являются соединения железа, марганца и кремния, однако, в каждом отходе присутствуют примеси, идентифицировать которые не удалось.

Анализ же магнитных сорбентов, полученных из отходов, показал, что они содержат Fe_3O_4 в виде минералов магнетита или маггемита. Некоторые сорбенты в небольшом количестве содержали примеси, которые не удалось идентифицировать.

Все полученные сорбенты обладают ферромагнитными свойствами. Несмотря на то, что композиционные сорбенты обладают меньшими магнитными свойствами, чем магнитный сорбент, полученный из смеси окалины и сварочного шлака, в ходе исследований было установлено, что магнитные свойства полученных частиц не оказывают существенного влияния на их сорбционные свойства.

Определение водопоглощения и краевого угла смачиваемости было установлено, что все сорбенты гидрофильны, но степень сродства к нефтепродуктам у них ниже. Нефтеемкость сорбентов составила от 0,72 до 0,81 г/г, а величина СОЕ – от 604 до 682 мг/г.

При выполнении исследований было установлено, что сорбционная активность сорбентов падает с увеличением величина заряда иона металла, так величина СОЕ составила (мг/г): калий − 295-374, медь (II) − 37,8-76,3, никель (II) − 23,5-35,2, железо (III) − 4,91-4,96. Обратная зависимость наблюдалась для анионов: СОЕ по сульфат-ионам − 136,3-136,9 мг/г, а по ацетат-ионам – 4,2 мг/г.

Разработка направлений использования отходов металлургического производства позволит снизить воздействие на окружающую среду, увеличить коэффициент использования сырьевых ресурсов, уменьшить расход традиционных сырьевых материалов для производства сорбентов, а также сократить использование импортируемых сорбентов, что способствует снижению затрат, связанных с их покупкой и привозом в страну. В тоже время получение композиционных сорбентов расширит область их применения, не только в процессах очистки сточных вод, но и восстановления загрязненных земель, создания искусственных геохимических барьеров, пробоподготовки проб при мониторинговых исследованиях и пр.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казимирская Е.Н., Лихачева А.В. Производственные отходы как сырьевой ресурс для получения магнитных сорбентов // Химия и жизнь. Сборник статей XXI Международной научно-практической студенческой конференции. Новосибирск, 2022. – С. 322-324..

2 Казимирская Е.Н., Лихачева А.В. Повторное использование металлсодержащих отходов производства // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2024. – Т. 10. № 1. – С. 96-103.

УДК 628.2

Марцуль В.Н., Дернович А.В.
(Белорусский государственный технологический университет)

ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Наряду с твердыми коммунальными отходами, образование таких отходов, как осадки очистных сооружений канализации является одной из актуальных проблем, поиск направлений решения которой представляет собой сложную задачу. Требуется обеспечить максимальное вовлечение в хозяйственный оборот при соблюдений требований экологической безопасности.

Высокое содержание органического углерода, азота, фосфора, кальция и микроэлементов позволяет рассматривать осадки сточных вод в качестве ценного сырья для производства органоминеральных удобрений. Однако, наряду с этими компонентами, в них содержатся сотни различных соединений и веществ, для которых не установлены нормативы допустимых концентраций для различных направлений использования.

Для обработки и использования осадков разработано и апробировано множество технологий и специального оборудования. Разнообразие технологических решений, которые нашли применение на практике, обусловлено сложным многокомпонентным составом и уникальным набором свойств, характерных для осадков. Направление использования и технология обработки выбираются с учетом состава и свойств осадков, особенностей конкретного объекта и целого комплекса условий, ограничений и требований.

Как правило, требуется решать две проблемы: поиск направлений и организация использования вновь образующихся осадков и вовлечение в хозяйственный оборот осадков, хранящихся на иловых площадках, иловых прудах и других объектах хранения. Такие проблемы стоят и перед очистными сооружениями КГУП «Молодечноводоканал».

Многолетняя работа очистных сооружений КГУП «Молодечноводоканал» привела к накоплению отходов в виде осадков сооружений биологической очистки хозяйственно-фекальных вод (код 8430200) и ила активного очистных сооружений (код 8430300) в значительных объемах, которые размещены на иловых картах очистных сооружений КГУП «Молодечноводоканал». Среднегодовая масса образующихся осадков сооружений биологической очистки хозяйственно-фекальных сточных вод по сухому веществу составляет 930 т, ила активного очистных сооружений − 795т.

Общие рекомендации по выбору способов обработки осадков и подготовки их к использованию приведены в действующих в РБ СН 4.01.02-2019. Согласно рекомендациям, изложенным в этих строительных нормах,

осадки очистных сооружений производительностью более 50 000 ЭН (к таким относятся очистные сооружения ГКУП «Молодечноводоканал») должны подвергаться стабилизации с использованием биологических, химических, термических или комбинированных методов.

Осадок сточных вод следует подвергать обеззараживанию до или после обезвоживания с использованием: термофильного или мезофильного анаэробного сбраживания; термофильной аэробной стабилизации; компостирования с различными наполнителями; термической обработки; аэробной стабилизации с последующим долговременным хранением в течение не менее 3 лет; обработку известью и другими обеззараживающими реагентами.

Длительная выдержка осадков в естественных условиях на протяжении нескольких лет также обеспечивает их подсушку, определенный уровень стабилизации и обеззараживания.

Иловые площадки допускается применять для обезвоживания осадка при производительности очистных сооружений до 25000 $м^3$/сут (к таким относятся очистные сооружения ГКУП «Молодечноводоканал»). При большей производительности следует предусматривать сооружения по механическому обезвоживанию осадка, а также дополнительно, при необходимости, аварийные иловые площадки вместимостью, обеспечивающей подачу на них осадка в течение времени ликвидации аварии на сооружениях механического обезвоживания, но не превышающей 20 % годового количества осадка.

Отправной точкой для выбора вариантов обработки и использования осадков очистных сооружений являются ограничения и требования, которые установлены для всех направлений деятельности по обращению с данными отходами.

В международной правовой практике использование осадков очистных сооружений канализации регулируется отдельными нормативными правовыми актами, которые учитывают их. Примерами таких ТНПА являются [1,2].

В Республике Беларусь в настоящее время не приняты государственные стандарты, устанавливающие требования к осадкам ОСК, используемым по различным направлениям (в качестве удобрений, при рекультивации нарушенных земель и др.). Примером государственных стандартов в области обращения с осадками являются государственные стандарты Российской федерации [3—7].

В настоящее время в РБ прошли государственную регистрацию ТУ, устанавливающие требования к продукции из осадков сточных вод [8-14].

Требования к осадкам и продуктам их переработки в зависимости от направлений использования, содержащиеся в данных ТУ, в основном согласуются требованиями российских стандартов. Анализ перечисленных документов свидетельствует о том, что показатели, по которым установлены требования к осадкам, используемым на земле практически совпадают.

Имеются некоторые отличия в нормативах содержания отдельных составляющих осадков.

Отправной точкой для определения дозы внесения осадков, используемых в качестве удобрения, являются нормативы ПДК загрязняющих веществ (в основном тяжелых металлов) в почве. В 2020г. в Беларуси введены в действие Экологические нормы и правила ЭкоНиП 17.03.01-001-2020 «Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы). Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах», которые устанавливают нормативы содержания химических веществ в почвах, дифференцированные для почв (грунтов) различного гранулометрического состава, различных категорий земель, территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов, природных территорий, подлежащих особой и (или) специальной охране, и условия их применения.

Для хранения накапливаемого избыточного активного ила КГУП «Молодечноводоканал» задействованы карты, которые заполнены более чем на 60%. Для складирования вновь поступающего объема избыточного активного ила требуется отведение новых земельных участков, что связано с большими затратами и необходимостью отчуждения земель сельскохозяйственного назначения. Решением этой проблемы может быть вариант увеличения объема карт иловых полей за счет увеличения высоты ограждающих карты валов.

Для обоснованного выбора вариантов использования осадков очистных сооружений ГКУП «Молодечноводоканал» проведено обследование объектов хранения данных отходов и исследован их состав с определением влажности, массовой доли золы (минерального остатка), водородного показателя солевой вытяжки, ХПК) водной вытяжки, элементного состава проб, массовой доли общего азота и фосфора. Результаты исследований пробы осадков очистных сооружений ГКУП «Молодечноводоканал» сравнивали с требованиями к осадкам, которые регламентируются ТУ ВУ 100236027.001-2020 и ГОСТ Р 59748-2021.

По всем определенным в ходе исследований показателям (за исключением массовой доли золы) осадки соответствовали требованиям и ГОСТ Р 59748-2021 и ТУ ВУ 100236027.001-2020.

Для организации работ по использованию осадков непосредственно на месте их размещения разработан проект стандарта предприятия на материал обваловочный. Процесс получения материала обваловочного для иловых площадок и полей фильтрации не предполагает использование реагентов и обработку осадков, которая приводила бы к выделению загрязняющих веществ, в дополнение к тому, что имеет место при размещении осадков на картах иловых площадок (полей фильтрации). Вторичные отходы также не образуются.

Учитывая то, что состав осадков соответствует требованиям к материалам, которые могут использоваться для рекультивации нарушенных земель, в соответствии с требованиями ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 «Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности» разработан технологический регламент получения материала обваловочного и материала для рекультивации нарушенных земель из осадков очистных сооружений.

Результаты работы создают основу для организации использования осадков на предприятии и способствуют вовлечению осадков очистных сооружений в хозяйственный оборот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Директива ЕЭС 86/278/ЕЭС от 12 июня 1986 по охране окружающей среды, в частности, почвы, при использовании осадков сточных вод в сельском хозяйстве (Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture);

2. Стандарт США по использованию и удалению осадков сточных вод (40 CFR PART 503 «Standards for the use or dispousal of Sewage Sludge»).

3. ГОСТ Р 17.4.3.07. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений;

4. ГОСТ Р 54534. Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель;

5. ГОСТ Р 54651 Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия

6. ГОСТ Р 54535 Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при размещении и использовании на полигонах.

7. ГОСТ Р 59748-2021 Технические принципы обработки осадков сточных вод. Общие требования.

8. ТУ BY 790282162.009-2015 «Составы для рекультивации нарушенных земель».

9. ТУ BY 300003249.001-2009 «Удобрение и почвоулучшающая добавка из осадков сточных вод».

10. ТУ BY 291000450.001-2015 «Удобрение органическое на основе обезвоженного сброженного осадка сточных вод».

11. ТУ BY 200037600.004-2014 «Грунт питательный на основе осадков сточных вод».

12. ТУ BY 290061754.007-2019 «Почвогрунты с использованием осадков сточных вод».

13. ТУ BY 290061754.006-2019 «Удобрения органические улучшенного состава с добавлением осадков сточных вод».

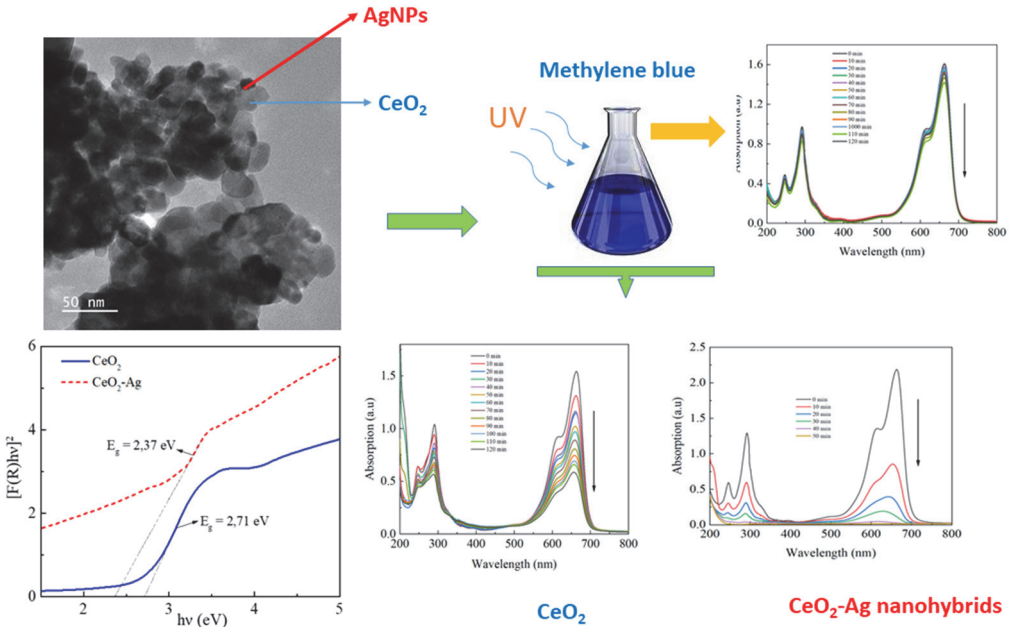
14. ТУ BY 100236027.001-2020 «Материалы для создания твёрдой подосновы и рекультивации прудов-накопителей иловых площадок».

UDC 628.3

Vy Do Truc, Thien Vuong Nguyen, Thi Mat Le,
Tuan Anh Nguyen, Thi Lan Pham, Dai Lam Tran
(Institute for Tropical Technology (ITT),
Vietnam Academy of Science and Technology (VAST))
Visnevskii K.V.
(Belarusian State Technological University)

CeO_2-AG HYBRID NANOPARTICLES FOR PHOTOCATALYTIC REMEDICATION OF WASTEWATER

This study aims to explore how CeO_2-Ag hybrid nanoparticles can be used for wastewater treatment via photocatalytic degradation. CeO_2-Ag hybrid nanoparticles have been synthesized by seed-mediated growth method, via the reducing Ag^+ precursor on the as-received nano-CeO_2 using sodium borohydride in aqueous medium. Transmission electron microscope (TEM) images indicated that the AgNPs (5 nm) were deposited on the surface of nano-CeO_2 (30–40 nm). Nano-CeO_2 hybridized with AgNPs resulted in a decrease in the energy gap (Eg) of CeO_2 from 2.71 eV to 2.37 eV, as observed by diffuse reflectance UV–Vis spectrum analysis. Photocatalytic degradation tests have been examined with methylene blue (MB) solution under UV irradiation. The data showed that CeO_2-Ag nanohybrids have totally removed MB after 50 minutes of exposure to UV light radiation, while only 30% of MB was removed by nano-CeO_2 after 120 minutes under UV light irradiation.



Acknowledgements.
This work is funded by Vietnam Academy of Science and Technology (Grant number NCXS 01.01/22-24).

УДК 666.295.4

Шиманская А.Н., Климош Ю.А., Севко А.В.
(Белорусский государственный технологический университет)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛАУКОНИТСОДЕРЖАЩЕЙ ПОРОДЫ, САПОНИТСОДЕРЖАЩИХ ТУФОВ И БАЗАЛЬТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЛАЗУРНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ КЕРАМОГРАНИТА

Целью настоящего исследования является изучение возможности использования базальтов, сапонитсодержащих туфов Новодворского месторождения Брестской области Республики Беларусь, а также глауконитсодержащих осадочных вскрышных пород для синтеза глазурных покрытий для декорирования керамического гранита, а также выявление взаимосвязи между структурой полученных глазурей, их физико-химическими свойствами и составом сырьевой композиции. Минеральный и химический состав указанных горных пород приведен в [1–3].

Глазурные композиции включали сырьевые материалы при следующем соотношении, мас. %:

Серия 1: фритта [4] – 18–33; доломит – 10–15; базальт – 40–55; суммарное содержание огнеупорной глины и глинозема – 17;

Серия 2: фритта [4] – 18–33; доломит – 10–15; туф – 40–55; суммарное содержание огнеупорной глины и глинозема – 17;

Серия 3: полевой шпат – 15–30; глауконитсодержащая порода – 23–38; доломит – 10–20; суммарное содержание огнеупорной глины, фритты [4] и глинозема – 37.

Глазурная суспензия готовилась совместным мокрым помолом компонентов шихты в шаровой мельнице (Speedy, Италия) до остатка на сите № 0056 в количестве 0,1–0,3 мас.% при соотношении материал : мелющие тела : вода, составляющим 1:1,5:0,5. Полученная суспензия влажностью (50±1) мас.% наносилась на высушенный до влажности не более 0,5 % полуфабрикат керамических плиток. Покрытые опытными составами глазурей образцы керамогранита подвергались обжигу при температуре (1191±5) °С в течение (52±2) мин в производственных условиях ОАО «Березастройматериалы».

Цветовая гамма синтезированных глазурных покрытий Серий 1 и 2 бежево-коричневая, коричнево-бежевая, Серии 3 – бежевая, песочно-желтая (рисунок 1–3). Вследствие несогласованности температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) глазурей некоторых составов и керамического черепка после термической обработки наблюдалось возникновение цека.

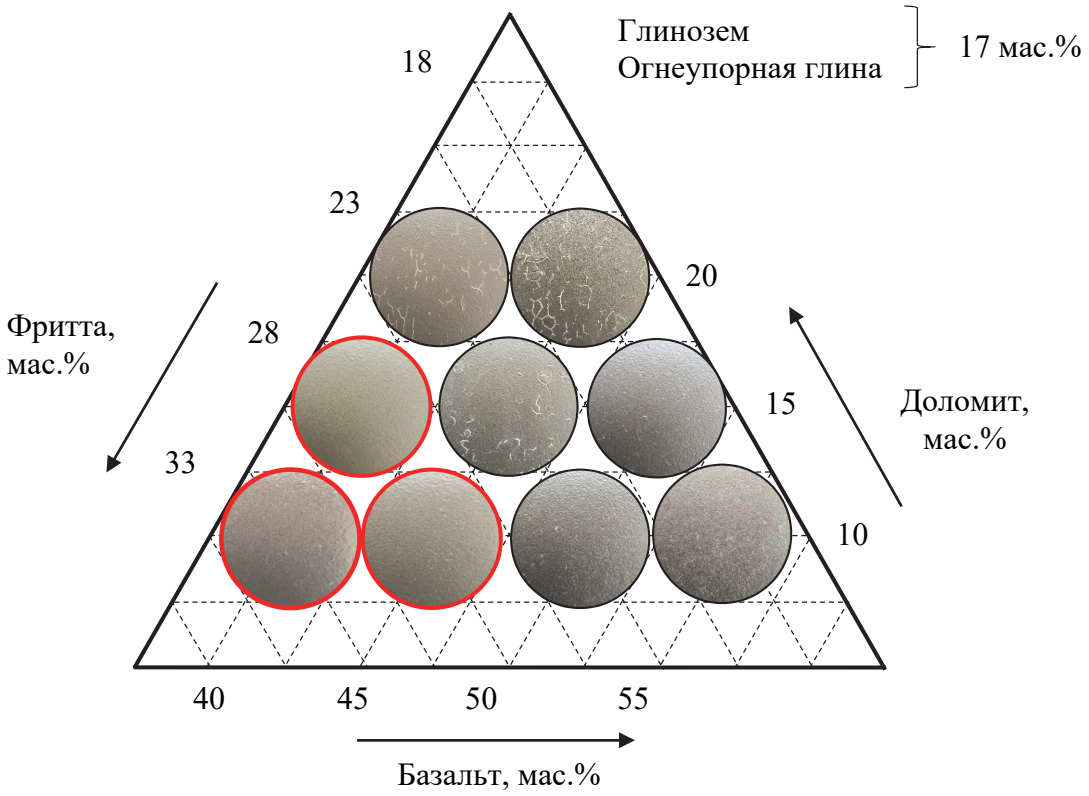


Рисунок 1 – Глазурные покрытия Серии 1

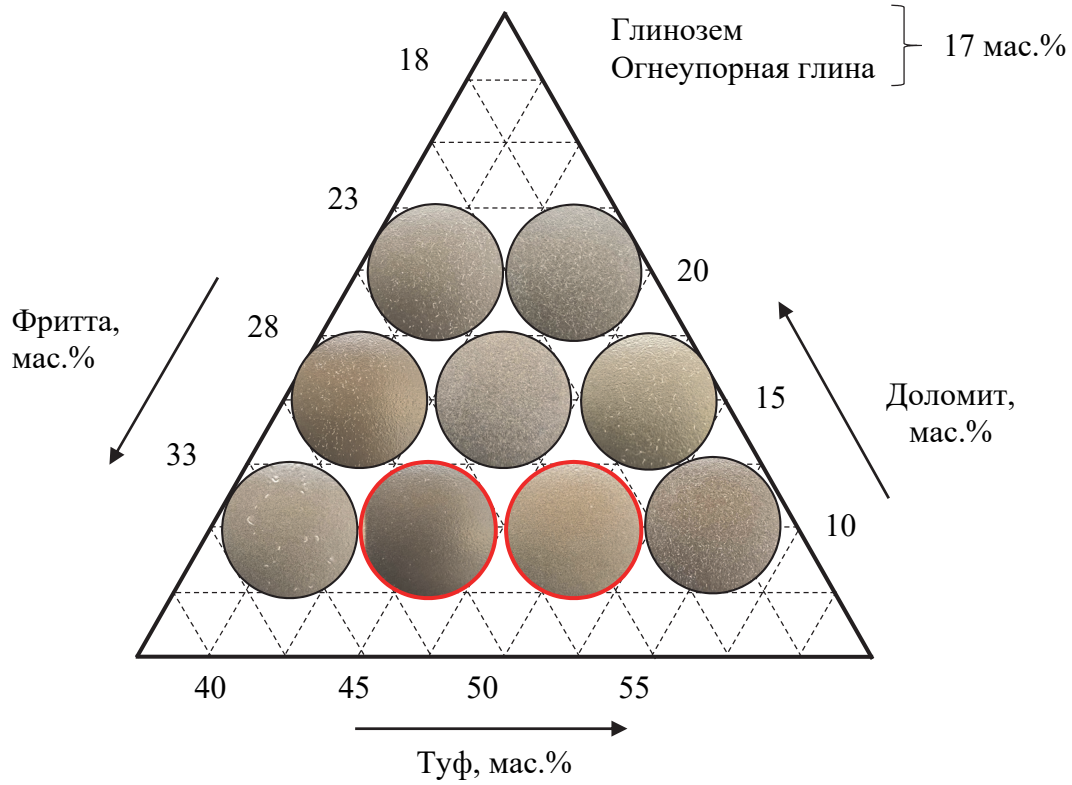


Рисунок 2 – Глазурные покрытия Серии 2

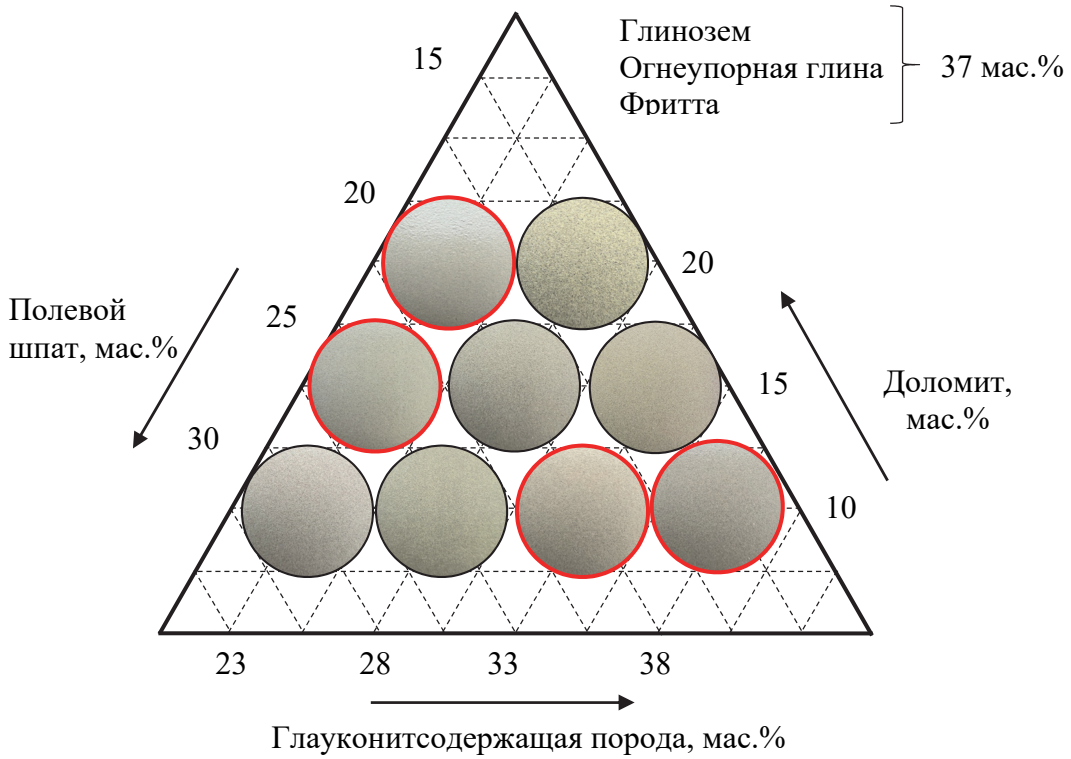


Рисунок 3 – Глазурные покрытия Серии 3

Кроме того, не все глазури остекловались, отдельные образовывали при обжиге расплав, отличающийся высоким поверхностным натяжением, что привело к сборке. Бездефектные глазурные покрытия, отличающиеся хорошим разливом выделены на рисунках 1–3 красным цветом.

Для определения блеска синтезированных покрытий использовался фотоэлектронный блескомер ФБ-2 (Россия), температурного коэффициента линейного расширения – электронный дилатометр DIL 402 PC фирмы Netzsch (Германия), микротвердости – прибор Wolpert Wilson Instruments (Германия). Результаты проведенных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические свойства глазурных покрытий оптимальной области составов

Показатель	Серия 1	Серия 2	Серия 3
Фактура поверхности	Матовая	Матовая	Матовая
Блеск, %	3–8	1–11	4–7
Микротвердость, МПа	3000–5910	3460–6960	5560–8470
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^7$, $К^{-1}$	68,5–71,3	69,1–73,4	70,5–75,4
Термическая стойкость,°С (ГОСТ 27180)	150	150	150

Таким образом, предварительно проведенные испытания показали, что глазурные покрытия, полученные с использованием базальтов, сапонитсодержащих туфов и глауконитсодержащих осадочных вскрышных пород, могут найти применение в промышленном производстве керамогранита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранцева, С. Е. Перспективное использование магматических и осадочных пород Республики Беларусь – критерий экономической, экологической безопасности и ресурсосбережения / С. Е. Баранцева, Ю. А. Климош, В. А. Бирюк // Промышленная безопасность. – 2023. – № 10. – С. 34–37.

2. Глауконитсодержащая вскрышная порода – перспективное сырье для синтеза стекол различного назначения / С. Е. Баранцева [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусь Сер. хім. навук. – 2023. – Т. 59, № 2. – С. 169–176.

3. Научные и технологические аспекты рационального использования магматических и осадочных пород для получения силикатных материалов / С. Е. Баранцева [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. – 2023. – Т. 14, № 4. – С. 139–144.

4. Левицкий И. А., Баранцева С. Е., Позняк А. И., Шульгович Н. В. Фриттованная составляющая глушеной глазури: пат. 15539 Респ. Беларусь. № a 20101442; заявл. 07.10.2010; опубл. 28.02.2012. Бюл. № 1. С. 95–96.

УДК 338

Санин Г.К.
РНИУП «Бел НИЦ «Экология»
Булак А.А.
ГУО «Республиканский центр государственной экологической экспертизы, подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров»
Войтов И.В.
(Белорусский государственный технологический университет)

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТХОДОВ В НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ

Нефтегазохимическая промышленность Республики Беларусь играет значительную роль в социально-экономическом и инновационном развитии страны. Результаты деятельности нефтегазовой отрасли являются основной базой для выполнения планов по индексу промышленного производства.

В стране устойчиво растет валовая добыча нефти, расширяется номенклатура выпускаемой продукции, которая востребована на внутреннем рынке, и обеспечивается потребность в необходимых объемах, а также расширяются экспортные поставки, как в части разнообразия номенклатуры поставляемых товаров, так и по диверсификации рынков сбыта с акцентом на страны дальней дуги.

Добыча, использование и транспортировка продуктов нефтегазохимической промышленности оказывают воздействие на все компоненты окружающей среды (воздух, воды, почву, растительный и животный мир) и требует неуклонного роста сознательности и ответственности рабочих, специалистов и руководителей, занятых в отрасли с целью обеспечения экологической безопасности.

Важным экологическим аспектом является обращение с отходами. Так, например, ежегодно при производстве кокса и продуктов нефтепереработки образуется около 90 тыс. тонн отходов, уровень использования отходов составляет 63%, на захоронение направляется чуть более 5% отходов, остальные отходы, то есть около 1/3, направляются на хранение.

Органом по экологической сертификации систем менеджмента окружающей среды государственного предприятия «Бел НИЦ «Экология» сертифицированы системы менеджмента окружающей среды: ПО «Беларусьнефть» (в том числе НГДУ «Речицанефть», РУТТ, СУБР, ТУ, УПНПиРС, белорусский газоперерабатывающий завод, Вышкомонтажное управление), ОАО «Светлогорский ЦКК», ОАО «Мозырский НПЗ», ОАО «Нафтан» и др.

В целях реализации государственной политики в области снижения выбросов парниковых газов и охраны климата законодательно закреплена обязанность субъектов хозяйствования, деятельность которых приводит к выбросам парниковых газов в объеме 15 тысяч тонн в CO2 эквиваленте и выше, вести производственный учет выбросов парниковых газов. Государственное предприятие БелНИЦ «Экология», начиная с 2024 г., оказывает услуги по организации ведения такого учета (заключены договора с ОАО «Мозырский НПЗ», ОАО «Нафтан», завод «Полимир». Собранная от предприятий нефтегазохимического сектора информация в дальнейшем ляжет в основу формирования государственной политики в области регулирования выбросов парниковых газов путем установления предельных показателей на выбросы для данного сектора.

В 2023 году Европейский союз запустил Трансграничное углеродное регулирование или иными словами углеродный налог, который необходимо будет оплатить путем покупки сертификатов на выбросы

парниковых газов при ввозе определенных видов товаров/услуг из третьих стран в Европейский Союз. Углеродное регулирование становится значимым фактором конкурентоспособности углеродоемкой продукции.

Государственное предприятие «Бел НИЦ «Экология» обладает большим опытом и знаниями в области оценки углеродоемкости продукции. Для предприятий нефтехимической и химической отраслей выполнены работы для ИООО «ОмскКарбон Могилев», ОАО «Гомельский химический завод» по расчету их углеродного следа в соответствии с существующими международными стандартами, включая ISO и руководящие документы Европейского союза.

В 2022 году в рамках выполнения научно-исследовательской работы «Оценка эффективности обращения с отработанными буровыми растворами на углеводородной основе, экологические аспекты обезвреживания и использования отходов углеродосодержащих буровых растворов в соответствии с действующим законодательством в области охраны окружающей среды» проводились исследования отработанных буровых растворов на углеводородной основе и бурового шлама, образующегося в процессе бурения скважин в целях добычи нефти.

Ввиду постоянной актуализации использования вторичных материальных ресурсов и значимости рационального природопользования, выполненная работа достаточно актуальна и уникальна, так как нацелена на разработку новой технологии бурения и на установление целесообразности вторичного использования отходов бурения.

Результаты научно-исследовательской работы используются ПО «Беларусьнефть» в целях обеспечения экологической безопасности при осуществлении хозяйственной и иной деятельности предприятий при бурении скважин растворами на углеводородной основе для добычи нефти и применении отходов бурения.

Продукция нефтегазохимической промышленности выпускается на производствах с повышенными требованиями к безопасности промышленных объектов и соблюдению экологических стандартов качества. По этой причине для достижения результата в отрасли важны ритмичность, экологическая безопасность и эффективность процессов.

Приведенные достижения полагаю считать хорошим началом всестороннего научно-практического сотрудничества государственного предприятия «Бел НИЦ Экология» с предприятиями нефтегазохимической промышленности на правленого на сохранение бесценного природного богатства нашей страны, а также накапливаемый опыт должен лечь в основу международного сотрудничества.

УДК 338

Булак А.А.
ГУО «Республиканский центр государственной экологической экспертизы, подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров»
Санин Г.К.
РНИУП «Бел НИЦ «Экология»
Войтов И.В.
(Белорусский государственный технологический университет)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Проектная документация по объектам переработки нефти и газа подлежит государственной экологической экспертизе.

Для проведения государственной экологической экспертизы в отношении проектной документации (изменениям, вносимым в нее) на возведение, реконструкцию, модернизацию, техническую модернизацию объектов переработки нефти и газа разработчиком документации представляется:

– заявление (по форме согласно приложению 1 к Положению о государственной экологической экспертизе);

– разделы архитектурного или при одностадийной разработке проектной документации строительного проекта:

– «Охрана окружающей среды»,

– «Генеральный план и транспорт» (в случае его разработки),

– экологический паспорт проекта,

– отчет об оценке воздействия на окружающую среду в случаях, установленных законодательством о государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду, с материалами общественных обсуждений, проводимых на территории Республики Беларусь, и материалами общественных обсуждений и консультаций на территории затрагиваемых сторон (при трансграничных воздействиях), составленный при разработке архитектурного или при одностадийной разработке проектной документации строительного проекта, изменения, вносимые в них (далее, если не предусмотрено иное, – проект).

Объекты переработки нефти и газа связаны с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух и их проектирование осуществляется с учетом:

– информации о наилучших доступных технических методах, предоставляемой Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды в порядке, им установленном;

– нормативов в области охраны атмосферного воздуха;

– данных о фоновых концентрациях загрязняющих веществ в атмосферном воздухе;

– мероприятий по сокращению и (или) предотвращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

При этом, проектная документация объектов переработки нефти и газа в обязательном порядке должна включать:

– анализ соответствия прогнозируемых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух нормативам в области охраны атмосферного воздуха, проведенный с учетом фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и выбросов загрязняющих веществ от совокупности проектируемых и существующих источников выбросов;

– проектные решения, основанные на наилучших доступных технических методах, а также проектные решения по оснащению организованных стационарных источников выбросов газоочистными установками и иные решения по сокращению и (или) предотвращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, обеспечивающие соблюдение нормативов качества атмосферного воздуха;

– проектные решения по организации мест отбора проб и проведения измерений выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в соответствии с обязательными для соблюдения техническими нормативными правовыми актами, в том числе с учетом наличия методик (методов) измерений, прошедших аттестацию в порядке, установленном законодательством об обеспечении единства измерений, концентраций специфических загрязняющих веществ в выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух и в атмосферном воздухе, которые могут поступать в атмосферный воздух при эксплуатации объектов хозяйственной и иной деятельности, связанных с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух;

– проектные решения по оснащению организованных стационарных источников выбросов автоматизированными системами контроля за выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух в случаях, предусмотренных обязательными для соблюдения техническими нормативными правовыми актами, техническими регламентами Таможенного союза и Евразийского экономического союза;

– обоснование границы зоны воздействия и ее размеров.

За полноту и достоверность сведений, содержащихся в проекте на, предусматривающем строительство объектов переработки нефти и газа (в том числе расчетах), ответственность несут должностные лица и представители разработчика документации, представившие указанную документацию на государственную экологическую экспертизу.

При проведении государственной экологической экспертизы по проектной документации на строительство объектов переработки нефти и газа при оценке, помимо прочего, подлежат:

– полнота и достоверность результатов оценки воздействия на окружающую среду (при ее проведении), в том числе порядок проведения общественных обсуждений отчета об оценке воздействия на окружающую среду;

– соблюдение нормативов качества окружающей среды:

- нормативов предельно допустимых концентраций химических и иных веществ;

- нормативов предельно допустимых физических воздействий;

- нормативов предельно допустимых концентраций микроорганизмов;

- дифференцированных нормативов содержания химических веществ в почвах;

- иных нормативов качества окружающей среды;

– соблюдение нормативов допустимого воздействия на окружающую среду при максимально возможной загрузке оборудования:

- нормативов допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду;

- нормативов допустимых выбросов и сбросов химических и иных веществ;

- нормативов допустимых физических воздействий;

- нормативов образования отходов производства;

- нормативов допустимого изъятия (добычи) природных ресурсов;

- нормативов допустимой нагрузки на особо охраняемые природные территории;

- нормативов иного допустимого воздействия на окружающую среду при осуществлении хозяйственной и иной деятельности;

– проектные решения на предмет соответствия законодательству об охране атмосферного воздуха:

– соблюдение учета фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и выбросов загрязняющих веществ от совокупности проектируемых и существующих источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;

– проектные решения, основанные на наилучших доступных технических методах, а также проектные решения по оснащению организованных стационарных источников выбросов газоочистными установками и иные решения по сокращению и (или) предотвращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, обеспечивающие соблюдение нормативов качества атмосферного воздуха;

– проектные решения по охране озонового слоя и обращению с озоноразрушающими веществами;

– проектные решения по организации мест отбора проб и проведения измерений выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в соответствии с обязательными для соблюдения техническими нормативными правовыми актами, в том числе с учетом наличия методик (методов) измерений, прошедших аттестацию в порядке, установленном законодательством об обеспечении единства измерений, концентраций специфических загрязняющих веществ в выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух и в атмосферном воздухе, которые могут поступать в атмосферный воздух при эксплуатации объектов хозяйственной и иной деятельности, связанных с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух;

– проектные решения по оснащению организованных стационарных источников выбросов автоматизированными системами контроля за выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух в случаях, предусмотренных обязательными для соблюдения техническими нормативными правовыми актами, техническими регламентами Таможенного союза и Евразийского экономического союза;

– обоснование границы зоны воздействия и ее размеров.

Из сравнительного анализа требований законодательства, предъявляемых к содержанию проектной документации по объектам переработки нефти и газа, и оценочным критериям, применяемым при проведении государственной экологической экспертизы, следует, что они являются соотносимыми (сопряженными), что свидетельствует об обеспечении экологической безопасности планируемой деятельности при строительстве объектов переработки нефти и газа, посредством института государственной экологической экспертизы.

Кроме того, заключение государственной экологической экспертизы признается окончательным решением по планируемой хозяйственной и иной деятельности в части допустимого воздействия такой деятельности на окружающую среду и использования природных ресурсов для осуществления такой деятельности, в том числе для целей Конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте от 25 февраля 1991 года.

При этом, законодательством определены требования к заключению государственной экологической экспертизы.

Так, например, описательная часть заключения должна содержать следующие сведения:

- о характеристике объекта (производственная мощность, размер линейного сооружения и другое);

- о площадке, выбранной для осуществления планируемой хозяйственной и иной деятельности, месте ее расположения;

- о видах и объемах используемых природных ресурсов;

- о допустимом воздействии на окружающую среду планируемой хозяйственной и иной деятельности, включая количественные и качественные показатели, а также предполагаемые изменения окружающей среды;

- о мероприятиях, направленных на предотвращение (снижение) вредного воздействия на окружающую среду;

- о проведении оценки воздействия на окружающую среду, включая результаты общественных обсуждений отчета об оценке воздействия на окружающую среду;

- о соответствии наилучшим доступным техническим методам;

- о результатах научно-исследовательских работ;

- о сроках реализации проектных решений;

- о соблюдении режимов охраны и использования природных территорий, подлежащих особой и (или) специальной охране;

- о результатах оценки при проведении государственной экологической экспертизы по соответствующим компонентам природной среды;

- о замечаниях по документации, представленной на государственную экологическую экспертизу, в том числе их направлении разработчику документации или заказчику для ее доработки (при наличии).

Описательная часть отрицательного заключения должна содержать ссылки на нормативные правовые акты, в том числе обязательные для соблюдения технические нормативные правовые акты в области охраны окружающей среды, нормы которых не соблюдены при разработке документации (при наличии).

В описательной части заключения могут быть указаны и иные сведения с учетом особенностей проведения государственной экологической экспертизы по отдельным объектам, способствующие достижению экологической безопасности планируемой хозяйственной и иной деятельности и предотвращению вредного воздействия на окружающую среду объекта государственной экологической экспертизы.

Более того, в заключении государственной экологической экспертизы должны быть соблюдены ясность и точность изложения установленных фактов и данных. Не допускается включение в заключение различного рода не подтвержденных документально сведений о планируемой хозяйственной деятельности.

Таким образом, заключение государственной экологической экспертизы (которое признается окончательным решением по планируемой хозяйственной деятельности в части допустимого воздействия такой деятельности на окружающую среду и использования природных ресурсов) при ее проведении по проектной документации по объектам переработки нефти и газа содержит полную, всестороннюю, объективную и достоверную информацию, в том числе в части обосновании его принятия.

С учетом изложенного, наличие положительного результата государственной экологической экспертизы в отношении проектной документации по объектам переработки нефти и газа гарантирует их дальнейшую экологически безопасную эксплуатацию и, как следствие, предполагает развитие нефтегазохимических производств с учетом допустимости воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду, обеспечения национальной безопасности (в том числе предотвращение загрязнения атмосферного воздуха и причинения иного вреда окружающей среде).

Секция IV
АППАРАТНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ. СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ, ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ. ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

UDC 62.2

Petrov O.A., Li JunYi, Wang Yuanda
(Belarusian State Technological University)

IMPROVEMENT OF THE DESIGN OF A HYDRODYNAMIC CAVITATOR FOR LIQUIDS HOMOGENIZATION

Producing liquid-dispersed media is a key stage in various technological processes in chemical and related industries (petrochemical, pharmaceutical, paint, food, etc.) [1]. In some technologies, hydrodynamic processing is relatively long, energy-intensive, and requires intensification. Reducing the energy and material consumption of equipment while achieving the required efficiency can be achieved by using unconventional technologies based on various physical phenomena. Special importance is given to the use of cavitation, as one of the simplest and most accessible methods of hydrodynamic material processing.

A significant effect can be achieved by using the phenomenon of supercavitation, i.e., the creation of cavitation cavities (supercaverns) that close beyond the working bodies without their cavitation destruction. The main cavitational destructive effect is due to the field of collapsing cavitation bubbles, generated mainly beyond the supercavern. Their micro-explosions, with local pressure changes in the liquid flow, lead to the destruction of particles of the processed material falling into the area of these micro-explosions. At the same time, the specific energy consumption can be significantly lower compared to traditionally well-established equipment (disk and conical mills, finger grinders, rotary-pulsating apparatuses).

Previously, we experimentally studied some designs of static supercavitating devices (SC devices) as relatively simple and effective for a number

of technological processes, one of which is the homogenization of liquids. In addition, they can also be successfully used in combination with other devices (agitator devices, dynamic, jet, ultrasonic dispersers, etc.).

A water-oil emulsion was chosen as the basic model medium, due to its availability and prevalence. Such emulsions are used as lubricating and cooling technical means (LCTM), working fluids in hydraulic drives, are used in pharmaceuticals, cosmetology, etc. Depending on the properties and purpose, two types of emulsions are used: direct – O/W, when the oil (dispersed phase) is crushed in the form of separate small droplets in water (dispersion phase) and reverse – W/O. As a result of earlier experimental studies, semi-stable direct emulsions of various concentrations were obtained without the use of emulsifiers (Figure 1). Moreover, a static SC device was used, which was later taken as the basic version for computer modeling [2].

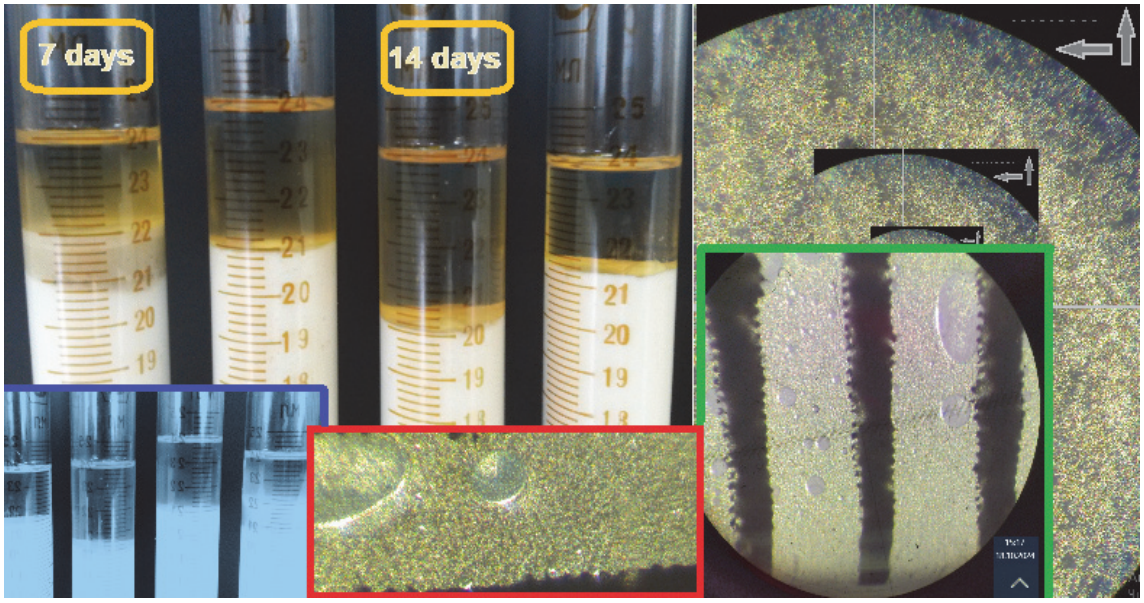


Figure 1 – Results of experiments

The simulation was conducted in the "Flow Simulation" module of the well-known CAD system "SOLIDWORKS" for hydrodynamics modeling, where the finite volume method is applied, using the physical interpretation of the studied quantities as its formulation.

As a similarity criterion in cavitation flow studies, it is customary to use the cavitation number X, as the main cavitation parameter that allows explaining numerous and diverse characteristics of the cavitation phenomenon. In essence, the cavitation number represents the ratio of the pressure under which the cavity collapses to the pressure under which the cavity forms and grows. Depending on the value of X, five types of flows can be distinguished: from pre-cavitation continuous when $X > 1{,}05$ to supercavitation when $X < 0{,}5$.

Thus, the hydrodynamics of cavitation flows were simulated by varying different parameters (pressure, speed, temperature) with the improvement of the static cavitation emulsifier design to reduce the cavitation number. Subsequently, the dependencies of the cavitation number on fluid velocity, temperature, and Reynolds number were constructed, yielding the following results.

The basic version of the cavitation unit resembled a Venturi nozzle with a conical fairing placed on the rod in the diffuser. This is a well-known SC device design, which we have previously studied both experimentally and theoretically for various technologies [1, 2]. Despite its sufficient efficiency, the main drawback of this design is the high hydraulic resistance (50 kPa and more, depending on flow blockage).

To obtain the emulsion, the rod with the fairing is proposed to be made hollow, with the dispersed phase (oil) supplied into it. The results of computer modeling showed that the supercavitation mode starts at a liquid temperature above 60°C and a speed in the narrow section of the nozzle above 13 m/s.

To intensify the process and reduce hydraulic resistance, a design of the cavitation emulsifier with a hollow fairing and additional flow swirling is proposed. Swirled flows are characterized by a larger velocity gradient across the channel section, and a cavity almost always forms behind the swirlers.

Since the intensity of the destructive impact increases, the emulsification process can be carried out at lower liquid velocities, leading to reduced hydraulic resistance. The dispersed phase, moving at a certain speed, hits the blades of the swirler, where the flow is swirled. The swirled flow passes through the nozzle, increasing its speed due to the central constriction. The main component flows around the fairing at high speed, creating a low-pressure area, behind which a supercavern with a field of collapsing cavitation bubbles forms. As the fairing is hollow, there is continuous suction of the dispersed phase. The two liquids mix and disperse intensively, undergoing cavitation to form an emulsion.

The computer models showed that the supercavitation mode sets in much earlier, becoming stable at 20°C with an initial in pipeline speed of 5 m/s. Additional flow swirling, intensifying the process, and reducing hydraulic resistance can be achieved by tangentially introducing the dispersed phase into the main pipeline. The dispersed phase is also introduced into the flow through the hollow fairing. Hydrodynamic modeling of this cavitation emulsifier design demonstrated that the supercavitation mode occurs at a flow speed of 4 m/s.

Having gained some experience in computer modeling of static cavitation emulsifiers, it is planned to continue research in this direction, expanding the range of tasks to improve the design of such equipment.

REFERENCES

1. Petrov, O. A. Cavitation Technologies in Industry. Directions of Use / O.A. Petrov, V.S. Franckevich, V.I. Kozlovskiy // Petrochemical Complex. Scientific and Technical Bulletin. Supplement to the journal "Vestnik Belneftekhima". – 2018. – No. 1(17). – Pp. 5–8.

2. Petrov, O.A. Development of a Static Supercavitator with Minimal Cavitation Erosion / O.A. Petrov, V.I. Kozlovskiy, D.N. Borovskiy // Oil and Gas Chemistry – 2022: Proceedings of the V International Scientific and Technical Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Processing, Minsk, November 2-4, 2022. – Minsk: BSTU, 2022. – Pp. 238-242.

УДК 621.926.4

Душкевич Д.В.
(ОАО «НПО Центр»)
Гребенчук П.С.
(Белорусский государственный технологический университет)

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНО-УДАРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ RDF-ТОПЛИВА

В настоящее время наблюдается тенденция роста потребления энергии в мире, характеризующаяся стремительным ростом глобального спроса. Согласно отчёту Международного энергетического агентства (МЭА), мировой спрос на энергоносители за 2022 год вырос на 1.2%, за 2023 – на 2.3%. Предполагается, что в 2024 году мировое потребление электроэнергии может вырасти на 4% и таким образом превысить отметку 29 трлн кВт·ч [1].

В настоящее время разрабатываются стандарты и технологии по получению альтернативных видов топлива. Одним из быстроразвивающихся видов альтернативного топлива является RDF-топливо. Данный вид топлива решает проблемы с постоянно увеличивающимся количеством отходов и с ростом потребляемой энергии. Наличие в RDF-топливе полимерных материалов ставит задачу по их измельчению.

На рисунке 1 представлен измельчительный комплекс, в основе которого стоит центробежно-ударная мельница с гибкими элементами.

Измельчение исходного материала происходит за счёт соударения с гибким элементом, закреплённым на вращающемся роторе. За счёт высокой скорости вращения гибкого элемента при соударении с кусками исходного материала и гибкого элемента происходит разрыв связей

между кристаллами и их разрушение. Подобные измельчители известны и показали свою высокую эффективность при измельчении широкого спектра материалов [2].



Рисунок 1 – Измельчительный комплекс

Данная установка работает в комплексе с батарейными циклонами, в которых происходит отделение мелкой фракции измельченного продукта от воздушного потока.

В ходе исследование был проведён эксперимент по измельчению полиэтиленовых материалов. В отличие от минерального сырья, которое при ударе разбивается на более мелкую фракцию, полиэтилен при ударе имеет свойства растягиваться. Эксперимент проводился на полимерном материале размером от 150 до 300 мм с толщиной от 30 до 200 мкм при скорости вращения ротора 800 об/мин.

Результатом измельчения стало получение готового продукта размером от 2 до 30 мм с ярко выраженным рваным следом. На рисунке 2 представлен материал до и после проведения эксперимента.



а б

Рисунок 2 – Результаты измельчения
а – исходный материал, б – измельчённый материал

Экспериментальным путём было выявлено, что движение ротора с гибкими элементами в камере дробления центробежно-ударной мельницы создаёт зону пониженного давления и определяет движение воздушных потоков в зоне измельчения исходного материала. Воздушные потоки захватывают исходный материал и помогают ему переместиться в зону измельчения.

Экспериментальная часть определила граничные условия для проведения компьютерного моделирования в программе SolidWorks Flow Simulator. По результатам компьютерного моделирования [3] были получены планы движения воздушных потоков и изменения скоростей в центробежно-ударной мельнице (рисунок 3) и распределения давления в камере измельчения. (рисунок 4).

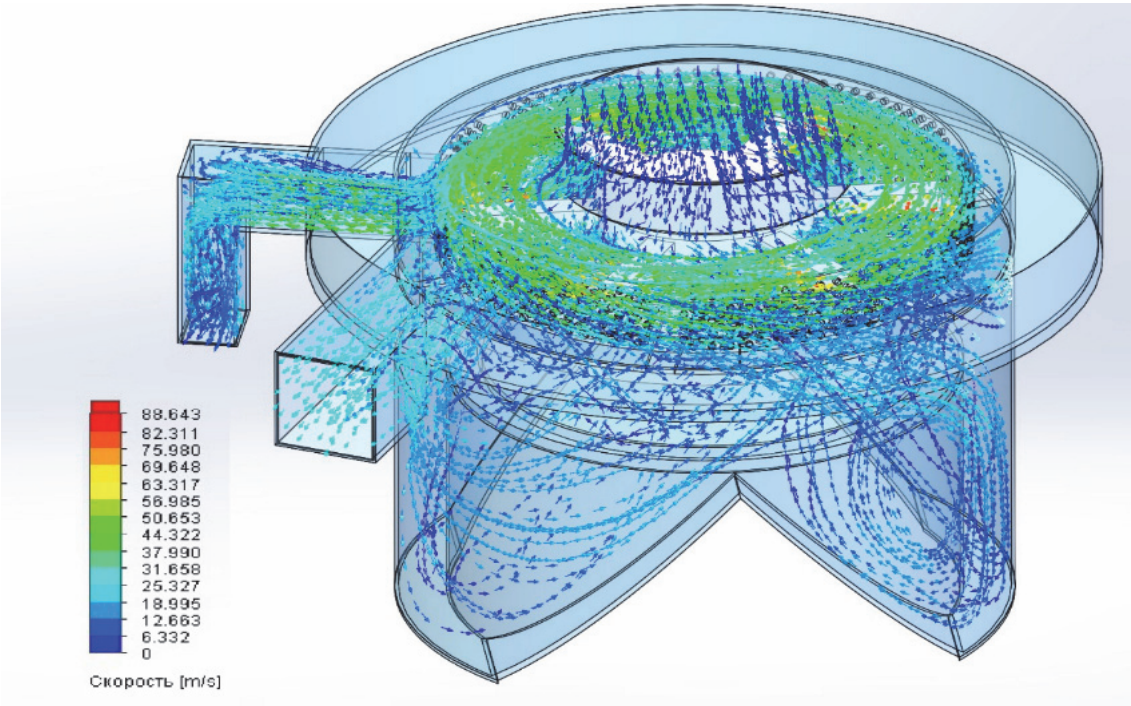


Рисунок 3 – Движение воздушных потоков и изменение скоростей в центробежно-ударной мельнице

Из рисунка 3 видно, что скорости частиц нарастают при их движении от центра ротора к периферии. В то же время, при движении в разгрузочных элементах они начинают падать, что связано с существенным гидравлическим сопротивлением в этих зонах. Это, кстати, делает возможным использование в измельчительном комплексе циклонов, работа которых при скоростях газа, превышающих 20 м/с, затруднительна.

Моделирование подтвердило выдвинутое в экспериментальной части предположение о том, что гибкие элементы ротора создают движение потоков воздуха, что приводит к захвату материала.

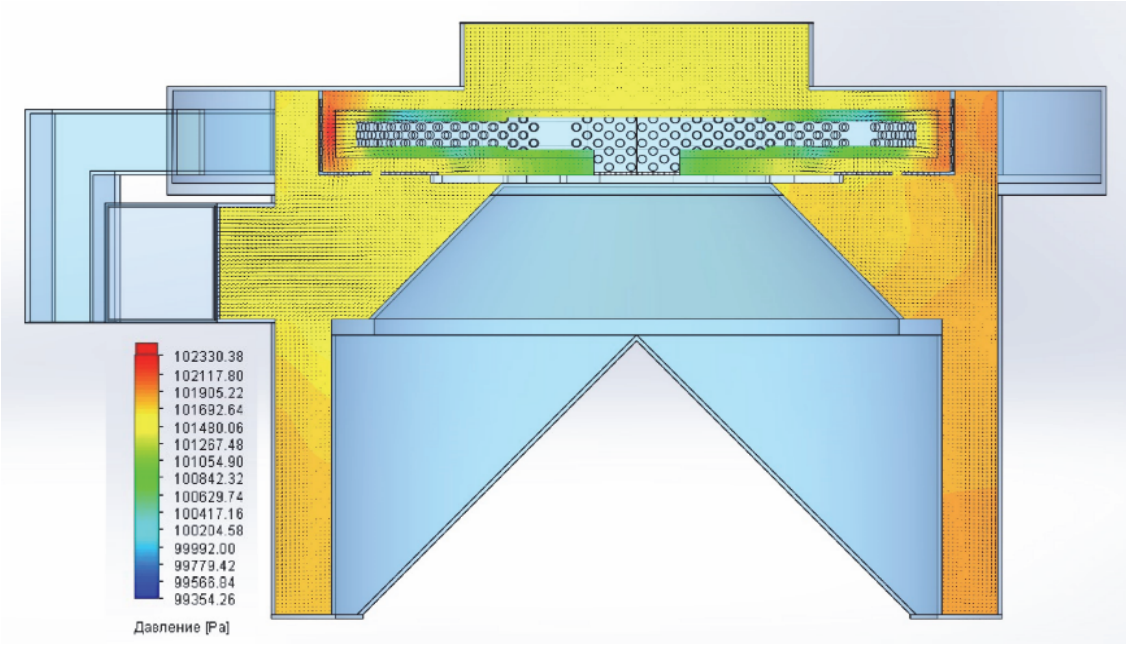


Рисунок 4 – Распределение давления в камере измельчения центробежно-ударной мельницы

Компьютерное моделирование также подтвердило, что воздушные потоки, создаваемые при вращении гибких элементов центробежно-ударной мельницы, образуют зонну пониженного давления, находящуюся сразу под ними (рисунок 4). Следовательно, готовый продукт может задерживаться в зоне помола. Это является негативным эффектом и противоречит принципам рациональной организации процесса измельчения [2].

Для своевременного удаления готового продукта из зоны измельчения в измельчительном комплексе предусмотрено использование пневматической выгрузки с воздуходувкой и циклоном.

Таким образом, проведенные исследования установили возможность использования центробежно-ударной мельницы для помола полимерных материалов.

Кроме того, они позволили изучить поведение полимерных материалов при измельчении с помощью удара и оптимизировать конструктивные и технологические параметры этих измельчителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Global Energy crisis -2024. – [Электронный ресурс]. URL: https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis (Дата обращения: 09.10.2024).

2. Селективное измельчение материалов в центробежной мельнице многократного ударного нагружения: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.17.08 / Гребенчук П.С. – Минск. 2011. – 23 с.

3. Чекулаев А.В. Разработка центробежно-ударного оборудования для измельчения полимерных материалов в технологии получения RDF-топлива / А.В. Чекулаев, Э.Л. Бороха, Д.В. Душкевич, В.А. Гомалинский // Нефтегазохимия – 2023: материалы VI Междунар. науч.-техн. форума по хим. технологиям и нефтегазопереаб., Минск, 1–3 ноября 2023 г. – Минск : БГТУ, 2023. – С. 224-227.

УДК 628.3:621.3

Войтов И.В., Штепа В.Н.
(Белорусский государственный технологический университет)
Рожко В.Н.
(ООО «ВИВАЕВ групп»)

СТРУКТУРА ЦИФРОВОГО РЕСУРСНОГО ДВОЙНИКА ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ SCADA-СИСТЕМ

В международном нормативном документе ISO 23247 «Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing». «Digital Twin» (Цифровой Двойник – ЦД) определяется «цифровой моделью конкретного физического элемента или процесса с подключениями к данным, которая обеспечивает конвергенцию между физическим и виртуальным состояниями с соответствующей скоростью синхронизации». В практическом контексте внедрение на производствах таких виртуальных моделей требует очень значительных финансово-материальных затрат на формирование информационной инфраструктуры и специализированное программное обеспечение (ПО) [1].

Решение видится в использовании уже существующих, хоть, как правило, фрагментарно и разрознено работающих на предприятиях, SCADA [2] (Supervisory Control And Data Acquisition), предназначенных для функционирования в реальном времени (приближённо к нему) с выполнением сбора, обработки, отображения и архивирования информации о производстве и его диспетчерском регулировании и контроле. При этом такую систему обосновано поэтапно, минимизируя затраты, развернуть до уровня автоматизированной системы управления (АСУ) и даже информационно-аналитической платформы [3]. Соответственно, можно будет достигнуть требований концепта «неразрушающего внедрения цифровых двойников» исходя из модернизации и реконструкции существующих схем автоматизации обеспечив:

Безаварийность работы уже существующих на предприятиях программно-аппаратных комплексов;

Объединение разнотипных платформ ПО и их аппаратных частей;

Множественное подключение и одновременное использование работающих технических средств;

Значительно меньшие финансовые, временные и кадровые вложения, по сравнению с синтезов цифровых двойников «с нуля».

При этом первостепенной задачей, которую актуально решать на основе ЦД является создание динамических балансов (виртуальных моделей) использования ресурсов промышленных объектов (энергетических, водных и производственных расходных) [3] – цифровых ресурсных паспортов, с дальнейшим прогнозированием развития ресурсоэффективности и экологических рисков [4], возможностью накопления и интеллектуального анализа важной информации в базе знаний; когда сбор данных и управление выполняется через существующую SCADA (рис. 1, 2).

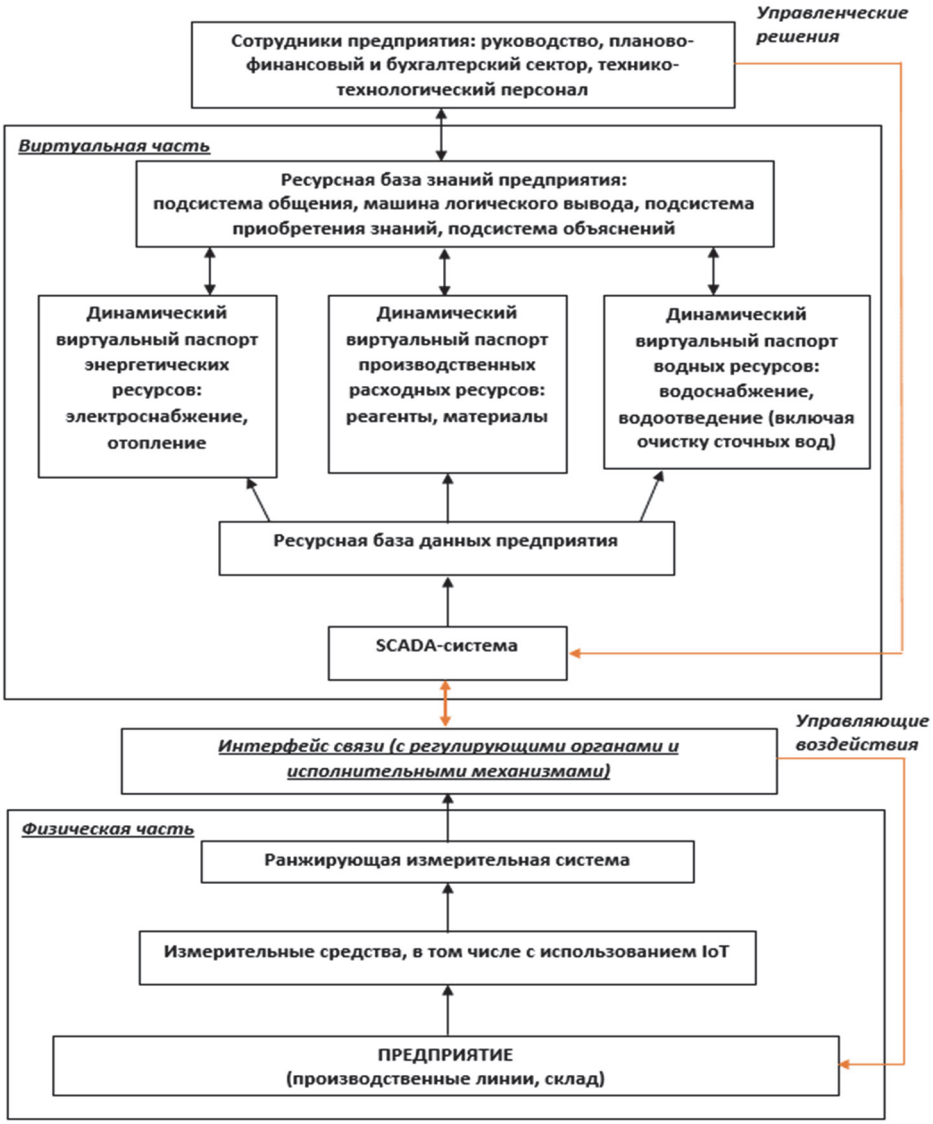


Рисунок 1 – Структура реализации ресурсного цифрового двойника предприятия на базе функционирующей SCADA-системы

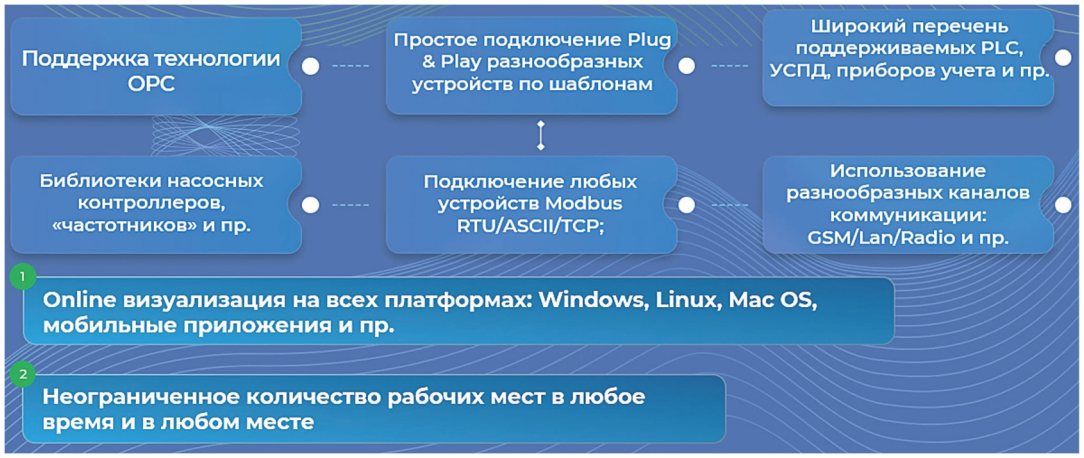


Рисунок 2 – Характеристики реализации ресурсного цифрового двойника предприятия на базе функционирующей SCADA-системы

Предлагаемая схема (см. рис. 1) позволяет поэтапно создавать функциональные и востребованные специалистами предприятий продуктовые решения, которые пошагово трансформируются в ЦД:

1. Надстройка над SCADA ресурсной базы данных (визуализация информации) – с интеграцией информационных потоков от разрозненных SCADA в единый информационно-технологический канал;

2. Формирование на основе ресурсной базы данных динамических виртуальных паспортов технологических процессов (энергетического, производственно расходного, водного) [5] и обеспечение единой аналитической обработки ранее децентрализованной информации;

3. Преобразование виртуальных паспортов в ресурсную базу знаний;

4. Принятие управленческих решений на основе взаимодействия с ресурсной базой знаний и их выполнение через инфраструктуру и функционал SCADA, в том числе и в автоматическом режиме.

Общие результаты такого цифрового моделирования:

– повышение экономической эффективности производства, использующего ресурсы на разных стадиях жизненного цикла продукции;

– снижение затрат на ресурсы, улучшения качества принятия управленческих решений, оптимизация технического обслуживания и ремонта (ТОиР);

– снижение рисков возникновения антропогенных нештатных ситуаций путем прогнозирования и обнаружения мест на производстве их потенциального возникновения;

– предиктивное управление локальными сооружениями очистки сточных вод, с опережающей реакцией на поступления залповых концентраций загрязнителей;

– масштабирование ресурсных цифровых двойников на другие подсистемы;

– повышение квалификации и переподготовка специалистов предприятий с использованием ЦД без отрыва от производства (с применением технологий виртуальной и дополненной реальности).

Заключение. Внедрение цифровых двойников в рамках промышленных объектов целесообразно начать с создания динамических виртуальных ресурсных паспортов базируясь на работающих на предприятиях SCADA-решениях с поэтапной трансформацией последних в общепроизводственные цифровые модели на основе информационно-аналитических платформ. Перспективными дальнейшими исследованиями являются обоснование и синтез математических моделей мониторинга и прогноза производственного использования воды, электроэнергии, тепла, реагентов, материалов (других «расходников») и экологических (санитарно-гигиенических) рисков от потенциальных нештатных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. 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.

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 Беларуси; организационный комитет конференции: А.А. Шепшелев (пред.) и [др.]. – Минск: ИнМи, 2024. – С. 83–84.

4. Штепа, В.Н. Обоснование и схемы использования ранжирующих измерительных систем экологического мониторинга и интеллектуального анализа режимов водоотведения / В.Н. Штепа, Н.Ю. Золотых, С.Ю. Киреев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки: научный журнал. – 2023. – № 1. – С. 94–103.

5. Штепа, В.Н. Экспериментальное и объектно-информационное формирование адаптивного технологического паспорта водоотведения предприятия по производству солода / В.Н. Штепа, А.Б. Шикунец //

Биотехнология: достижения и перспективы развития : сборник материалов VI международной научно-практической online-offline конференции, Пинск, 30 ноября 2023 г. – Пинск : ПолесГУ, 2023. – С. 283-288.

УДК 66.021.3

Mytsko D.Yu., Frantskevich V.S.,
Yang Ya., Zhao X., Sun Zh.
(Belarusian State Technological University)

HYDRODYNAMICS OF LIQUID FLOW IN NOZZLES

This article introduces the classification and characteristics of common nozzles and describes their applications and research value across different industries and fields. It details the world's leading patents for centrifugal nozzles, electromagnetic nozzles, coaxial nozzles, and vortex nozzles, explaining the operating principles and innovations of various inventions while analyzing their potential for improvement [1–4]. Additionally, the article covers the theoretical foundations of the fluid dynamics characteristics of liquid flow in nozzles, including CFD simulation software, principles of fluid mechanics, components of fluid dynamics, numerical simulation methods, and nozzle principles.

The article simulates and analyzes four different centrifugal nozzles: CLN (centrifugal long nozzle), CLNH (centrifugal long nozzle with hole), CShN (centrifugal short nozzle), and CShNH (centrifugal short nozzle with hole) by controlling the water inlet speed. It calculates the nozzle outlet speed using the Bernoulli equation. The water flow speed and tangential speed within the nozzles are actively analyzed, and the pressure loss for each nozzle is calculated. Experiments are also conducted on the four nozzles to verify the accuracy of the simulations. By controlling the water inlet flow for the different nozzles and measuring the inlet and outlet cross-sectional areas, the water inlet and outlet speeds can be determined, allowing for the calculation of pressure loss. By maintaining the same water inlet flow rate for the different nozzles, the atomization spray angles of the four nozzles are compared and measured using a camera, leading to final conclusions. Using Bernoulli's equation define hydraulic pressure of nozzles (1):

$$\Delta p = k \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (1)$$

где k – resistance coefficient; ρ – density of the liquid, kg/m³; v – flow velocity, m/s.

In Figure 1, you can see the variation in hydraulic pressure of the nozzles.

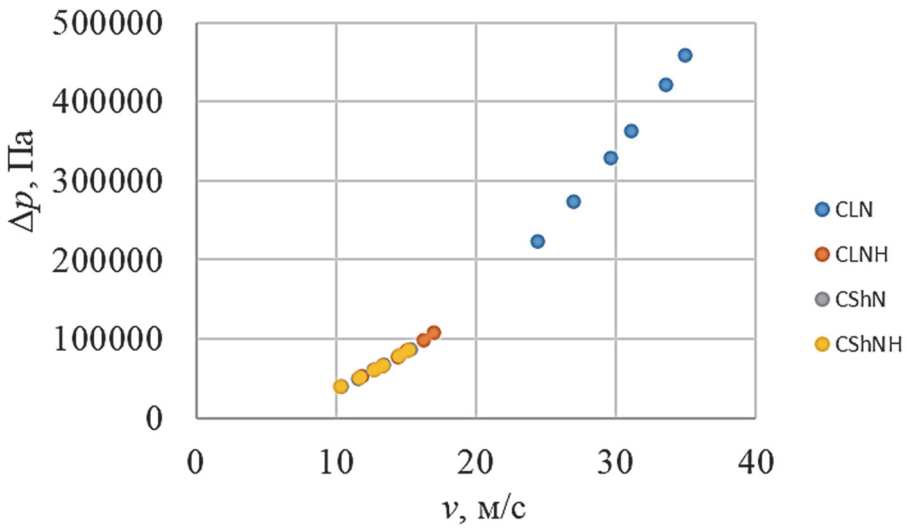


Figure 1 – Hydraulic pressure of the nozzles

Through simulation and active analysis (fig. 1, fig 2), we found that when the water flow rate, nozzle cross-sectional area, and flow rate of the four nozzles are the same at the input and output ends, the water pressure of the CLN is the highest. In comparison with the CLNH, we observed that the hole in the center of the CLNH disperses part of the water pressure, which reduces the spray angle and weakens the atomization capability of the nozzle.

In Figure 2, you can see the variation in water speed within the nozzle.

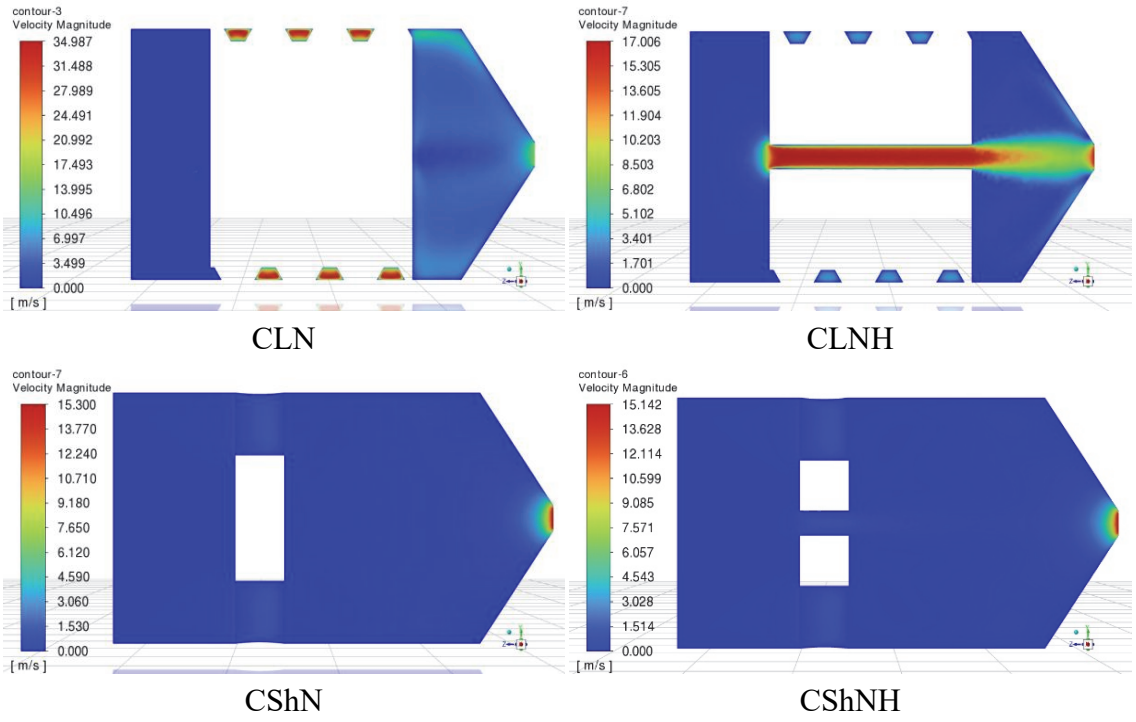


Figure 2 – Water speed in the nozzle

In our analysis of the CShN and CShNH nozzle types, we observed that the presence of a central hole has a minimal impact on the performance of the short nozzle configuration. This finding suggests that the central hole's influence is intricately linked to the specific geometry of the CLN nozzle design.

The CLN nozzle features tangential channels that are inclined at a 60° angle relative to the nozzle's central axis. This unique angle enhances the flow dynamics within the nozzle. The introduction of a central hole provides a pathway that reduces the resistance encountered by the water as it travels through these tangential channels. Specifically, the central hole decreases the resistance coefficients associated with the flow, which in turn leads to a reduction in overall water consumption.

In the case of the CShN nozzle, we found that the water flow rate remains nearly constant despite the presence of the central hole. This stability in flow rate can be attributed to the relatively large cross-sectional area of the channels within the CShN configuration. The ample channel area allows for efficient flow, mitigating any potential reductions in flow that might arise from the central hole.

In Figure 3, you can see the spraying of water from the nozzles.

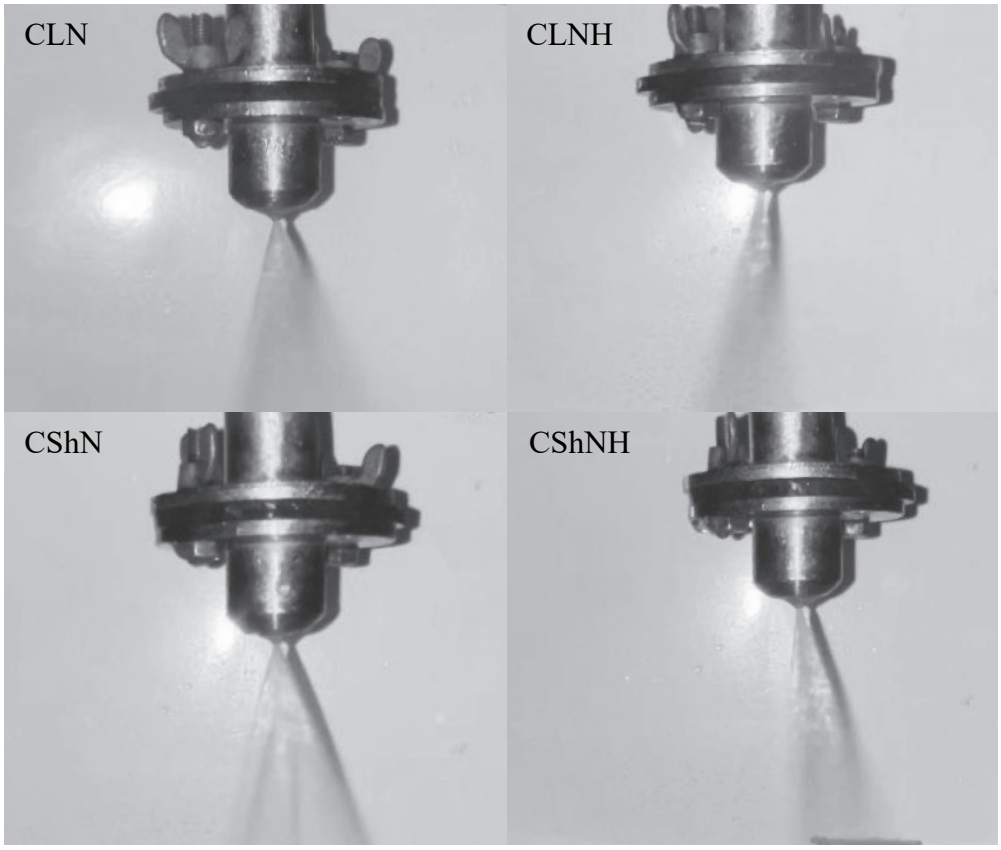


Figure 3 – Spraying of water from nozzles

We conducted laboratory (fig. 3) experiments for four different nozzles. We compared and found through observation that CLN and CShN have the largest spray angle than CLNH and CShNH, due to the high velocity in the tangentially directed channels. The decrease in the angle may be due to the fact that the main liquid flow passes through the central hole and reduces the swirl of the liquid by reducing the flow rate in the tangential channels of the nozzles. The experimental results partially coincide with the simulation results.

REFERENCES

1. Han, H., Wang, P., Liu, R., Li, Y., Wang, J., & Jiang, Y. (2019). Experimental study on atomization characteristics of two common spiral channel pressure nozzles. E3S Web of Conferences, 81, 01022.

2. Ailaboina, A., & Saha, K. (2022). On modeling of Spray G ECN using ROI-based Eulerian-Lagrangian simulation. Frontiers in Mechanical Engineering, 8, 880635.

3. Gao, J., Park, S. W., Wang, Y., Reitz, R. D., Moon, S., & Nishida, K. (2010). Simulation and analysis of group-hole nozzle sprays using a gas jet superposition model. Fuel, 89, 3758–3772.

4. Jain, M., John, B., Iyer, K. N., & Prabhu, S. V. (2014). Characterization of the full cone pressure swirl spray nozzles for the nuclear reactor containment spray system. Nuclear Engineering and Design, 273, 131–142.

UDC 66.021.3

Lankin R.I., Frantskevich V.S.,
Liu Xinyu, Su Hailong, Smiayan V.E.
(Belarusian State Technological University)

DESIGN AND ANALYSIS OF SPHERICAL PACKING WITH HEMISPHERICAL DEPRESSIONS FOR ENHANCED MASS TRANSFER

Mass transfer apparatuses with moving packing are an important class of equipment widely used in various industries such as chemical, petrochemical and food. These apparatuses are designed to perform mass transfer processes, including rectification, absorption, desorption and extraction. They play an important role in the effective separation and purification of substances [1].

In such apparatuses, the mass transfer process occurs between two phases (gas-liquid, liquid-liquid) with a developed interphase surface. The main feature is the presence of a moving packing, which helps to intensify mass

transfer processes by increasing flow turbulence and updating the interphase surface. Uniform distribution of points on the surface of the ball is a critical aspect in the design of a moving packing, as this allows achieving maximum efficiency of phase interaction. Optimization of the shape and size of the packing particles, as well as their location inside the apparatus, contribute to this [2]. There are several main types of mass transfer devices with moving packing, which differ in the type of packing movement (rotary, reciprocating, oscillatory), frame design (column, plate, contact type) and other parameters [3, 4].

The purpose of this work is to consider in detail the design features, operating principle and areas of application of these devices with an emphasis on the importance of uniform distribution of points on the surface of the ball.

The packing for mass transfer processes is a solid sphere, on the surface of which hemispherical depressions are located. The number of depressions depends on the diameter of the ball, measured in millimeters. The depth of these depressions varies from 0.08 to 0.095 of the ball diameter, also in millimeters, and the distance between them is from 0.3 to 0.7 diameters of the depressions [5].

Studies have shown that the proposed packing demonstrates lower hydraulic resistance compared to a smooth ball of the same diameter. In this design, balls with depressions of a patented design [5] were used to increase the contact area of the liquid phase with the gas. An image of this element of the packing is shown in Figure 1.

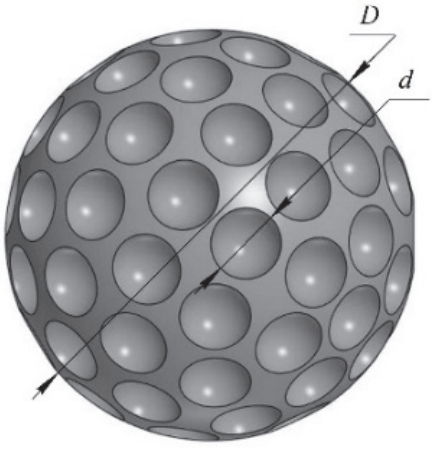


Figure 1 – Ball with dimples

One of the key objectives of the study was to determine a method for uniformly distributing depressions on the surface of a spherical packing. A spherical coordinate system was used for this purpose. The use of this

system allowed us to develop a technique that ensures uniform distribution of depressions on the surface of the spherical element of the packing, which is important for optimally increasing the effective surface area available for mass transfer processes.

To distribute depressions on the surface of the ball, 9 layers were selected, located at equal angles equal to π / 8 radians. This division of layers ensures uniform distribution of depressions vertically and avoids their accumulation in one area. At layer I, the coordinates on which the depressions are located will be written as follows:

$$r = R \quad \theta = 0 \quad \varphi = 0 \tag{1}$$

At layer II and later:

$$r = R \quad \theta = \frac{\pi}{8} \quad \varphi = \frac{\pi}{6} \cdot k, \quad k = 0,...5 \tag{2}$$

$$r = R \quad \theta = \frac{\pi}{4} \quad \varphi = \frac{\pi}{11} \cdot k, \quad k = 0,...10 \tag{3}$$

$$r = R \quad \theta = \frac{3 \cdot \pi}{8} \quad \varphi = \frac{\pi}{14} \cdot k, \quad k = 0,...13 \tag{4}$$

$$r = R \quad \theta = \frac{\pi}{2} \quad \varphi = \frac{\pi}{15} \cdot k, \quad k = 0,...14 \tag{5}$$

$$r = R \quad \theta = \frac{5 \cdot \pi}{8} \quad \varphi = \frac{\pi}{14} \cdot k, \quad k = 0,...13 \tag{6}$$

$$r = R \quad \theta = \frac{3 \cdot \pi}{4} \quad \varphi = \frac{\pi}{11} \cdot k, \quad k = 0,...10 \tag{7}$$

$$r = R \quad \theta = \frac{7 \cdot \pi}{8} \quad \varphi = \frac{\pi}{6} \cdot k, \quad k = 0,...5 \tag{8}$$

$$r = R \quad \theta = \pi \quad \varphi = 0 \tag{9}$$

The analysis in the Cartesian coordinate system showed that the special arrangement of the hollows on the surface of the spherical packing increases the total surface area compared to the smooth sphere. This is due to the fact that the hollows create an additional area available for interaction between phases in such mass exchangers as absorption, rectification and extraction.

Mathematical modeling in the Cartesian coordinate system made it possible to quantify the increase in the effective surface area, achieved thanks to the proposed design of the nozzle with a special location of the hollows. This increase in surface area is an important factor that contributes to an increase in the intensity and efficiency of mass exchange processes in industrial devices using this type of packing.

Dependence for determining the area of the hollows on the surface of the spherical element of the nozzle is as follows:

$$S_O = \pi r^2 \left(1 - \frac{r}{R}\right) \cdot n \tag{10}$$

The total area of the surface of the ball will be determined by equation:

$$S_{tot} = 4\pi R^2 + \pi r^2 \left(1 - \frac{r}{R}\right) \cdot n \tag{11}$$

This dependence will be taken into account in the future in the study of the processes of mass exchange. The ball with these parameters was developed and printed on a 3D printer. With its help, experiments were conducted to determine the thickness of the water film on a single element, which is important for mass sharing processes. The experiment consisted in weighing the ball before and after it dives into the liquid.

During a series of tests, the average difference in the mass of the ball before and after immersion was 2.89 grams. Using this mass and knowing the density of water (ρ = 1000 kg/m³), we can calculate the volume of the fluid remaining on the surface of the ball (the so -called film).

The thickness of the film δ was calculated as follows: by applying equation (10), we determined the total area of the surface of the ball, which was S_{tot} = 7530.96 mm². Using the volume of the fluid and the surface area of the ball, we calculated the thickness of the water film δ_c, which remained on the ball after diving into the liquid. For a ball with a diameter of 40 mm, the film thickness was δ_c = 385 microns.

This study has explored mass transfer apparatuses with moving packing, which play a crucial role in various industries, including chemical, petrochemical, and food processing. The developed packing in the form of a sphere with hemispherical depressions demonstrated advantages in reducing hydraulic resistance compared to a smooth surface, thereby enhancing the efficiency of mass transfer processes.

The use of a spherical coordinate system for the uniform distribution of depressions on the surface of the sphere facilitated the optimization of the contact area between phases. This research confirmed that the proper arrangement of depressions contributes to an increase in the effective surface area, which in turn intensifies mass transfer processes such as absorption, rectification, and extraction.

Experimental data on the thickness of the water film left on the sphere after immersion in liquid underscored the importance of studying this parameter for mass transfer processes. The obtained film thickness of 385 microns for a sphere with a diameter of 40 mm highlights the significance of gas-liquid

interaction, which should be considered when designing more efficient absorption units.

Overall, the findings of this research open new avenues for optimizing packing designs and can be applied to further investigations in the field of mass transfer, ultimately leading to improvements in the purification and separation processes within industrial applications.

REFERENCES

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 2005. – 752 с.

2. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. – М.: Химия, 1995. – 400 с.

3. Maćkowiak J. Fluid Dynamics of Packed Columns. Principles of the Fluid Dynamic Design of Columns for Gas/Liquid and Liquid/Liquid Systems. – Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. – 355 p.

4. Billet R. Packed Towers in Processing and Environmental Technology. Translated by Fullarton J.W. – Weinheim: VCH, 1995. – 382 p.

5. Насадка для массообменных процессов: полез. модель BY 13477 / В.С Францкевич, Р.И. Ланкин. – Опубл. 20.05.2024

UDC 66.021.3

Liu Xinyu, Lankin R.I., Frantskevich V.S.
(Belarusian State Technological University)

INFLUENCE OF MOVABLE PACKING ON FLOW DYNAMICS IN ABSORPTION SYSTEMS

This paper investigates the influence of movable packing on flow dynamics in absorption systems. With the increasing demand for efficient gas-liquid contact in various industrial applications, movable packing technologies have emerged as a significant enhancement over traditional static packing [1]. This study explores the effects on mass transfer rates, flow uniformity, pressure drop, and liquid hold-up.

Absorption processes are integral to numerous industries, including chemical manufacturing, environmental engineering, and petrochemicals. The efficiency of these processes heavily relies on effective mass transfer between gas and liquid phases [4]. Traditional absorbers typically employ static packing, which can lead to uneven flow distribution and reduced efficiency. In contrast, absorbers with movable packing offer dynamic interactions that enhance performance [2].

Absorption is a process where a gas component is transferred into a liquid phase, often to remove contaminants or recover valuable materials. The performance of absorption systems is governed by the mass transfer coefficient, which quantifies the efficiency of this transfer [3].

Movable packing consists of packing materials that can shift or flow under the influence of fluid dynamics. Common types include Pall rings and Raschig rings, designed to enhance gas-liquid interaction. The dynamic nature of these packing materials is believed to improve mass transfer rates and overall system performance [1].

Common types include Pall rings, Raschig rings and element of movable packing, the example of packing are showed on figure 1 [1]:



a b c

Figure 1 – Movable packing
a – Raschig ring; b – Pall ring; c – element of movable packing

An experimental column was constructed to compare the performance of absorbers with movable packing against those with static packing.

The column was equipped with various instruments to monitor and control the experimental conditions. These included gas and liquid flow meters, pressure transducers, and temperature sensors, all of which were essential for accurately measuring the performance of the absorption process.

Movable packing materials, such as Pall rings and Raschig rings, were selected for the dynamic packing experiments. These materials were chosen for their ability to enhance mass transfer efficiency due to their design, which promotes better mixing and contact between the gas and liquid phases.

For the static packing experiments, common structured packing was utilized to establish a baseline for performance comparison. The experiments were conducted under controlled conditions, with gas flow rates varying from 10 to 20 m^3/h and liquid flow rates ranging from 1 to 3 m^3/h.

Data on mass transfer coefficients, pressure drops, and flow patterns were collected and analyzed to evaluate the effectiveness of both packing types.

Mass Transfer Coefficients: Movable packing demonstrated significantly higher mass transfer Coefficients values compared to static packing, indicating superior mass transfer efficiency.

Pressure Drops: While static packing exhibited lower pressure drops, movable packing showed higher pressure drops, reflecting its enhanced turbulence and flow dynamics.

Flow Patterns: Static packing often resulted in uneven flow distribution, whereas movable packing provided more uniform flow patterns, reducing dead zones.

The packed tower is mainly composed of the tower frame, the packing and its accessories (defoaming device, liquid distribution device, gas distribution device, packing support device, packing pressing device, etc.) [4].

The packed tower is showed on figure 2.

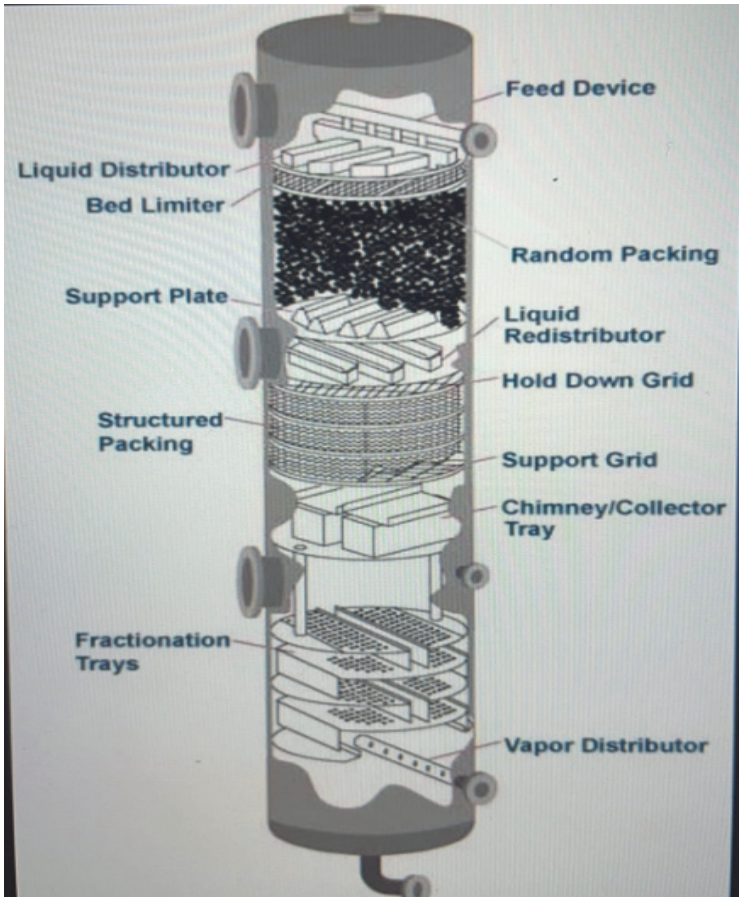


Figure 2 – Packed tower

Packed columns belong to the group of mass-exchange units in which liquid flows under the action of gravity through a disordered or structured packing in the form of a film or drops. They are characterized by a low pressure drop and a large working range of gas velocities.

Absorbers with movable packing are increasingly used due to their high efficiency, simple design and insensitivity to contamination of the gas-liquid phase with solid impurities. They differ from other classes of mass-exchange

units in that the packing elements are in a suspended state and perform chaotic and pulsating movements. The units are used in industry, in particular in the production of mineral fertilizers and in non-ferrous metallurgy. These absorbers can operate under high loads on the gas phase (gas velocity on the full cross-section of the absorber is about 2.5–5.0 m/s), are characterized by high efficiency and have an important property: the movement of the packed bodies practically eliminates the possibility of clogging with sediments [5].

In conclusion, movable packing significantly influences flow dynamics in absorption systems and highlights the advantages of movable packing in absorption systems, particularly its improved mass transfer efficiency and flow uniformity, despite the trade-off of increased pressure drop. As the packed tower is mainly composed of the tower frame, packing, and various accessories, its design plays a crucial role in the overall performance. Future research should focus on optimizing packing designs and exploring long-term operational impacts to further enhance the effectiveness of absorption technologies.

REFERENCES

1. Mackowiak, J. (2010). Fluid Dynamics of Packed Columns. Springer.
2. Górak, A. & Mersmann, A. (2009). Principles of Fluid Dynamics in Packed Columns. Technical University of Dortmund.
3. Huang, Y. & Zhang, R. (2015). Effects of Nozzle Design on Fluidized Bed Performance. Journal of Chemical Engineering.
4. Coulson, J. M. & Richardson, J. F. (2002). *Chemical Engineering Volume 2: Particle Technology and Separation Processes*. Pergamon Press.
5. Ланкин Р.И., Францкевич В.С. Гидравлическое сопротивление абсорбера с подвижной шаровой насадкой / Труды БГТУ. Сер. 2, Хим. технологии, биотехнология, геоэкология. – 2022. – № 2(259). – С. 107–114.

UDC 66.021.3

Su Hailong, Frantskevich V.S., Lankin R.I.
(Belarusian State Technological University)
Moskalev L.N.
(Kazan National Research Technological University)

APPLICATION OF FLUID DYNAMICS OF MOVABLE BALL PACKING IN MASS TRANSFER DEVICES

In today's industrial world, the efficient operation of mass transfer devices is crucial for many production processes. The emergence of movable ball packing has brought new vitality to mass transfer devices, and its unique application in fluid dynamics has become the focus of research.

Removable ball fillers are usually made of materials with specific physical and chemical properties, such as plastics, ceramics or metals. These pellets can move freely in the mass transfer device and their main characteristics include.

First, mobility allows the packing to continuously adjust its position to adapt to different fluid flow conditions. Compared with traditional fixed packing, movable ball packing can better interact with the fluid, increasing the contact area and contact time between the fluid and the packing.

Secondly, the shape and size of the movable ball packing can be designed and adjusted according to specific mass transfer needs. Pellets of different diameters can provide different surface areas and void ratios, thereby affecting mass transfer efficiency and fluid flow resistance.

Furthermore, the movable ball filler has good wear resistance and corrosion resistance, and can operate stably for a long time in harsh working environments. This makes them have broad application prospects in mass transfer devices in chemical industry, petroleum, environmental protection and other fields.

Fluid dynamics is a discipline that studies the laws of fluid motion and plays a key role in mass transfer devices. The mass transfer process usually involves the exchange of materials between the fluid and the solid surface, and the flow state of the fluid directly affects the mass transfer efficiency.

Good fluid dynamics design can ensure that the fluid is evenly distributed in the mass transfer device and avoid local poor flow or short circuits. At the same time, reasonable fluid flow can reduce boundary layer resistance and increase mass transfer coefficient, thereby enhancing the mass transfer effect.

In addition, fluid dynamics can also affect the energy consumption of mass transfer devices. By optimizing fluid flow and reducing fluid flow resistance, the energy required to pump fluid can be reduced, achieving the goal of energy saving and consumption reduction.

The movable ball packing is constantly moving under the action of fluid. This movement makes the flow of fluid in the packing layer more complex and disordered. The turbulent flow of fluid increases the contact opportunities between the fluid and the packing surface, breaks the laminar flow state of fluid flow in traditional fixed packing, and promotes the diffusion and transfer of materials.

For example, in the gas absorption process, the movable ball packing (figure 1) can fully mix the gas and the absorption liquid, increase the solubility of the gas in the absorption liquid, and thus enhance the absorption effect. In the distillation process, the movable ball packing can promote the contact and mass transfer between the gas and liquid phases, and improve the separation efficiency.



a b

Figure 1 – Mass transfer device packing balls:
a – porous ceramic filled balls; b – chemical packing balls

The movement of the movable ball packing can continuously update the contact interface between the fluid and the packing surface, reducing the boundary layer resistance during the mass transfer process. The boundary layer is a thin area between the fluid and the solid surface, where the fluid flow rate is low and the mass transfer resistance is large. The movement of the movable ball packing can destroy the stability of the boundary layer, making the boundary layer thinner, thereby reducing the mass transfer resistance and improving the mass transfer efficiency.

In addition, the shape and size of the movable ball packing will also affect the mass transfer efficiency. Smaller ball packing has a larger surface area and porosity, which can provide more mass transfer interfaces, thereby improving mass transfer efficiency. However, small ball packing will also increase fluid flow resistance, so there is a trade-off between mass transfer efficiency and fluid flow resistance.

The fluid dynamics of the movable ball packing makes the flow resistance of the fluid in the packing layer relatively small. This is because the movable ball packing can automatically adjust its position under the action of the fluid, forming a smoother flow channel and reducing the turbulence and eddy current of the fluid.

Reducing fluid flow resistance can reduce the energy required to pump the fluid, thereby achieving the goal of energy saving and consumption reduction. In large-scale industrial production, energy saving and consumption reduction are of great significance for reducing production costs and improving corporate competitiveness.

In some mass transfer processes, the fluid may contain solid particles or impurities, which are easy to accumulate in the packing layer and cause blockage. The movement of the movable ball packing can prevent the accumulation of solid particles and impurities and keep the packing layer unobstructed.

When solid particles or impurities enter the packing layer, the movement of the movable ball packing can push them to the edge of the packing layer or out of the packing layer, thus avoiding blockage. In addition, the surface of the movable ball packing is usually smooth and not easy to absorb solid particles and impurities, which also helps to prevent blockage.

In chemical production, mass transfer devices are widely used in distillation, absorption, extraction and other processes. The application of movable ball packing in these processes can improve mass transfer efficiency, reduce energy consumption and improve product quality.

For example, in a distillation tower, movable ball packing can replace traditional plate tower packing or packed tower packing to improve distillation efficiency. The fluid dynamics of movable ball packing enable better contact and mass transfer between the gas and liquid phases, thereby achieving more efficient separation.

In the absorption tower, the movable ball packing can enhance the mass transfer effect between the gas and the absorption liquid and improve the absorption efficiency. The movement of the movable ball packing can make the absorption liquid fully distributed in the packing layer, increasing the contact area and contact time between the gas and the absorption liquid.

In the field of environmental protection, mass transfer devices are mainly used in processes such as waste gas treatment and wastewater treatment. The application of movable ball packing in these processes can improve the removal efficiency of pollutants and reduce treatment costs.

For example, in the process of waste gas treatment, the movable ball packing can enhance the mass transfer effect between gas and absorbent, and improve the removal efficiency of harmful substances in waste gas. The movement of the movable ball packing can make the absorbent fully distributed in the packing layer, increasing the contact area and contact time between gas and absorbent.

In the process of wastewater treatment, movable ball fillers can improve the treatment efficiency of bioreactors and reduce wastewater treatment costs. The movement of movable ball fillers can allow microorganisms to fully grow and reproduce in the filler layer, increase the contact opportunities between microorganisms and wastewater, and improve biodegradation efficiency.

The fluid dynamics application of movable ball packing has brought new opportunities for improving the performance of mass transfer devices. By strengthening the mass transfer process, improving mass transfer efficiency, reducing energy consumption and preventing blockage, movable ball packing has broad application prospects in the fields of chemical industry, petroleum, environmental protection, etc.

With the continuous advancement of science and technology and the in-depth study of mass transfer processes, the design and application of movable ball packing will continue to be optimized and innovated. In the future, movable ball packing is expected to play an important role in more fields and contribute to the sustainable development of industrial production.

REFERENCES

1. Mass Transfer Process and Equipment, author: Jia Shaoyi and Chai Chengjing, Beijing: China Architecture & Building Press, published in December -1997. Page No 1- 246[12] Jia Shaoyi.Chai Chengjing. China Architecture & Building Press [EB/OL]. 1997-121.

2. Guidelines for Chemical Supervision of Thermal Equipment in Power Infrastructure Construction DLT 889-2004

3. From analytical chemistry to analytical materials science (Analytical Service of the Institute of High-Temperature Electrochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences) [J]. Strekalovskii VN, Vovkotrub EG Journal of analytical chemistry. 2009, Issue 10

4. An kit Ada said, designing site specificity in theme chemical cargo release of small molecules, J. AM. Chem. Soc. 2023.

5. High yield fabrication of fluorescent nanodiamonds[J]. Jean-Paul Boudou; Patrick A Curmi; Fedor Jelezko; Joerg Wrachtrup; Pascal Aubert; Mohamed Sennour; Gopalakrischnan Balasubramanian; Eric Gaffet Nanotechnology.

УДК 658.567.1:66.078.5

Павлечко В.Н., Францкевич В.С.
(Белорусский государственный технологический университет)
Шалухо Ю.И.
(ОАО «Крион»)

ОСОБЕННОСТИ ЗАПОЛНЕНИЯ ЕМКОСТИ ФИРМЫ CARBONSAN ЖИДКИМИ ПРОДУКТАМИ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА

Открытое акционерное общество «Крион» является специализированным предприятием по выпуску продуктов разделения воздуха: кислорода, азота, аргона как в жидком, так и в газообразном состоянии, а также пищевых и технических газовых смесей. Его первые мощности были введены в действие в 1956. С тех пор реконструкция старых и ввод новых мощностей, совершенствование технологического процесса, применение новых конструктивных решений, направленных на модернизацию производства и энергосбережение, позволяли постоянно наращивать объёмы и расширять ассортимент выпускаемой продукции.

Сегодня общество полностью удовлетворяет потребности экономики РБ в продуктах разделения воздуха, которые широко применяются в различных отраслях экономики республики: металлургии, машиностроении, нефтехимической отрасли, медицине, сельском хозяйстве, атомной энергетике, ракетной технике, для охлаждения лазеров при различных исследованиях в термостатических условиях, для автогенно-сварочных работ, создания защитной инертной среды и др.

Продукты разделения воздуха отгружаются в баллоны различной вместимости, цистерны, в том числе в передвижную горизонтальную емкость фирмы CARBONSAN.

При наполненииПри выполнении расчетов потерь жидких продуктов разделения воздуха приняты во внимание следующие сведения о емкости:

расчетная масса пустой емкости $G_{пе}$ = 65000 кг;

вместимость емкости $V_{пе}$ =254,42 м^3;

коэффициент заполнения емкости жидкими криопродуктами $K_з$ = 0,9;

материал внутренней оболочки емкости – 12Х18Н10Т;

масса внутренней оболочки емкости $G_{во}$ = 26000 кг.

Система заполнения емкости криопродуктами состоит из трубопроводов внутренним диаметром $d_{в2}$ = 40 мм, наружным диаметром $d_н$ = 50 мм, длиной L = 5 м.

Первоначально давление в емкости снижается до атмосферного и часть криопродукта выводится из нее. Система заполнения присоединятся к емкости, в которую вводится необходимое количество криопродукта. Часть криопродукта теряется из системы при ее заполнении и после отсоединения от емкости.

Расчеты выполнены при наполнении теплой (20^{o}C) и захоложенной емкости.

Теплофизические свойства криопродуктов заимствованы из литературных источников [1–4].

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расход жидких криопродуктов при наполнении емкости

Наименование показателя	Кислород		Азот		Аргон	
	теплая емкость	холодная емкость	теплая емкость	холодная емкость	теплая емкость	холодная емкость
Температура в емкости, К (°С)	103 (–170)		88 (–185)		98 (–175)	
Масса жидкого криопродукта в емкости $G_{жк}$, кг	21000		1800		2100	
Масса пара криопродукта в емкости $G_{пек}$, кг	61		15,95		136,232	

Окончание таблицы 1

Наименование показателя	Кислород		Азот		Аргон	
	теплая емкость	холодная емкость	теплая емкость	холодная емкость	теплая емкость	холодная емкость
Масса криопродукта на испарение в емкости $G_{ки}$, кг	1027,41	53,035	1191,0	19,885	1402,63	30,677
Масса криопродукта при испарении в системе заполнения $G_{кС}$, кг	7,965		4,75		10,877	
Масса криопродукта в системе заполнения $G_{кС}$, кг	6,71		4,75		8,315	
Масса пара криопродукта до заполнения $G_{пнач}$, кг	33,275		29,125		41,544	
Расход криопродукта, кг	22069,8	21095,43	19191,80	18020,7	22517,195	21145,23
Относительные потери криопродукта %	5,094	0,45	6,21	0,115	7,2	0,692

Потери криопродуктов при наполнении охлажденной емкости в несколько раз меньше, чем при наполнении теплой емкости. Следовательно, криопродукт целесообразно вводить в предварительно охлажденную емкость.

Охлаждение емкости до отрицательных температур может быть осуществлено двумя способами:

1) при использовании дополнительной холодильной установки;

2) при испарении некоторого количества криопродукта.

В первом случае необходимо использовать холодильное оборудование и некоторое количество энергии и охлаждающей воды на выработку холода. Расходы конструкционных материалов для изготовления холодильной установки. Расходы воды и энергии для привода холодильной машины не конкретизированы.

Во втором случае теряется некоторое количество криопродукта в результате испарения. Экономическая целесообразность применения указанных выше способов не рассчитывалась из-за нерегулярности наполнения емкости CARBONSAN криопродуктами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гельперин, Н.И. Справочник по разделению газовых смесей методом глубокого охлаждения / Н.И. Гельперин – М.: – Госхимиздат, 1963. – 393 с.

2. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Л.: Химия, 1976. – 552 с.

3. Малков, М.П. Справочник по физико-техническим основам криотехники / М.П. Малков и др. – М.: – Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.

4. Епифанова, В.И. Разделение воздуха методом глубокого охлаждения. Технология и оборудование. Т. 1. Термодинамические основы разделения воздуха, схемы и аппараты воздухоразделительных установок / В.И. Епифанова – М.: Машиностроение, 1973. – 468 с.

УДК 541.18.045:66.0

Калишук Д.Г.
(Белорусский государственный технологический университет)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ ПЕРВИЧНОГО ГРЕЮЩЕГО ПАРА В ВЫПАРНЫХ УСТАНОВКАХ

Важнейшим фактором, определяющим интенсивную, устойчивую и высокоэффективную работу выпарной установки (ВУ), является оптимальное значение полезной разности температур $\Delta t_{\text{пол}}$, К. Величина $\Delta t_{\text{пол}}$ в первую очередь зависит от температуры первичного греющего пара в греющей камере выпарного аппарата t_D, К, и температуры кипения раствора $t_{\text{кип}}$, К. Значение t_D рассчитывают, принимая во внимание конструкцию и принцип действия оборудования, по следующим формулам [1]:

– для выпарных аппаратов с естественной циркуляцией раствора и кипением его в зоне нагрева (в трубах греющей камеры)

$$t_D = \Delta t_{\text{пол}} + t_{\text{кд}} + \left(\Delta' + \Delta'' + \Delta'''\right); \quad (1)$$

– для выпарных аппаратов с естественной циркуляцией раствора и вынесенной зоной кипения, а также для выпарных аппаратов с принудительной циркуляцией раствора

$$t_D = \Delta t_{\text{пол}} + t_{\text{кд}} + \left(\Delta' + \Delta''' + 0{,}5\Delta t_{\text{пер}}\right); \quad (2)$$

– для прямоточных плёночных выпарных аппаратов

$$t_D = \Delta t_{\text{пол}} + t_{\text{кд}} + \left(\Delta' + \Delta'''\right); \quad (3)$$

где $t_{\text{кд}}$ –температура вторичного пара в конденсаторе ВУ соответственно, К; Δ', Δ'' и Δ''' –физико-химическая, гидростатическая и гидравлическая депрессии соответственно, К; $\Delta t_{\text{пер}}$ – температура перегрева раствора в греющей камере, К.

При расчётах прямоточных выпарных аппаратов пленочного типа величину физико-химической депрессии Δ' рекомендуют принимать для средней в аппарате концентрации раствора [1].

Суммарную полезную разность температур для прямоточной многокорпусной выпарной установки (МВУ) $\Delta t_{\text{полΣ}}$, К, вычисляют, используя зависимость [1]

$$\Delta t_{\text{полΣ}} = \sum_{i=1}^{n} \Delta t_{\text{пол}i}, \tag{4}$$

где n – число корпусов МВУ; $\Delta t_{\text{пол}i}$ – полезная разность температур в i-ом корпусе МВУ.

С использованием выражения (4) формулы для расчёта температура первичного греющего пара в первом корпусе МВУ t_{D1}, К, принимают вид:

– для МВУ с выпарными аппаратами с естественной циркуляцией раствора и кипением его в трубах греющей камеры

$$t_{D1} = \Delta t_{\text{полΣ}} + \left(\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^{'} + \sum_{i=1}^{n} \Delta_i^{''} + \sum_{i=1}^{n} \Delta_i^{'''} \right) + t_{\text{конд}}; \tag{5}$$

– для МВУ с выпарными аппаратами с естественной циркуляцией раствора и вынесенной зоной кипения, а также с выпарными аппаратами с принудительной циркуляцией раствора

$$t_{D1} = \Delta t_{\text{полΣ}} + \left(\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^{'} + \sum_{i=1}^{n} \Delta_i^{'''} + 0{,}5 \sum_{i=1}^{n} \Delta t_{\text{пер}i} \right) + t_{\text{конд}}; \tag{6}$$

– для МВУ прямоточными плёночными выпарными аппаратами

$$t_{D1} = \Delta t_{\text{полΣ}} + \left(\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^{'} + \sum_{i=1}^{n} \Delta_i^{'''} \right) + t_{\text{конд}}, \tag{7}$$

где $\Delta_i^{'}$, $\Delta_i^{''}$ и $\Delta_i^{'''}$ – физико-химическая, гидростатическая и гидравлическая депрессии в i-ом корпусе МВУ соответственно, К; $\Delta t_{\text{пер}i}$ – температура перегрева в i-ом корпусе МВУ; $t_{\text{конд}}$ – температура вторичного пара в конденсаторе МВУ, К.

Из приведенных уравнений следует, что температура первичного греющего пара и, соответственно, его давление зависят от величин:

– полезной разности температур (суммарной полезной разности температур);

– температуры вторичного пара в конденсаторе установки;

– депрессий;

– при использовании аппаратов с вынесенной зоной кипения – от температуры перегрева раствора;

– для МВУ – от числа корпусов.

Температура вторичного пара в конденсаторе зависит от давления в нём $P_{кд}$. В однокорпусных ВУ в обычно $P_{кд}$ равно атмосферному. При выпаривании нетермостойких растворов, а также при использовании в качестве первичного греющего пара низкопотенциального утилизируемого тепла давление $P_{кд}$ может быть ниже атмосферного. В прямоточных МВУ $P_{кд}$ устанавливают меньшим, чем атмосферное, для создания перепадов давлений и температур в корпусах, необходимых для использования вторичного пара в качестве греющего. Величину $P_{кд}$ при разработке выпарных установок задаёт проектировщик.

Значение гидравлической депрессии рекомендуют не рассчитывать, а принимать в пределах от 0,5 до 2 К [1–3].

В соответствии с отечественными стандартами в аппаратах с кипением раствора в зоне нагрева максимальная высота кипятильных труб составляет 5 м. Расчёты показывают, что в вакуумных аппаратах такого типа (давление вторичного пара над раствором от 10 до 80 кПа) гидростатическая депрессия Δ'' находится в пределах от 5 до 21 К. Величина её снижается при повышении давления вторичного пара. В выпарных аппаратах, работающих под атмосферным и повышенным давлением значение этой депрессии не превышает 3 К. В МВУ, как правило, под давлением ниже атмосферного работает только последний корпус. Поэтому при предварительных расчётах, осуществляемых с целью выбора параметров первичного греющего пара можно принять:

1) для однокорпусных ВУ, работающих под атмосферным давлением Δ'' = 3 К;

2) для вакуумных однокорпусных ВУ Δ'' определяют в зависимости от давления вторичного пара над раствором;

3) для МВУ для их последнего корпуса Δ_n'' – по указания п. 2 настоящего перечисления, для остальных корпусов – Δ_i'' = 3 К.

В результате анализа большого массива расчетов выяснено, что в аппаратах с вынесенной зоной кипения значение температуры перегрева $\Delta t_{пер}$ ($\Delta t_{пер i}$) в большинстве случаев находится в пределах от 2 до 4 К.

Величину физико-химической депрессии Δ' (величины физико-химических депрессий Δ_i') для аппаратов с естественной и принудительной циркуляцией раствора определяют, принимая за расчётный состав раствора его состав на выходе из аппарата.

Практически во всей известной литературе, рассматривающей вопросы процесса выпаривания, в том числе и в фундаментальных монографиях [2, 3], отсутствуют указания и рекомендации по выбору оптимальной величины полезной разности температур $\Delta t_{пол}$. Косвенным

путем, задавшись приведенной в пособии [4] величиной плотности теплового потока в выпарном аппарате (например, для аппаратов с естественной циркуляцией – от 20 до 50 кВт/м^2) и приближенным значением коэффициента теплопередачи от греющего пара к раствору, можно ориентировочно определить $\Delta t_{\text{пол}}$.

В руководящем техническом материале, регламентирующем расчеты выпарных аппаратов с естественной циркуляцией [5], приведена информация о минимальной полезной разности температур в них $\Delta t^*_{\text{пол}}$, К, при которой обеспечивается нормальную работу ВУ. Величина $\Delta t^*_{\text{пол}}$ зависит от ряда факторов: высоты кипятильных труб, давления вторичного пара над кипящим раствором, суммарного коэффициента местных сопротивлений циркуляционного контура. На стадии предварительных расчётов можно принять значение минимальной полезной разности температур с запасом, игнорируя влияние перечисленных ранее факторов, а именно $\Delta t^*_{\text{пол}}$ = 19,5 К.

Учитывая результаты анализа влияния различных факторов на расчётное значение температуры первичного греющего пара, можно получить упрощенные зависимости для определения его величины, основанные на уравнениях (1–3, 5–7).

Например, для однокорпусной ВУ, работающей под атмосферным давлением и включающей выпарной аппарат с естественной циркуляцией раствора и кипением его в зоне нагрева, можно принять: $t_{\text{кд}}$ = 373 К; $\Delta t_{\text{пол}}$ = 20 К; Δ'' = 3 К; Δ''' = 1 К. Тогда на основании уравнения (1) ориентировочное значение температуры первичного греющего пара вычисляется

$$t_D = 397 + \Delta'. \qquad (8)$$

Зависимость (8) также пригодна для расчёта ориентировочного значения t_D в однокорпусной атмосферной ВУ с аппаратом с вынесенной зоной кипения при $\Delta t_{\text{пер}}$ = 3 К.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Химия, 1973. – 751 с.

2. Таубман, Е. И. Выпаривание / Е. И. Таубман. М.: Химия, 1982. – 328 с.

3. Перцев, Л. П. Трубчатые выпарные аппараты для кристаллизующихся растворов / Л. П. Перцев, Е. М. Ковалёв, В. С. Фокин. – М.: Машиностроение, 1982. – 136 с.

4. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г. С. Борисов и [др.]. Под ред Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

5. РТМ 26-01-104-77. Аппараты выпарные с естественной циркуляцией и кипением раствора в трубах. Метод теплового и гидравлического расчета.

УДК 621.926

Пыкавая О.А., Боровский Д.Н.
(Белорусский государственный технологический университет)

ВЛИЯНИЕ МЕЛЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОМОЛА В ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Для сверх тонкого помола рационально применять машины, в которых мелющие тела воздействуют на материал с высокой частотой, например, вибрационные мельницы [1].

Вибрационная мельница обычно представляет собой камеру, заполненную загрузкой, состоящей из обрабатываемого материала, среды и специальных обрабатывающих тел (шаров, цилиндриков, стержней, валков, труб и т.п.). Загрузке сообщается посредством периодического вибрационного движения камеры или расположенных в ней специальных поверхностей. В результате возникают относительные движения частиц загрузки, и в зонах их контакта при соударении создаются высокие механические напряжения, приводящие к изменению структуры твердых частиц, а также среды, заполняющей пространство между ними.

В качества объекта исследований была выбрана лабораторная вибрационная мельница (рисунок 1). В стаканы засыпали измельчаемый материал и помещали мелющий тела. Опыты проводились при фиксированной частоте вращения выходного вала 1470 мин$^{-1}$. При этом продолжительность однократного помола была 1 мин, 3 мин и 5 мин. Масса измельчаемого продукта был 100 г, 150 г и 200 г.

Для проведения экспериментальных исследований в качестве основного измельчаемого материала был выбран цементный клинкер с размером частиц 3÷5 мм, так как этот материал для мельниц сухого помола является эталонным, а его показатель размолоспособности равен единице. В качестве мелющих тел были использованы шары диаметром 18 мм, цильпебс конический Ø20хØ12х25 и цильпебс цилиндрический Ø40х60 мм (рисунок 2). Исходный продукт загружался в размольный стакан в следующих соотношениях от массы мелющих тел: 1:3, 1:5 и 1:7.

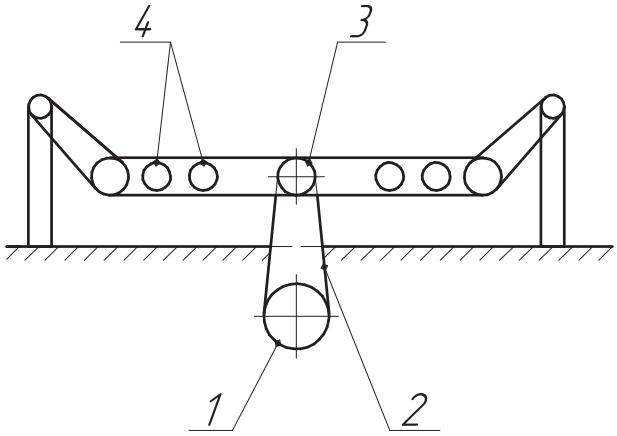


Рисунок 1 − Схема экспериментальной установки
1 − электродвигатель; 2 − ременная передача;
3 − дебалансный вал; 4 − стаканы с цильпебсами



Рисунок 2 – Стальной цилиндрический цильпебс

Целью экспериментальных исследований являлось изучение влияния мелющей загрузки на эффективность помола, которая оценивалась по фракционному составу. Рассев готового продукта осуществлялся на рассеивающей машине Retsch AS 200 с набором сит от 20 мкм до 200 мкм. По полученным данным были построены графики зависимости гранулометрического состава от технологических параметров (рисунки 3 и 4).

При измельчении использовалось три вида мелющих тел, но фиксировалось соотношение масса тела / масса исходного тела. Для цилиндрического цильпебса в помоле участвовало всего одно мелющее тело, которое обеспечивало данные соотношения масс. По итогу данное тело обеспечило большее силовое воздействие на материал и конечный продукт имел размер частиц менее 100 мкм около 55% уже через одну минуту помола (рисунок 3). С увеличением времени помола процент фракции с размером частиц 200 мкм только снижался и через 5 минут помола он составил 10,9%.

Для другой мелющей загрузки (рисунок 3) количество мелющих тел увеличивалось, а вес их уменьшался и снижалось, следовательно, их силовое воздействие. Что отчетливо можно наблюдать на графиках, представленных на рисунке 3.

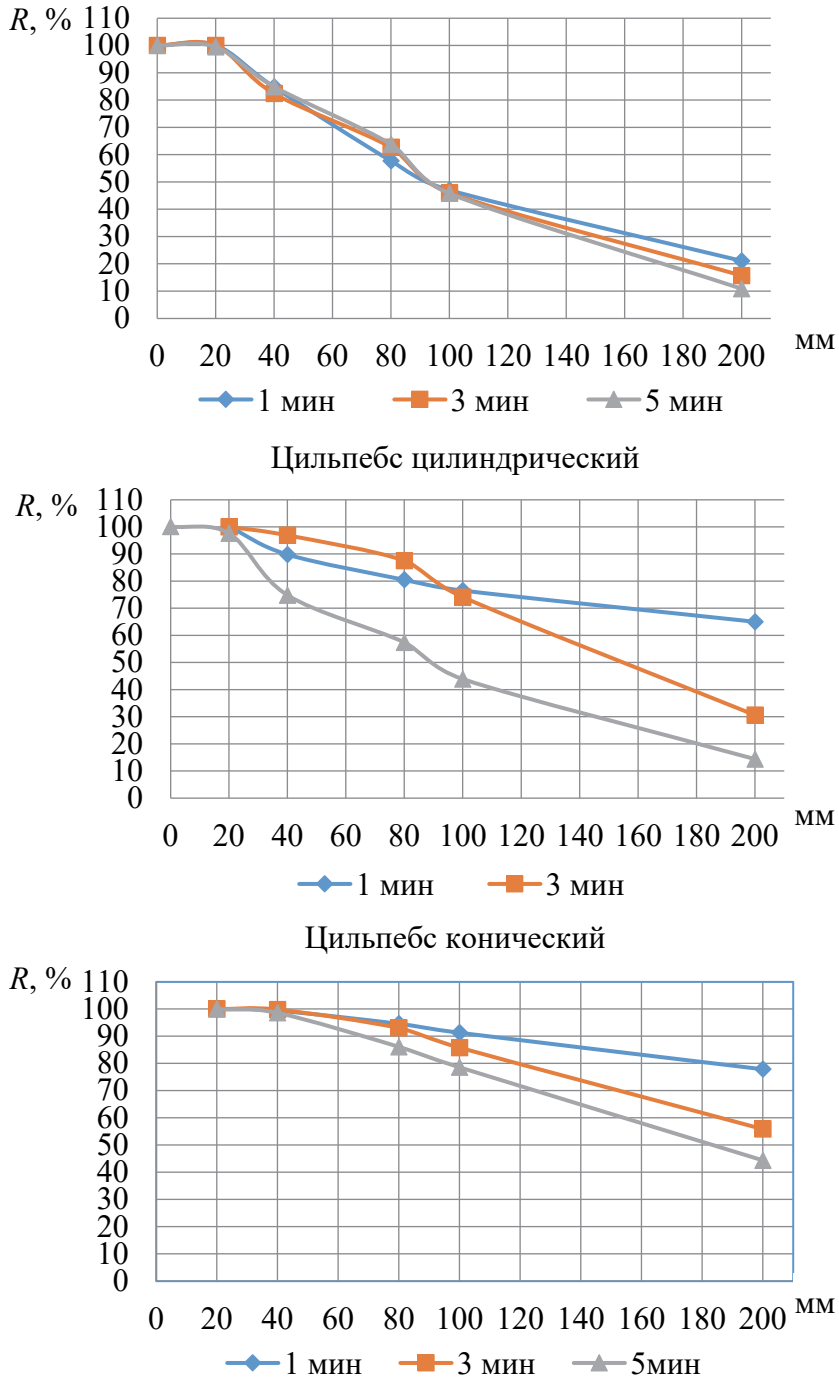
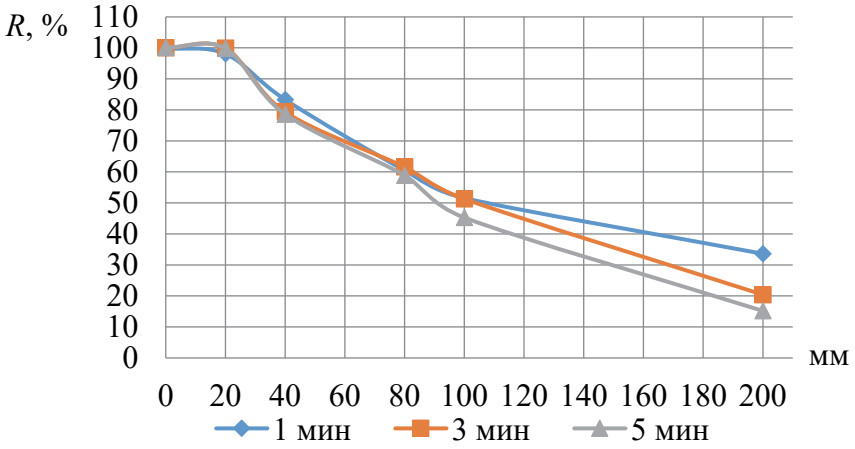


Рисунок 3 – Фракционный состав готового продукта при соотношении массы помольных тел к массе исходного продукта 1:7

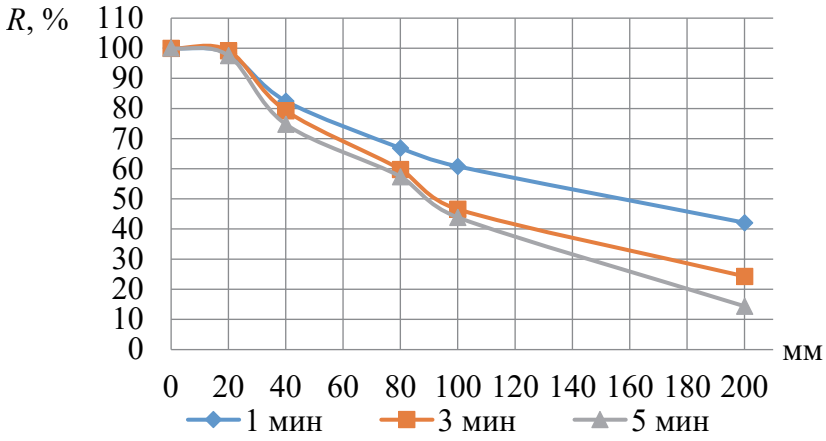
Из графиков видно, что конические тела показали хаотический результат из-за своей формы тела. Но при этом на графике (рисунок 3) четко прослеживается динамика измельчения, через 5 минут фракция с размером частиц 200 мкм составила 16,6%.

Самый худший результат на каждом временном участке показала шаровая загрузка, что вполне логично. Масса одного мелющего тела в 15 раз меньше, чем масса цилиндрического цильпебса. Через 5 минут фракция с размером частиц 200 мкм составила 44,4%.

Целью второй фазы эксперимента являлось оценить влияние степени загрузки исходного материала, т.е. проследить изменение дисперсного состава готового продукта в зависимости от времени помола и от соотношения масса тела / масса исходного тела.



1:5



1:3

Рисунок 4 – Фракционный состав готового продукта для различных соотношений массы помольных тел к массе исходному продукту при использовании цилиндрического цильпебса

По результатам, представленным на графике для цилиндрического цильпебса (рисунок 3) и на графиках (рисунок 4), видно, что с увеличением массы исходного продукта эффективность помола снижается. Это связано с тем, что энергия разрушения затрачивается на большее количества материала и время помола для получения готового продукта одинакового дисперсного состава возрастает. Например, для фракции с размером частиц 200 мкм через 5 минут помола составила 1:7 – 10,9%, 1:5 – 14,4 и 1:3 – 15,2%. Для других мелющих тел была получена аналогичные картины результатов. Данные экспериментальные данные показали, что рационально применять цилиндрический цильпебс с загрузкой исходного продукта в соотношении 1:7.

По результатам работы можно сделать вывод, что эффективность помола в вибрационной мельнице напрямую зависит от мелющей загрузки и степени загрузки помольного объема. Для достижения наилучших результатов необходимо тщательно подбирать этот параметр, учитывать характеристики материала и цели измельчения. Оптимизация мелющей загрузки может значительно повысить производительность и снизить затраты на энергоресурсы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ходаков, Г.С. Физика измельчения / Г.С. Ходаков. – М.: Наука, 1972. – 278 с.

UDC 621.7.044

Shen Yanshang, Borovskiy D.N.
(Belarusian State Technological University)

RESEARCH AND DEVELOPMENT OVERVIEW OF TABLET PRESS

A tablet press is a machine that presses particles or powdered materials in the die hole. Tablet press is mainly used for the production of tablets. With the development of market demand, the application scope of tablet press is more and more wide, no longer simply limited to Chinese and western medicine tablets, more widely used to suppress daily necessities, health food, chemical tablets. Realize high efficiency, low cost tablet press product design has become the main development trend. In domestic pharmaceutical enterprises, medium speed tablet press is still the mainstream equipment, and the feeding mechanism of tablet press is one of the main components [1].

Now, the cam is mostly used as the feeding mechanism, which makes full use of the characteristics of small cam mechanism members, small space

volume and high-speed start stability. Among them, the use of flat disc cam mechanism occupies a considerable proportion, so the study of it is more representative.

Tablet press is widely used in pharmaceutical tablets, which is the core equipment of tablet pressing process, so developed countries have conducted a lot of research on the development of tablet press technology. After the large-scale technical transformation in the past few years, the domestic tablet press is also developing towards high output, standardization and multi-functional development. Chinas rotary tablet press technology level has been greatly improved, but there is still a gap compared with advanced countries, especially some high-grade tablet press in the output, automatic control and other aspects of the gap is relatively large.

At present, there are many kinds of press, according to different classification methods of press has different kinds. The press is divided into single press according to the number of punches. And multi-stamping machine. The multi-punch tablet press is also known as the rotary tablet press. Pictures of single and multi-stamping machine are shown in figure 1 and figure 2.



Figure 1 − Single-punch tablet press

Single stamping sheet machine is mainly composed of die, filling regulating mechanism, feeding mechanism, hopper, pressure regulating mechanism, sheet mechanism, through the cam (or eccentric wheel) linkage mechanism (and similar to punch working principle) of driving up and down die operation, make the upper and lower die produce relative movement to achieve the suppression of the tablet.



Figure 2 − Many-punch tablet press

Multi-stamping sheet machine is mainly composed of working turntable, feeding mechanism, filling regulating mechanism, feeder, scraper, up and down punching guide device and pressure regulating mechanism. The working turntable is composed of three parts: the punching die of the stamping sheet machine is installed on the rotating working plate, which is moved up and down by controlled by the fixed guide rail. The working rotation drives the die to rotate synchronously and rise, and the powder or particulate material is continuously added. The upper die and the lower die are equipped with a pressing wheel, and the material is continuously pressed through the pressing wheel to complete the whole pressing process.

High-speed rotary pressure press has made great progress in output, pressure signal acquisition and other technologies, and the highest output is generally more than 300 000 pieces/h. For example, GZPLS-620 series high-speed rotary tablet press of Beijing Sinopharm Longli Technology Co., LTD., PG 50 series high-speed rotary tablet press of Beijing Aviation Manufacturing Engineering Research Institute, etc. 4. But at present, there are less than 10 domestic manufacturers of high-speed rotary tablet press, and their maximum output can only reach 700 000 pieces/h. And the maximum output of foreign advanced technology has exceeded 1 million pieces / h, in order to increase the output, many foreign tablet machine more and more, more and more digits, now the product models and characteristics of high speed tablet machine produced by some foreign companies are listed in table 1.

Table 1 − Model and characteristics of foreign tablet press products

Production company	Product model	Country	Maximum production (ten thousand/h)	The biggest rush digit capacity	Switch-table speed (r/min)	Prepressed (kN)	Principal pressure (kN)
FETTE	3090I	Germany	113	79	15–120	100	100
FETTE	4090I	Germany	150	122	10–68	160	160
Korsh	XL800	Germany	102	95	5–90	100	100
Courtory	ModulD	Belgium	107	89	−	10	100
Manesty	Xpress700	Britain	101	81	−	100	100

Recently, FETTE (Germany) has improved the rotary tablet press by using a segmented matrix disk instead of traditional dies.

Instead of 47 dies and 47 screws, only 3 segments are used, which provides clear advantages such as:

•high productivity − up to 311 thousand tablets per hour;

•less time spent on changing the product − no need to adjust individual dies;

•reduced cleaning time, since the number of parts is reduced and there are no holes that are difficult to clean;

•lower tablet ejection force - due to reduced friction against the matrix walls;

•5-6 times longer service life due to segments made of high-alloy steel and lower friction forces;

•reduction in product loss up to 50% due to the absence of sharp edges and the presence of a smooth surface of the matrix disk.

Due to its obvious advantages, the presented innovative technology has been successfully implemented in pharmaceutical production.

In recent years, the performance characteristics of tablet presses have significantly improved due to progress in mechanical engineering and electrical engineering. The super-powerful machines that have appeared are capable of producing huge quantities of tablets. The security of tablet presses is becoming increasingly important. For many foreign and domestic companies, an increasingly important criterion in the operation of equipment is ease of cleaning, so many pharmaceutical companies use WiP (Wash in Place) technology, which reduces cleaning time several times.

At present, foreign tablet press technology is developing towards intelligent, flexible and precision. In recent years, the design, production and manufacturing level of domestic tablet press lave been improved, but there is still a big gap compared with foreign countries. The development of domestic tablet machine has a long way to go, requiring continuous efforts to improve the workshop environment, improve tightness, achieve multi-process integration; improve production efficiency, reduce operator contact with drugs

and equipment, optimize the pharmaceutical environment; the control technology connected with the whole tablet production line is the future development trend; in domestic pharmaceutical enterprises, medium speed tablet machine is still: he mainstream equipment, high speed, high efficiency tablet machine is not required by Chinese pharmaceutical enterprises, but the goal of the pharmaceutical industry to improve the efficiency [1, 2].

REFERENCES

1. On the present situation and development trend of tablet press in China. Electromechanical Information / Jiang Hui, Lu Huixia, Jumah Masoud, Chen Qingqing, Zhou Jianping. − Pharmacy Teaching and Research Section, China Pharmaceutical University, Nanjing, Jiangsu, China. – 2010,05. – P. 73–76.

2. Development status and trend of single-punch tablet press / Yang Daan, Zhao Sheng ton, etc. − Precision Forming Engineering, 2011,3 (3). – P. 56–61.

UDC 621.926

Chen Xingye, Borovskiy D.N.
(Belarusian State Technological University)

DEVELOPMENT TREND OF DRUM MILLS

The origin of roller mills can be traced back to ancient times. As early as the Neolithic era, humans began using stones and wooden sticks to grind grains, which can be considered the most primitive form of mills. Over time, mill designs evolved. Mill technology advanced significantly during the Industrial Revolution, and in the early 1800s, the first modern drum mill was introduced, using a metal drum instead of the traditional stone mill. This innovation greatly improved the efficiency and quality of grinding.

At the beginning of the 20th century, as industrialization accelerated, the design and function of drum mills continued to improve. Engineers began to investigate ways to optimise the shape, material and speed of the drum to suit different types of raw materials and product requirements. After the Second World War, the range of applications for drum mills expanded rapidly, from the initial processing of grains to a wide range of industries, including ore processing, chemicals and building materials.

In recent decades, with the development of automation technology and material science, the performance and efficiency of roller mills have made another qualitative leap. The introduction of computer control systems has made the operation of mills more precise and efficient, while the application of new wear-resistant materials has significantly extended the service life of the equipment.

Drum mills (such as rod mills and ball mills) play an important role in the mining and material processing industries. With the advancement of technology and changes in market demand, the future development trend of drum mills is mainly reflected in the following aspects:

1. Technological innovation and intelligence

– Intelligent control: In the future, drum mills will increasingly adopt intelligent control systems to achieve automated operation and real-time monitoring. This will improve production efficiency, reduce labor costs, and reduce the occurrence of human errors.

– High-efficiency materials: The application of new wear-resistant materials will improve the durability and work efficiency of drum mills and reduce maintenance costs.

2. Environmental protection and energy saving

– Green manufacturing: With the increasingly stringent environmental regulations, the design and operation of drum mills will pay more attention to environmental protection, reduce energy consumption and waste emissions. For example, more efficient grinding media and optimized grinding processes are used to reduce energy consumption and improve resource utilization.

– Waste recycling: In the future, drum mills may integrate waste recycling systems to reuse waste generated during the grinding process, further promoting sustainable development.

3. Changes in market demand

– Demand for high-quality products: As the industry's demand for high-quality powder materials increases, drum mills need to continuously improve their crushing accuracy and product quality to meet the high standards of the market.

– Diversified applications: The application areas of drum mills will continue to expand, not only limited to the traditional mining and building materials industries, but will also penetrate into the chemical, pharmaceutical, food and other industries to meet the specific needs of different fields.

4. Large-scale and complete equipment

– Large-scale trend: In order to improve production efficiency, future drum mills will tend to be large-scale, able to handle larger-scale materials and improve overall production capacity.

– Complete equipment solutions: As the market demand for complete equipment increases, drum mill manufacturers may provide more complete solutions, including pre-treatment and post-treatment equipment, to meet customers' one-stop needs.

5. Competition and cooperation

– Industry integration: As market competition intensifies, the drum mill industry may see a trend of integration, and smaller companies may be acquired by large companies to enhance market competitiveness.

– International cooperation: Cooperation between domestic and foreign companies will increase, especially in technology research and development and market expansion, to improve the overall industry's technical level and market share.

Looking ahead, the drum mill market is expected to continue its steady growth trend. By 2030, the global market size will be close to the USD 10 billion mark, and the compound annual growth rate (CAGR) is expected to remain around one percentage point for the next six years. This forecast is based on the analysis of market demand in key regions across the globe, including North America, Europe, Asia Pacific, South America, and the Middle East & Africa.

In terms of product type, the market share of single two-tank and single four-tank is expected to continue to grow, reflecting market demand for high-performance and multi-purpose mills. In terms of applications, the chemical industry will continue to dominate, with growth expected in other applications such as power, agriculture and laboratories.

Notably, the Chinese market is expected to grow at a rate higher than the global average, thanks to domestic companies' investment in technological innovation and product development, as well as national policy support for related industries. In addition, the U.S. and Europe, as mature markets, are also expected to maintain a stable growth trend in the coming years.

With the advancement of industrial automation and intelligence, drum mill technology continues to innovate, and the efficiency and stability of the equipment has been significantly improved. Modern drum mill adopts more efficient transmission system and wear-resistant materials, effectively reducing energy consumption and maintenance costs. At the same time, the application of intelligent control system makes it possible to monitor and adjust the grinding process in real time, thus ensuring the production efficiency and product quality.

In terms of new mill technology, the emergence of equipment such as vertical stirred mills and energy-efficient cylinder roller mills marks the development of grinding technology in the direction of more efficient and energy-saving. Vertical stirred mill improves the precision of crushing force and enhances the selective grinding of minerals through the grinding action mainly supplemented by slight impact action, which is especially suitable for the field of fine grinding. The cylinder roller mill combines the energy-saving effect of roller press, the compact structure of vertical mill and the operational reliability of ball mill, and significantly improves the grinding efficiency by squeezing the ground material for many times.

The competitive landscape of the global drum mill market is becoming increasingly fierce, with major manufacturers consolidating their market

position through technological innovation, market expansion and product diversification. According to QYResearch, the global drum jar mill market reached sales of billions of dollars in 2023 and is expected to double by 2030. In this process, some of the major manufacturers are playing a key role in the growth of the market through their product reach and market share.

The global market is dominated by companies such as Gilson, Ceramic Instruments, Paul O. Abbe, MRC Lab, and Sassuolo Lab. These companies have established a strong brand presence globally through continuous product innovation and market expansion. For instance, Gilson has gained a reputation in the global market for its high-quality drum mill products, which are widely used in a variety of applications such as chemical, power, and agriculture. Ceramic Instruments, on the other hand, has captured a share of the market with its expertise in the field of mills for ceramic materials.

The drum mill market has experienced significant growth over the past few years and is expected to continue this growth in the coming years. Technological advancements, demand for environmental protection and energy conservation, changes in the competitive landscape of the industry, and expansion of application areas are the major factors driving the market. Continuous technological innovation provides a strong impetus for the development of the drum mill market. Modern drum mills effectively reduce energy consumption and maintenance costs by adopting more efficient drive systems and wear-resistant materials. Meanwhile, the application of intelligent control systems makes it possible to monitor and adjust the grinding process in real time, ensuring production efficiency and product quality. The global drum mill market is becoming increasingly competitive, with major manufacturers consolidating their market position through technological innovation, market expansion and product diversification. Meanwhile, SMEs are gradually challenging the market position of traditional giants through technological innovation and market segmentation. In addition, cross-industry competitors, such as electronics and software companies, have begun to enter the mill market, bringing new competitive pressures. The application areas of drum mills are expanding, and in addition to the traditional mining and chemical industries, other application areas such as power, agriculture, and laboratories are also expected to grow. With the development of downstream industries, the demand for drum mills is becoming more and more diversified, which provides a wide scope for further growth of the market.

The future development trend of drum mill will be affected by many factors such as technological innovation, environmental protection requirements, and changes in market demand. Enterprises need to keep up with the pace of industry development and actively carry out technological research and development and market layout to maintain their advantages in competition

Overall, the future development of the drum mill market is promising, but it is also facing challenges such as increasing market competition and rising environmental requirements. Industry participants need to continuously innovate and adjust their business strategies to adapt to the rapid changes in the market and the diversification of customer demands. The government and industry organizations also need to continuously improve policies and regulations to provide a good external environment for the healthy development of the industry.

УДК 622.244

Москалева А.Н., Москалев Л.Н.
(Казанский Национальный Исследовательский
Технологический Университет)
Францкевич В.С.
(Белорусский государственный технологический университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ЭМУЛЬСИЙ ИЗ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ

В настоящее время существует проблема с хранением и транспортировкой многофазной жидкости с сохранением физико-химических свойств эмульсии. Эмульсия – это дисперсная многофазная система состоящая из двух или более несмешивающихся жидкостей, например, вода и нефть, вода и масло [1]. Эмульсия не может быть бесконечно стабильной с точки зрения законов физики-химии, т.е. эта жидкость расслоится и разделится со временем. Поэтому нужно поддержание стабильности на протяжении ее срока эксплуатации, хранения, транспортировки. В зависимости от типа эмульсии при расслоении продукт может стать очень жидким или очень густым, что влияет на потребительские свойства конечного продукта. Это особенно актуально для промышленности, получение битумных материалов, пропиточных композиций, изготовление средств по уходу за кожей, смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов, где многофазные системы широко используются.

Образование эмульсий может происходить при смешивании жидкостей с помощью механических или химических методов в различном оборудовании [2-4]:

1. Механический способ - эмульгирование с помощью гомогенизаторов, мешалок и эмульсоров различных конструкций и т.д.

В гомогенизаторах жидкая смесь продавливается под высоким давлением (до 35 МПа) через отверстия сечением около 10-4 см² или через узкий кольцевой зазор специального клапана.

При использовании коллоидных мельницах жидкость диспергируется при прохождении через зазор между статором и ротором, вращающимся с высокой частотой.

С использование смесителей инжекционного типа и форсунок.

В высокоскоростных мешалках, чаще всего турбинного или пропеллерного типа

Кроме того, диспергирование жидкостей может осуществляться с помощью акустических и электрических устройств.

2. Химический способ - эмульгирование с помощью добавления третьего компонента способствующий стабилизации эмульсий.

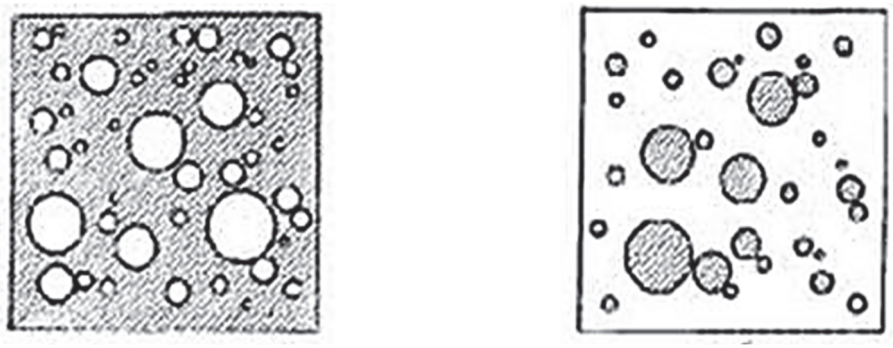
В процессе образования эмульсии происходит разрыв капель дисперсной фазы на более мелкие капли, что приводит к увеличению поверхности контакта между двумя жидкостями [5]. Это приводит к повышению энергии поверхности, что может быть преодолено только за счет наличия поверхностно-активных веществ.

Известно, что все эмульсии классифицируются по двум признакам:

1. *По полярности дисперсной фазы и дисперсионной среды* (рис. 1): масло в воде (М/В) и вода в масле (В/М). Типы и названия эмульсий представлены в таблице 1. Системы эмульсий в зависимости от полярности дисперсной фазы и дисперсионной среды изображены на рисунке.

Таблица 1 – Типы и названия эмульсий

Типы и названия эмульсий	Дисперсная фаза	Дисперсионная среда
Масло в воде (прямые эмульсии)	Масло	Вода
Вода в масле (обратные эмульсии)	Вода	Масло



а б

Рисунок 1 – Типы эмульсий

а – эмульсия типа М/В; б – эмульсия типа В/М.
Заштрихованное поле соответствует воде

Также существуют «множественные» эмульсии – в каплях дисперсной фазы диспергирована жидкость, которая является дисперсионной средой, например, в/м/в или м/в/м.

2. По концентрации дисперсной фазы, различают: разбавленные ($С_{ж1} \leq 0{,}1\%$); концентрированные ($0{,}1 \leq С_{ж1} < 74\%$); высококонцентрированные ($С_{ж1} \geq 74\%$).

Отличительной особенностью концентрированных эмульсий по сравнению с разбавленными является одновременным образованием эмульсий двух типов: М/В и В/М, т.е. при смешивании одинакового количества воды и масла возможно образование эмульсии либо В/М, либо М/В.

Еще одной отличительной особенностью образования концентрированных эмульсий при смешивании двух несмешивающихся чистых веществ равных количеств. Однако такие эмульсии могут быть нестабильными и достаточно быстро расслаиваются, следовательно, диспергирование прекращается. Для стабильности таких эмульсий требуется введение дополнительного компонента (эмульгатора) затрудняющего распад дисперсной фазы. При наличии такого эмульгатора возможно изготовление высококонцентрированных эмульсий, в таких эмульсиях дисперсная фаза находится в состоянии тончайший пленки (ориентировочно 8–10 мкм) между капельками и основной фазой [1]. Однако, при создании устойчивой к распаду дисперсной фазы в эмульсии можно считать ресурсозатратным, так как необходимо добавление третьего компонента.

Таким образом, задачу создания и построения конструкции установки позволяющей удерживать структуру эмульсии без расслоений, добавлении третьего компонента, распада и стабилизации дисперсной фазы считаем актуальной.

На кафедре машин и аппаратов химических производств КНИТУ разработана и построена экспериментальная установка для исследования образования эмульсий из двух и более несмешиваемых жидкостей. Установка состоит из емкости со специальным устройством обора фаз, циркуляционного насоса и патрубков отбора фаз. Одним из основных показателей равномерного отбора фаз из емкости создания эмульсии является условие отбора. Отбор проводится через специальное устройство, в котором имеются отверстия рассчитанные на равноценный и специальный отбор фаз. На рисунке 2 представлен графики зависимости пропускной способности отверстий круглой и некруглой форм от числа Рейнольдса. По графику (рис. 2) видно, что плотность и вязкость жидкости определяют скорость течения через отверстие:

– жидкости с большой плотностью и малой вязкостью текут быстрее, чем жидкости с малой плотностью и большой вязкостью. Кроме того, плотность, поверхностное натяжение жидкости может влиять на стабильность капли и форму ее поверхности;

– скорость и направление движения жидкости влияют на течение через отверстия, т.е. при движении жидкости со скоростью близкой к скорости звука могут возникать волновые явления, а при больших скоростях могут происходить обратные струи и турбулентность.

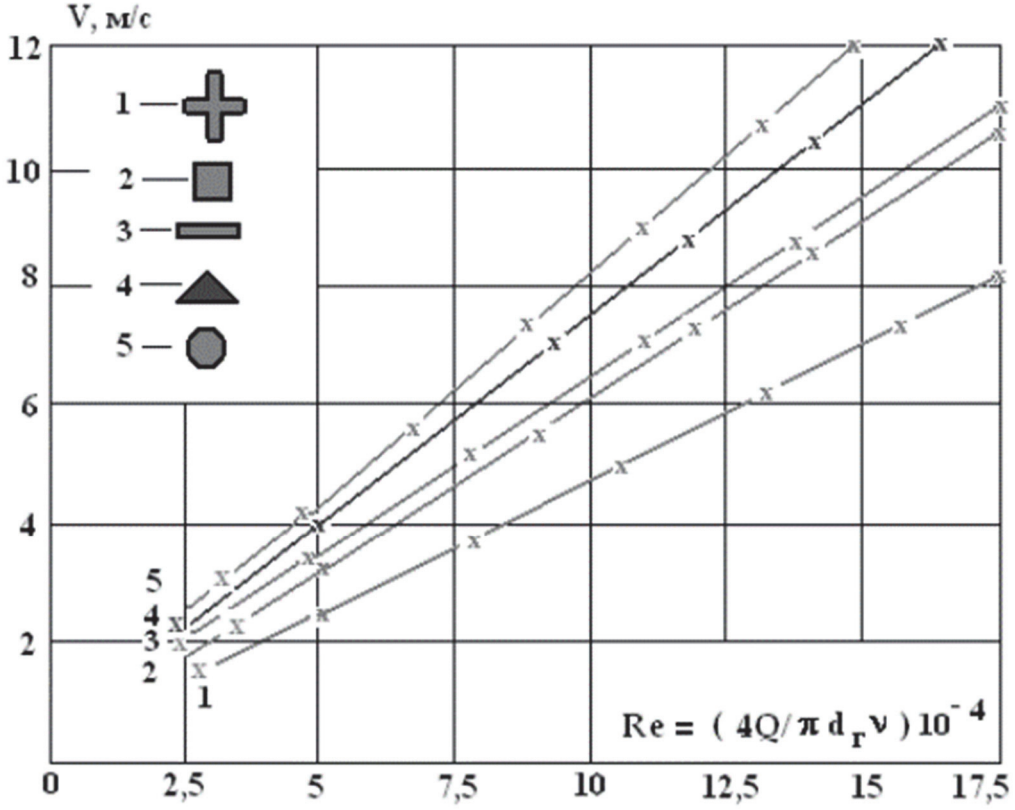


Рисунок 2 – Графики зависимостей пропускной способности отверстий от числа Рейнольдса

ЛИТЕРАТУРА

1. Эмульсии: получение, свойства, разрушение / Сост. Л.В. Кольцов, М.А. Лосева. – Самара, 2017 18 с. Илл.

2. Рагимова А., Рустамова К. Б. Применение полимерных композиционных материалов в конструкциях нефтепромыслового оборудования // Евразийское Научное Объединение. – 2019. – №. 62. – С. 75-78.

3. Захарова И.А., Голышев А.А., Попов В.Л. Проектирование аппаратов для перемешивания и смешения. — Москва: Химия, 2014.

4. Гершман А.М., Голубчикова Н.И., Потапов В.М. Перемешивающие аппараты: проектирование и эксплуатация. – Москва: ИНФРА-М, 2019

5. Л.Н. Москалев, Т.В. Лаптева, Исследование процесса улавливания метилового спирта для снижения его выброса / Научно-технический вестник Поволжья. 2023, в.12, с.94-97

УДК 004.031.4

Белов Д.А.
(ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ IOT ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ОПТИМИЗАЦИИ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В условиях стремительной цифровизации нефтехимической отрасли внедрение Интернета вещей (IoT) является важным шагом к повышению эффективности и устойчивости производства. Настоящая работа исследует применение технологий IoT для мониторинга и оптимизации потребления ресурсов в нефтехимии. Основное внимание уделяется анализу существующих решений, глубокому изучению их влияния на процессы, связанные с управлением ресурсами, а также оценке экономической целесообразности.

Современная нефтехимическая отрасль сталкивается с разнообразными вызовами, включая необходимость повышения эффективности, снижения затрат и соблюдения экологических норм. Эти вызовы открывают новые горизонты для интеграции инновационных технологий, таких как Интернет вещей (IoT). IoT представляет собой сеть взаимосвязанных устройств и систем, которые могут собирать, обмениваться и анализировать данные в реальном времени, что создает условия для оптимизации бизнес-процессов и повышения производительности.

Согласно отчету Международного энергетического агентства (IEA), ожидается, что к 2040 году мировой спрос на нефть и газ будет увеличиваться, что подчеркивает необходимость внедрения технологий, способных улучшить управляемость ресурсами. Основная цель данной статьи – изучить, как IoT может преобразовать процессы внутри нефтехимической отрасли, обеспечивая не только снижение затрат, но и улучшение общей устойчивости и производительности [1].

IoT включает в себя использование датчиков, устройств и программного обеспечения, которые обеспечивают взаимодействие между различными компонентами системы. В нефтехимической отрасли IoT может применяться для мониторинга и управления (рисунок 1):

– процессами переработки нефти и газа;

– состоянием оборудования;

– потреблением электроэнергии и других ресурсов.

Статистические данные внедрения Интернета вещей по профилям, а также возможный прогноз по данным MarketsandMarkets и BIG Research показаны на рисунке 1 ниже [2].



Рисунок 1 – Направления использования Интернета вещей

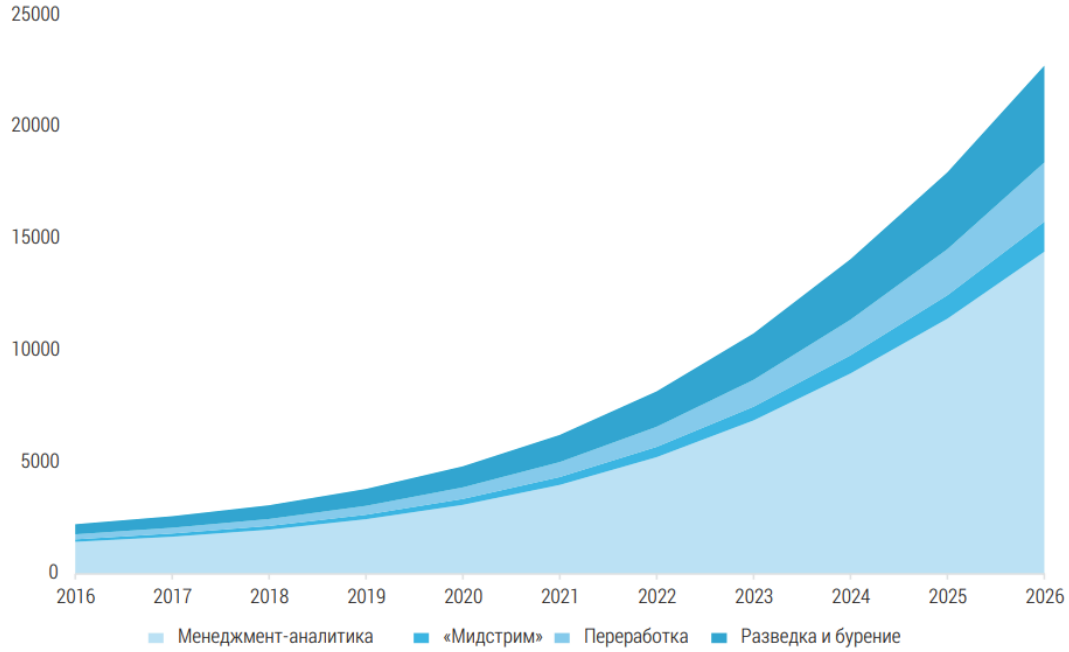


Рисунок 2 – Статистические данные внедрения Интернета вещей по профилям в млн. $

Постоянное отслеживание параметров работы позволяет предотвратить поломки и увеличить срок службы оборудования. Согласно

исследованию McKinsey, режим предиктивного обслуживания, основанный на IoT, может снизить затраты на ремонт и техническое обслуживание на 10–40%.

Системы IoT позволяют проводить анализ больших объемов данных, что в свою очередь помогает оптимизировать технологические процессы. Исследование, проведенное в 2022 году, показало, что внедрение систем IoT в процесс нефтепереработки в среднем снижает энергетические затраты на 15-20% [3].

На рисунке 3 представлена диаграмма «ДО / ПОСЛЕ» внедрения Интернета вещей, на которой наглядно показана эффективность от применения данного блока цифровизации.

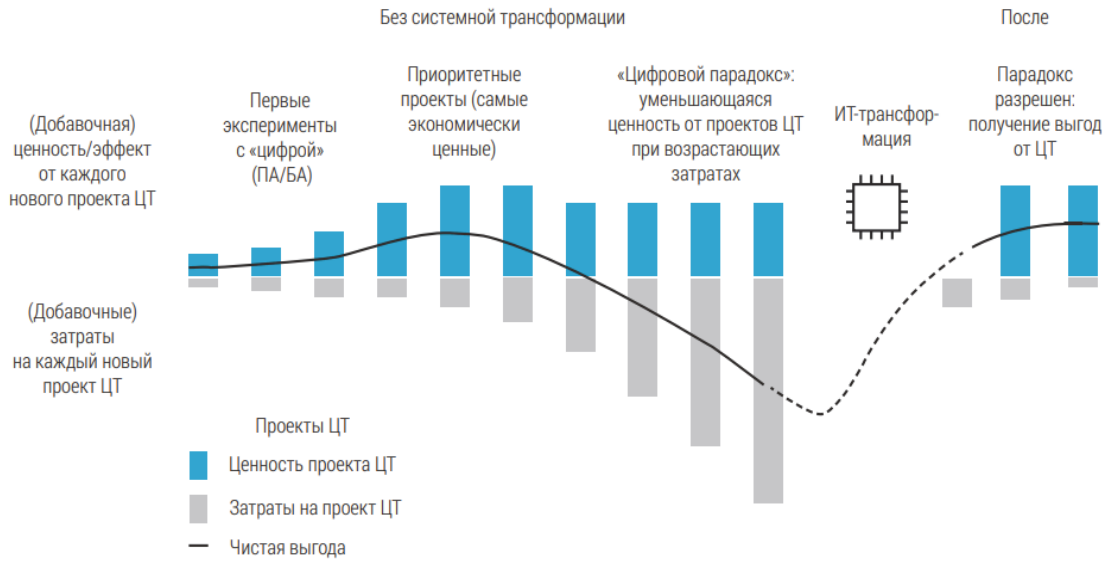


Рисунок 3 – Диаграмма «ДО / ПОСЛЕ» внедрения Интернета вещей

По данным Всемирного банка, использование IoT может привести к снижению выбросов парниковых газов на 10-12%, что имеет глобальное экологическое значение.

Существуют значительные различия в уровне цифровизации нефтехимических предприятий в разных регионах мира. Лидерами в этой области являются США, страны Западной Европы и некоторые азиатские страны (Китай, Южная Корея). В этих регионах наблюдается высокая концентрация крупных нефтехимических компаний, которые активно инвестируют в цифровые технологии.

Российские предприятия также начинают активно внедрять IoT, однако этот процесс находится на начальной стадии.

В России компания «Газпром нефть» активно внедряет IoT-технологии для оптимизации своих операций. В частности, внедрение системы

удаленного мониторинга за состоянием резервуаров позволило сократить затраты на поддержание безопасности хранения на 15%.

С помощью IoT-устройств СИБУР осуществляет мониторинг оборудования и процессов в реальном времени. Сенсоры собирают данные о производительности, температуре, давлении и других параметрах, что позволяет оперативно реагировать на изменения.

Автоматизация управления технологическими процессами с использованием IoT позволяет значительно повысить точность и реакцию на изменения в производственной среде.

Цифровизация и IoT-технологии становятся ключевыми факторами в конкурентоспособности СИБУР. Они способствуют повышению эффективности, снижению издержек и улучшению качества продукции, а также помогают компании соответствовать современным требованиям области устойчивого развития и экологии.

Соответственно, анализируются затраты на внедрение технологий IoT и их влияние на снижение эксплуатационных расходов. Согласно расчетам, первоначальные инвестиции в IoT могут составлять около 5–10% от общего бюджета на модернизацию, однако долгосрочные экономические выгоды перекрывают эти затраты в среднем через 2–3 года.

Так, внедрение технологий Интернета вещей в нефтехимической отрасли открывает новые возможности для повышения эффективности и устойчивости производства. Исследования показывают, что применение IoT позволяет значительно оптимизировать потребление ресурсов, снизить затраты и выбросы, что в конечном итоге приводит к улучшению экономических показателей. Направление имеет огромный потенциал для дальнейшего развития, и его успешная реализация зависит от интеграции новых технологий в существующие бизнес-процессы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фаталиев Т. Х., Мехтиев Ш. А. Перспективы применения интернета вещей в нефтегазовом комплексе //Телекоммуникации. – 2018. – №. 9. – С. 36–42.

2. Чапайкин Д. Интернет вещей как платформа трансформации бизнес-моделей нефтегазовых компаний: инвестиционный анализ и оценка рисков // Энергетическая политика. – 2022. – №. 11 (177). – С. 80–91.

3. Марисов Д. А. и др. Интернет вещей в нефтегазовой сфере: анализ технологии LoRaWAN и возможности прикладного применения // PRO-НЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2022. – №. 2. – С. 76–80.

UDC 620.193

Aydinsoy E.A., Aghamaliyev Z.Z.,
Aghamaliyeva D.B.
(Academician Y.H. Mammadaliyev Institute of Petrochemical Processes
of the Ministry of Science and Education)

DEVELOPING AND EVALUATING BAG OF SMILES AND CHEMGRAMS FOR CHEMICAL DATA TOKENIZATION

Abstract. This thesis introduces two novel tokenisation algorithms, Bag of Smiles and ChemGrams, which are designed to revolutionize the field of molecular representation and predictive performance in the context of corrosion inhibitor datasets. These algorithms, developed based on data extracted from academic papers focusing on the efficiency of corrosion inhibitors, offer a fresh perspective by capturing critical chemical structures and contextual interactions within molecules that traditional SMILES-based tokenisation methods often overlook. Bag of Smiles tokenises molecules at the atomic and bond level, capturing positional and frequency information, while ChemGrams emphasises functional group-based tokenisation to identify chemically meaningful fragments. A comparative evaluation was conducted against established tokenisation techniques, such as ChemBERT and Byte-Pair Encoding, using machine learning models for predicting inhibitor efficiency. Results demonstrate that combining Bag of Smiles (with positional and count information) and ChemGrams improves the prediction of molecular efficiency, achieving a Test RMSE of 13.068 and Test R^2 of 0.768, outperforming other methods. These findings underscore the potential of these approaches in advancing machine-learning applications for corrosion inhibitor analysis.

Introduction. In recent years, advancements in natural language processing (NLP) and machine learning have opened new possibilities for analysing molecular structures, particularly in fields like corrosion inhibition. This research focuses on enhancing the predictability of corrosion inhibitor efficiency using data extracted from academic papers and CORDATA [1]. These papers detail various corrosion inhibitors and their respective properties, providing a valuable dataset for machine-learning modelling. Traditional SMILES-based approaches, such as ChemBERT and Byte-Pair Encoding (BPE), have demonstrated success in tokenising molecular structures but often need finer chemical details. Several additional techniques were evaluated in this work, including Smiles2Vec, Word-Level Tokenizer, and SentencePiece [2–4]. Each method was tested against the newly developed algorithms, Bag of Smiles and ChemGrams, which focus on capturing positional, count-based, and functional group information within molecules. By refining tokenisation strategies and focusing on chemically meaningful representations, the study

aims to improve the accuracy of machine learning models in predicting corrosion inhibitor performance.

Methodology. In this study, we developed and tested two novel tokenisation algorithms, Bag of Smiles and ChemGrams, to improve the predictive performance of machine learning models on chemical datasets. The Bag of Smiles algorithm is a character-based tokenisation method that captures the atomic and bonding structure of molecules represented in the SMILES format. This method tokenises individual SMILES strings into atomic and bond-level tokens, allowing for the incorporation of both token counts and their positional information. We extended this by considering Bag of Smiles with location action and count, which captures not only the presence of specific atoms and bonds but also their relative positions and frequencies within the molecular structure.

The second algorithm, ChemGrams, is a fragment-based tokenisation method designed to capture chemically meaningful fragments, such as functional groups and ring structures. Using SMARTS patterns, ChemGrams extracts functional groups from molecules and generates n-grams of varying lengths to capture interactions between adjacent functional groups.

In addition to these algorithms, we incorporated molecular descriptors such as molecular weight, LogP (hydrophobicity), and the number of hydrogen bond donors/acceptors, as well as dynamic graph-based tokenisation techniques. These graph-based features, generated using RDKit, allow for the extraction of structural information related to atom connectivity and adjacency within the molecular graph. Together, these techniques were evaluated using XGBoost regression models to predict molecular efficiency, using root mean square error (RMSE) and R^2 as the primary evaluation metrics.

Results. The results of our experiments demonstrate the effectiveness of our tokenisation algorithms, Bag of Smiles and ChemGrams, as well as the added value of molecular descriptors and graph-based features. The results are displayed in Table 1.

The Bag of Smiles achieved a Train RMSE of 8.21 and a Test RMSE of 13.057, with a Test R^2 of 0.768. By extending the Bag of Smiles with location action and count information, we observed an improvement in performance, achieving a Train RMSE of 7.71 and a Test RMSE of 13.255, with a Test R^2 of 0.761. These results indicate that the addition of token positions and counts contributes to capturing more relevant structural information.

The ChemGrams algorithm, which tokenises based on chemically meaningful fragments, yielded a Train RMSE of 8.499 and a Test RMSE of 13.363, with a Test R^2 of 0.757. Although this method did not outperform the Bag of Smiles variants, it still provided valuable insights into the role of functional group interactions in molecular efficiency. The addition of molecular

descriptors resulted in further improvements, with a Train RMSE of 7.85, a Test RMSE of 13.068, and a Test R^2 of 0.768, showing the benefit of combining fragment-based tokenisation with molecular property data.

Table 1 – Performance Comparison of Tokenization Techniques in Predicting Corrosion Inhibitor Efficiency

Technique	Train RMSE	Train MAE	Train R2	Test RMSE	Test MAE	Test R2
ChemBert	7.241	4.41	0.924	13.522	8.837	0.752
Bag of Smiles (Ours)	8.21	5.324	0.903	13.057	8.966	0.768
Smiles2Vec	8.853	5.661	0.887	13.807	9.59	0.741
Byte-Pair Encoding (BPE)	7.241	4.41	0.924	13.522	8.837	0.752
Word-Level Tokenizer	8.377	5.427	0.899	13.347	9.23	0.758
SentencePiece	8.056	5.151	0.906	13.117	9.055	0.766
ChemGrams	8.499	5.456	0.896	13.363	9.297	0.757
Bag of Smiles (location action)	8.396	5.503	0.898	13.328	9.24	0.759
Bag Of Smiles (Location + count)	7.71	4.81	0.913	13.255	9.023	0.761
Bag Of Smiles (Location + count) added Molecular Descriptors	7.85	4.897	0.911	13.068	8.929	0.768

Overall, the highest performance was observed when both tokenisation methods were combined with molecular descriptors. The models using Bag of Smiles (location action and count) and molecular descriptors were able to achieve a Test R^2 of 0.768, indicating that a hybrid approach, incorporating multiple molecular representations, can lead to improved prediction accuracy. These results highlight the potential of our tokenisation methods for molecular efficiency prediction tasks and suggest that further improvements could be made by exploring additional tokenisation strategies.

Conclusion. This study introduced Bag of Smiles and ChemGrams, two novel tokenisation methods for predicting corrosion inhibitor efficiency, which were applied to data extracted from academic papers. These algorithms outperformed or matched traditional models like ChemBERT and Smiles2Vec by capturing both positional and count-based features alongside functional group data. Adding molecular descriptors further enhanced the prediction accuracy. While Bag of Smiles (Location + Count) and ChemGrams showed notable improvements, future work can explore graph-based representations and more advanced neural networks. This research contributes valuable insights to chemical informatics, accelerating the discovery of effective inhibitors.

REFERENCES

1. Galvão, T.L.P. CORDATA: an open data management web application to select corrosion inhibitors / T.L.P. Galvão, I. Ferreira, A. Kuznetsova, G. Novell-Leruth, C. Song, C. Feiler, S.V. Lamaka, C. Rocha, F. Maia,

M.L. Zheludkevich, J.R.B. Gomes, J. Tedim // Npj Materials Degradation. – 2022. – Vol. 6. – № 1. – Article number 48. https://doi.org/10.1038/s41529-022-00259-9.

2. Davronov, R. BERT-based drug structure presentation: A comparison of tokenisers / R. Davronov, F. Adilova // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2781. – № 1. Article number 020039. https://doi.org/10.1063/5.0144799.

3. Bostrom, K. Byte Pair Encoding is Suboptimal for Language Model Pretraining / K. Bostrom, G. Durrett // arXiv (Cornell University). – 2020. – https://doi.org/10.48550/arxiv.2004.03720.

4. Jo, J. The message passing neural networks for chemical property prediction on SMILES / J. Jo, B. Kwak, H.-S. Choi, S. Yoon // Methods. – 2020. – Vol. 179. – P. 65-72. – https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2020.05.009.

УДК 665.6

Таранова Л.В.
(ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет)

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛООБМЕНА В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

Процессы переработки нефтегазового сырья, как известно, относятся к высокозатратным с точки зрения энергопотребления технологическим процессам. Это связано с необходимостью перемещения потоков в пределах производственной установки с созданием требуемых давлений и преодолением возникающих в аппаратах и трубопроводной сети гидравлических сопротивлений, а также с требованием создания соответствующих температурных режимов проведения процессов в единицах технологического оборудования.

Последний аспект связан с весьма широким диапазоном варьирования температур реализации отраслевых процессов и необходимостью применения разнообразного оборудования для тепловых процессов в любых процессах подготовки и различных этапов переработки углеводородного сырья на стадиях первичной и глубокой переработки и нефтегазохимии.

С учетом особенностей осуществления отраслевых процессов при их организации по непрерывной технологии и параметрами их проведения объективно возникает необходимость решения задач повышения энергоэффективности, реализации энерго- и ресурсосберегающих подходов, сокращения доли нерационально используемого тепла и его потерь.

По различным оценкам [1, 2, 3] для отечественных отраслевых предприятий отмечается достаточно низкая степень полезно используемого тепла – 23–26%, значительный потенциал повышения энергоэффективности – порядка 40% с экономией энергоресурсов на уровне 35% с резервом сокращения энергопотребления за счет оптимизации рекуперативного теплообмена как минимум на 10-20%.

В настоящей работе рассмотрены некоторые аспекты и подходы к решению задач энерго- и ресурсосбережения (ЭРС) для предприятий переработки углеводородных ресурсов, в основе которых можно выделить как общие вопросы рационального теплообмена за счет оптимизации этих процессов в пределах технологического объекта, так и конкретные предложения с учетом технологических и технических решений для изучаемого объекта.

К общим вопросам на основе анализа литературы и предыдущих исследований можно отметить ряд моментов, сгруппированных в условно технологические и технические мероприятия. К технологическим, в частности, можно отнести:

– оптимизация режимов работы технологических установок с позиций минимизации энергозатрат;

– повышение степени использования вторичных энергоресурсов, в т.ч. и низкопотенциального тепла с сокращением с сокращением доли применения специальных теплоносителей/хладагентов;

– интеграция тепловых потоков в пределах рассматриваемого объекта и межтехнологическая, т.е. на различных иерархических уровнях как в пределах предприятия, так и более высоких;

– сокращение потерь тепла с технологическими потоками и при рассеивании тепла в атмосферу.

Технические аспекты сокращения энергозатрат путем повышения эффективности реализации тепловых процессов в соответствующих единицах оборудования могут быть связаны с:

– выбором более эффективных типов и разновидностей аппаратов для осуществления этих процессов;

– с возможностью совмещения целевых и теплообменных процессов в одном аппарате;

– с конструктивными решениями для оборудования для тепловых процессов (главным образом – теплообменные аппараты, трубчатые печи), направленными на интенсификацию и повышение эффективности процесса – с учетом таких факторов как оптимизация режимов движения потоков, характеристики теплопередающей поверхности, в т.ч. в плане материального исполнения и с учетом степени ее загрязнения;

– с минимизацией потерь тепла от поверхности оборудования и трубопроводов за счет теплоизоляции и футеровки.

Конкретные мероприятия, направленные на модернизацию или оптимизацию процессов с ЭРС-позиций формируются с учетом используемых на анализируемом объекте технологий, температурных параметров проведения процессов и особенностей его аппаратурного оформления.

Для выработки модернизационных предложений по оптимизации систем теплообмена на анализируемых объектах и разработке энергоэффективных систем целесообразно рассматривать их с позиций системного подхода с проведением анализа их структуры (декомпозиции), анализа материально-энергетических потоков (собственных и сторонних – внешних) и аппаратурного оформления, в первую очередь, для систем теплообмена. Это обеспечивает возможности поиска «узких» мест с позиций рационального энергопотребления, оценки резервов теплоэнергосбережения и возможных путей теплоинтеграции, в т.ч. и на межтехнологическом уровне. В качестве наиболее эффективного метода на этом пути можно считать пинч-анализ и его разновидности с построением температурно-энтальпийных диаграмм и оценки зоны оптимального рекуперативного теплообмена. Использования пинч-анализа, как инструмента для определения термодинамически необходимого теплопотребления применительно к нефтехимии по данным [4] может обеспечить экономию порядка 40 % от потребляемых объемов топлива.

При анализе отраслевых технологических объектов с позиций рационального использования собственных энергетических ресурсов обращают на себя внимание такие единицы оборудования, как аппараты воздушного охлаждения (АВО) и трубчатые печи. АВО повсеместно используют в первую очередь в узлах ректификации для конденсации и охлаждения паров дистиллята, а также на линиях охлаждения продуктовых потоков установок. Печи применяют в высокотемпературных процессах нефтегазопереработки и нефтегазохимии.

Особенностью этих групп аппаратов с позиций ЭРС-подходов является потребление тепла/энергии для обеспечения своей работы с одной стороны и прямые потери тепла – его рассеяние в атмосферу – с другой стороны. В этой связи при выработке предложений по оптимизации систем теплообмена, в первую очередь, анализировали возможности свести к минимуму прямые потери тепла и разработке предложений по использованию потенциала охлаждаемых или рассеивающихся в атмосферу потоков. Результаты и предложения по ряду рассмотренных технологических объектов приведены ниже (таблица 1).

Таблица 1 – Предложения по оптимизации систем теплообмена

Выявленные недостатки	Предложения по оптимизации
Технологический объект – Блоки компримирования и адсорбционной осушки при подготовке газа	
Потери тепла при охлаждении газа после ступеней сжатия в АВО; использование трубчатой печи на стадии регенерации	Использование тепла охлаждаемых в АВО потоков для предварительного нагрева газа регенерации перед печью с введением в систему дополнительного теплообменника; сокращение выбросов в атмосферу; снижение нагрузки на печь, сокращение выбросов дымовых газов
Технологический объект – Секция гидроочистки установки каталитического риформинга	
Рассеяние тепла дистиллятных продуктов узла стабилизации в АВО	Использование тепла потока для предварительного нагрева сырья с последующим доохлаждением в АВО; рациональное использование имеющихся теплообменников, сокращение АВО и потерь тепла, сокращение затрат на нагрев сырья, возможность теплоинтеграции с секцией риформинга
Технологический объект – Установка получения этан/этилена	
Недостаточное использование тепла потока пирогаза после трубчатых печей	Использование тепла пирогаза для предварительного подогрева сырья с введением дополнительного теплообменника; сокращение потерь тепла, нагрузки на печи, повышение их КПД; возможность теплоинтеграции в пределах комплексной установки
Технологический объект – Установка глубокой переработки мазута (секция вакуумной перегонки)	
Возможность повышение эффективности использования теплопотенциала потоков в блоке нагрева сырья	Оптимизация работы системы теплообмена с введением дополнительного аппарата в блок сырьевых теплообменников; сокращение нагрузки на печь, сокращение выбросов в атмосферу

Таким образом, на основе анализа теплоэнергетических потоков и систем теплообмена технологических объектов можно решать задачи оптимизации теплообмена с учетом ЭРС-подхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ленкевич, Д. А. Состояние и направления повышения энергетической эффективности нефтеперерабатывающих заводов / Д. А. Ленкевич, Ф. Р. Исмагилов // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2022. – № 11–12. – С. 11–18.

2. Глаголева, О. Ф. Повышение эффективности процессов подготовки и переработки нефти (обзор) / О. Ф. Глаголева, В. М. Капустин // Нефтехимия. – 2020. – Т. 60, № 6. – С. 745–754.

3. Sladkovskiy D. A., Murzin D. Yu. Integrated Power Systems for Oil Refinery and Petrochemical Processes. Energies, 2022, V. 15(17), p. 64–86.

4. Жулаев, С. В. Пинч-анализ и оптимизация промышленных объектов / С. В. Жулаев. – Текст : электронный // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 2. – С. 392–398.

УДК 621.926

Козловский В.И., Кульша Д.В., Парда С.Ю.
(Белорусский государственный технологический университет)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ БИСЕРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ РАБОТАЮЩЕЙ В ПЕРИОДИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

На процесс измельчения материалов существенное влияние оказывает и среда, в которой он происходит. Присутствие жидкости в зоне контакта мелющего тела и материала интенсифицирует процесс истирания за счет вымывания и очищения поверхности от мелких частиц, а также не позволяет маленьким частичкам материала агломерироваться. При попадании жидкости в трещины материала и при определенных условиях силового воздействия может наблюдаться его расклинивание. Кроме того, при определенных значениях скоростей загрузки и давления измельчение может усиливаться за счет такого явления, как кавитация [1].

Анализ моделей разрушения, физико-химических аспектов прочности и влияния среды на измельчаемый материал показал, что для получения тонкодисперсных материалов надо использовать агрегаты, в которых помол осуществляется за счет истирания в среде, воздействующей на его прочностные характеристики. Одним из таких агрегатов является вертикальная бисерная мельница (рисунок 1).

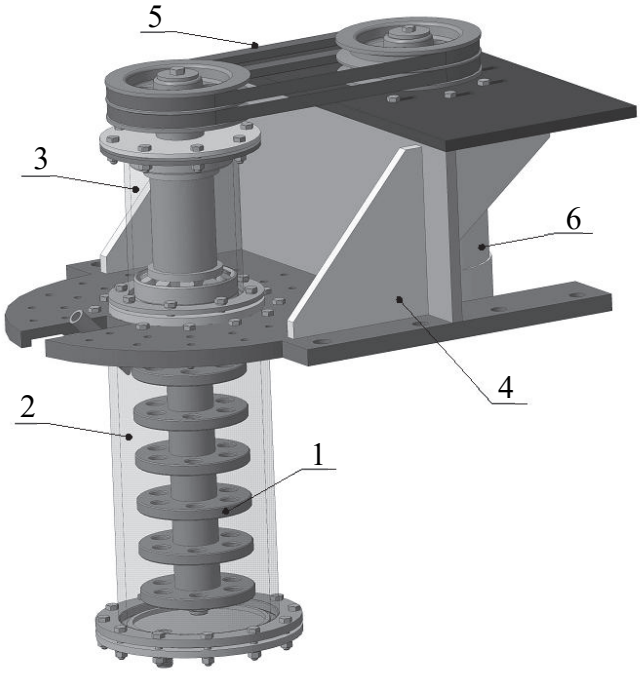
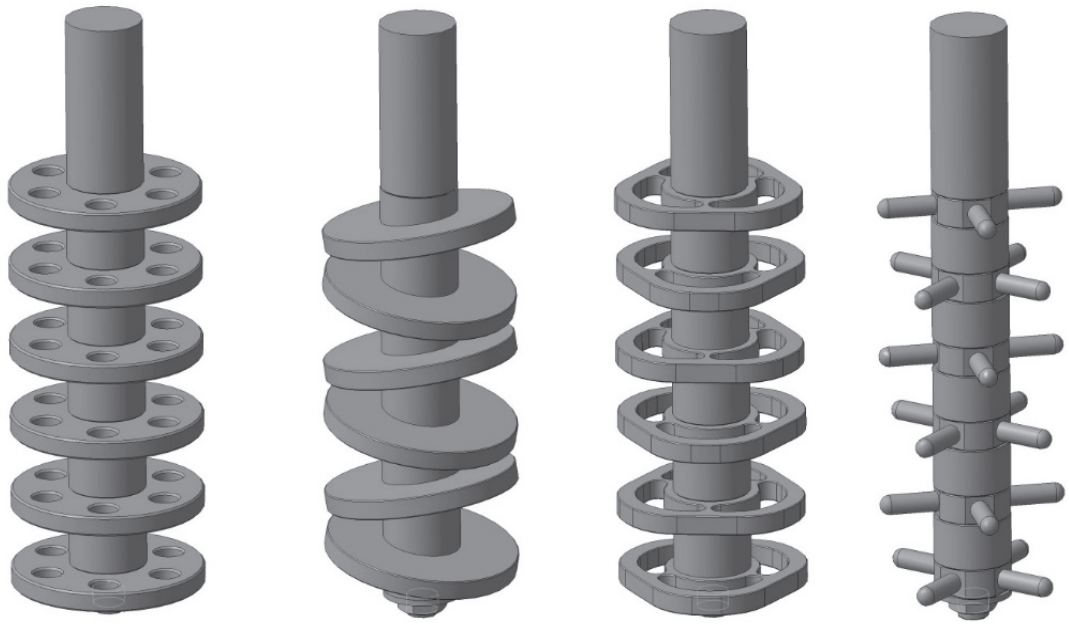


Рисунок 1 – Вертикальная бисерная мельница
1 – ротор; 2 – корпус; 3 – подшипниковый узел;
4 – станина; 5 – ременная передача; 6 – электродвигатель

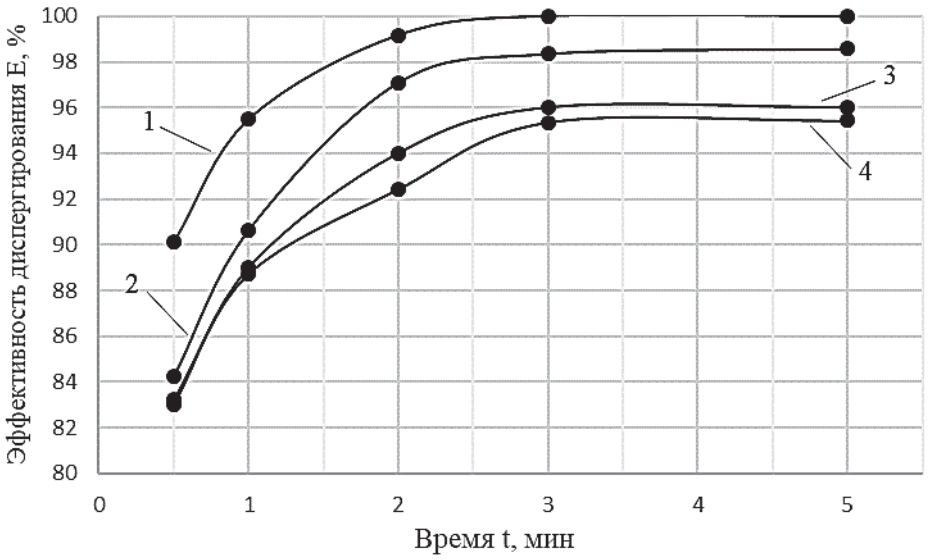
На начальной стадии изучения любого измельчающего агрегата важна кинетика измельчения материала в нем. Поэтому исследования проводились на мельнице, работающей в периодическом режиме. Для перемешивания загрузки использовались четыре конструкции роторов (рисунок 2) с шестью мешалками в виде: круглых дисков, наклонных дисков, треугольных дисков и со штырями. В качестве измельчающих тел использовались керамические шарики диаметром 1, которые заполняли рабочую камеру на 80–85%. Измельчаемый материал – мел с размером частиц 0,5–1 мм. Частота вращения вала составляла 1450 об/мин, что соответствовало линейной скорости по кромкам мешалок около 10 м/с, а пробы из зоны помола отбирались через определенные промежутки времени в интервале 0,5–5 мин. После проведения экспериментов были получены характеристики крупности распределения размеров частиц в объеме пробы.



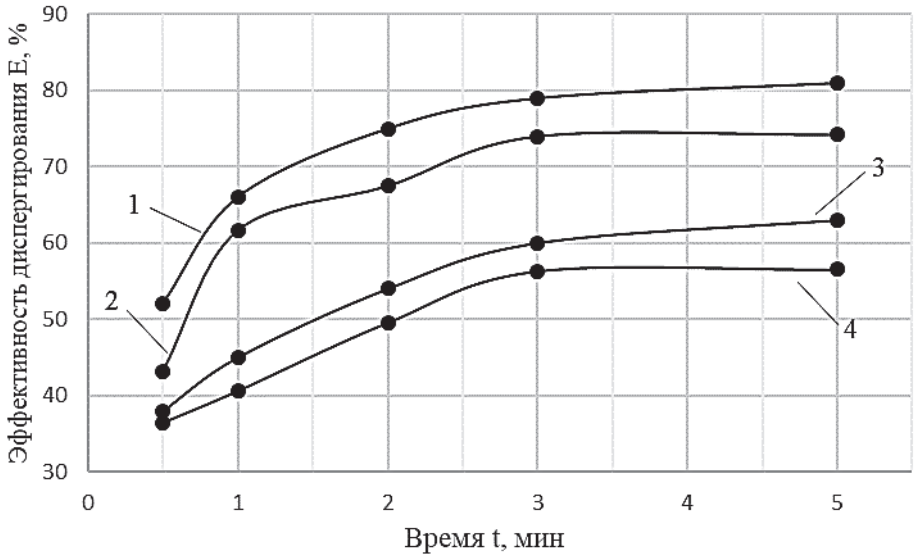
а) б) в) г)

Рисунок 2 – Типы роторов вертикальной бисерной мельницы
а) – с круглыми дисками; б) – с наклонными дисками;
в) – с треугольными дисками; г) – со штырями

Как и в предыдущих работах [2] за критерий эффективности E была принята доля конечного продукта меньше какого-то граничного размера, в данном случае 1, 5 и 10 мкм. После чего были построены функциональные зависимости $E = f(t_i)$, где t_i – время измельчения, для различных граничных размеров (рисунок 3).



а



б

Рисунок 3 – Зависимость эффективности диспергирования от времени измельчения:

а – граничный размер 10 мкм; *б* – граничный размер 5 мкм

1 – ротор с наклонными дисками;

2 – ротор с треугольными дисками;

3 – ротор с круглыми дисками;

4 – ротор со штырями

По экспериментальным зависимостям видно, что граничный размер в 10 мкм наблюдается в пробах уже после 0,5 минут обработки и его количество достаточно высокое от 80–90 %, в зависимости от типа ротора (рисунок 3 *а*). Дальнейшее увеличение времени измельчения от 0,5 до 3 минут приводит к незначительному увеличению эффективности

на 10–12 %, а после 3 минут эффективность вовсе практически не повышается.

Для граничного размера в 5 мкм (рисунок 3 *б*) за первые 0,5 минут измельчения эффективность достигает 35–50%. После 3 минут эффективность увеличивается на 20–30% и далее практически не изменяется.

Что касаемо граничного размера в 1 мкм, то процент его наличия во всех пробах практически не менялся и составлял 8–11 %.

Обработка экспериментальных данных дала возможность получить эмпирические зависимости для расчета эффективности диспергирования от времени измельчения. Например, для граничного размера в 5 мкм, они представлены в виде полиномиальных (степень 2) и линейных зависимостей (1)–(4):

1) ротор с наклонными дисками:

$$E = -5{,}4121t^2 + 29{,}068t + 40{,}045;\ 0{,}5\ \text{мин} \le t \le 3\ \text{мин}, \quad (1)$$

2) ротор с треугольными дисками:

$$E = -5{,}7109t^2 + 30{,}921t + 31{,}641;\ 0{,}5\ \text{мин} \le t \le 3\ \text{мин}, \quad (2)$$

3) ротор с круглыми дисками:

$$E = 8{,}6441t + 35{,}203;\ 0{,}5\ \text{мин} \le t \le 3\ \text{мин}, \quad (3)$$

4) ротор со штырями:

$$E = 8{,}0719t + 32{,}583;\ 0{,}5\ \text{мин} \le t \le 3\ \text{мин}, \quad (4)$$

Разница в эффективности роторов хорошо наблюдается для граничного размера 5 мкм (рисунок 3 *б*). Наиболее эффективными оказался ротор с наклонными дисками. Его эффективность на 8–10 % выше, чем ротора с треугольными дисками и на 18–25 % чем у роторов с круглыми дисками и со штырями. Это обусловлено тем, что за счет наклона дисков создается нестационарный режим движения загрузки с большим градиентом скорости.

Оптимальное время измельчения для всех типов роторов составляет 3 минуты, за которые эффективность достигает своего максимального значения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусева, А. Н. Методы получения наноразмерных материалов / А. Н. Гусева. – Екатеринбург: УГУ им. А. М. Горького, 2007. – 79 с.

2. Козловский В.И. Комплексная технология диспергирования меловых наполнителей композитов мокрым способом / В.И. Козловский, О.А. Петров, Д.Н. Боровский // Вестник ПГУ. Сер. F, Строительство. Прикладные науки. – 2020. – Новополоцк. − №8. – С. 71−75.

УДК 004.8

Безбородова О.Е., Мишина К.Д., Бодин О.Н.
(ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»)

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ

В эпоху технологического прогресса и развития цифровых технологий, которые все более интенсивно используются на производствах, встает вопрос о необходимости использования новых систем обработки и передачи информации. В последние годы наблюдается стремительный рост объемов обрабатываемых данных и увеличение требований к скорости принятия управленческих решений. В условиях современного производства человек проигрывает интеллектуальным современным системам обработки информации. В этом контексте возникает необходимость в переходе от классических автоматических систем управления к более продвинутым информационно-управляющим системам, которые способны адаптироваться к быстро меняющимся условиям, иметь возможность взаимодействовать с окружающей средой и интегрировать физические процессы с информационными технологиями [1, 2].

Учитывая, что информационно-управляющая система (ИУС) – это автоматизированная система, человек сохраняется в контуре управления. Поэтому, взаимодействуя с информационными и физическими компонентами, он может выступать как оператор, управляющий системой, элемент системы (объект исследования) или элемент внешней среды (наблюдатель-контролер) [3].

В современных условиях встал острый вопрос в необходимости проведения мониторинга в режиме реального времени. Распространение информационно-управляющих систем в самых разных областях (от управления производственными процессами до мониторинга здоровья пациентов) привело к острой необходимости обеспечения высокого качества и безопасности их функционирования. Любой сбой в работе информационно-управляющей системе может иметь серьезные последствия, от незначительных финансовых потерь до катастрофических аварий. Поэтому разработка и совершенствование систем мониторинга, работающих в режиме реального времени, стало одной из наиболее актуальных задач современной науки и техники [1, 7].

Для усовершенствования информационно-управляющих систем мониторинга объектов возможно использование мультиагентных подсистем. Модель мультиагентной подсистемы управления задается составом, структурой связей между подсистемами, иерархией подчинения,

динамикой и порядком функционирования, целевыми функциями, множеством допустимых состояний, способом обмена информацией.

В соответствии с [4] ИУС управления содержит следующие подсистемы (см. рисунок 1): измерения параметров объекта, оценки состояния объекта, управления состоянием объекта. ИУС управления является многомерной динамической системой, так как при взаимодействии с внешней средой объект управления обменивается с ней материальными (М), энергетическими (Э) и информационными (И) потоками. Измеряемые значения контролируемых ИУС параметров содержат случайную составляющую – помехи $\eta(t)$, которые искажают результаты измерений, а также оценки и команды, отдаваемые подсистемой управления.

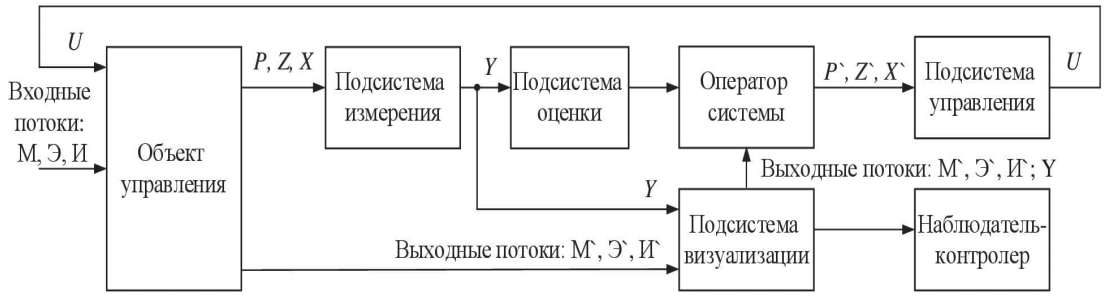


Рисунок 1 – Общая структурная схема социо-киберфизической системы

При использовании мультиагентной подсистемы управления в составе ИУС необходимо учитывать особенности объекта управления. Условия реализации интеллектуального агента определенного поведения создают специальные устройства (рецепторы), которые воспринимают воздействия внешней среды и исполнительные органы (эффекторы), действующие на среду, а также процессор, включающий блок обработки информации и память. Процессор мультиагентной подсистемы управления представляет собой сервер сбора, обработки и хранения информации, откуда конкретный интеллектуальный агент в случае сбоя может получить необходимые данные. Интеллектуальные агенты представляют собой элементы мультиагентной подсистемы управления, взаимодействующие на виртуальном уровне [3].

Информационно-управляющая система мониторинга оперирует следующими массивами информации: входящая информация (множество P), информация о состоянии объекта управления (множество Z), выходная информация (множество X); измерительные данные, совмещенные с помехами (множество Y); результаты оценки: входных сигналов (множество P), состояния объекта управления (множество Z), выходных сигналов (множество X); сформированные управляющие сигналы (множество U).

Содержание баз данных ИУС зависит от специфики объекта управления. Для идентификации и выполнения команд объект управления оснащен соответствующими приборами, оборудованием и узлами. Чаще всего контроль и управление осуществляют по наиболее значимым параметрам, наиболее полно характеризующим объект, изменение которых ведет к изменению других параметров.

Подсистема измерения параметров объекта управления получает с системы датчиков и первичных преобразователей информацию о контролируемых параметрах в момент времени t_i.

Подсистема оценки состояния объекта, анализируя результаты измерения Y с использованием алгоритмов фильтрации и обработки информации, получает оценки: входного процесса P, состояния объекта управления Z и выходного процесса X в виде множеств.

Подсистема оценки состояния объекта для оценки состояния объекта управления в момент времени t_i использует дополнительную информацию. Это задаваемые на основе технологических (уставки), справочных (физические и химические константы, формулы пересчета в вспомогательные единицы измерения и пр.), нормативных документов предельные (граничные) значения по каждому контролируемому параметру. Эта информация для настройки ИУС может задаваться оператором системы вручную или формироваться подсистемой оценки по заложенным при создании правилам и моделям.

Данные с выхода подсистемы оценки состояния объекта $\hat{P}$, $\hat{Z}$, $\hat{X}$ подают в подсистему управления, и они являются исходными для корректировки управляющих воздействий команды в соответствии с результатами оценки состояния объекта. Эту информацию подают в подсистему визуализации в удобной для восприятия пользователем форме – в виде шкал, графиков, коротких текстовых заметок, сигнальных кнопок и прочего [3, 4].

Учитывая возможность изменения значений контролируемых параметров при длительной работе объекта управления возникает необходимость их корректировки. Эту коррекцию возможно осуществлять в автоматическом режиме при наличии в подсистеме динамической математической модели объекта управления высокой точности, то есть цифрового двойника объекта управления с переменными коэффициентами. Наличие математической модели объекта управления дает возможность оптимизировать алгоритм управления объектом. Таким образом, работа информационно-управляющей системы мониторинга заключается в определении и оценке состояния объекта управления, а также определении необходимости корректировки состояния.

Применение мультиагентной технологии позволяет при интеллектуальной обработке данных: оптимизировать процессы мониторинга и управления за счет иерархии интеллектуальных агентов; сократить время обработки данных за счет клонирования агентов и параллельных вычислений; повысить точность обработки данных за счет использования цифрового двойника объекта и его оптимизационной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пешкин, К.С. Назначение и перспективы развития киберфизических систем управления технологическими процессами // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2023. №1 (77). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/naznachenie-i-perspektivy-razvitiya-kiberfizicheskih-sistem-upravleniya-tehnologicheskimi-protsessami (дата обращения: 04.10.2024).

2. Балюк, А.А. Многоагентная аутентификация цифровых двойников в киберфизических системах / А.А. Балюк, О.А. Финько // Вопросы кибербезопасности. 2022. № 5(51). С. 100-113. DOI 10.21681/2311-3456-2022-5-100-113.

3. Куприяновский, В.П. Киберфизические системы как основа цифровой экономики / В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот, С.А. Синягов // International Journal of Open Information Technologies. 2019. № 4. С. 31–42.

4. Паршаков, С.И. Основы управления техническими процессами и системами : учебное пособие / С.И. Паршаков, М.В. Ерпалов ; научный редактор Ю.В. Инатович ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2017. 148 с.

УДК 66.086

Болотов В.А., Голубь Ф.С., Пармон В.Н.
(Федеральный исследовательский центр
«Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН)

ПРЯМОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ В НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В последнее время с развитием технологий генерации электроэнергии из возобновляемых источников энергии (ВИЭ) возникает интерес к использованию прямого электрического нагрева в нефтегазохимической

промышленности с целью снижения выбросов углекислого газа. Кроме того, основные процессы нефтегазохимии, такие как паровая конверсия метана, крекинг (пиролиз) и дегидрирование углеводородов, являются эндотермическими, и требуют быстрого подвода значительного количества тепла в зону реакции. Традиционно в промышленности нагрев реактора осуществляют с помощью газовых горелок, которые обеспечивают интенсивный тепловой поток, необходимый для поддержания скорости эндотермической реакции, однако, это сопровождается высокой эмиссией CO_2, образующегося при сжигании природного или топливных газов НПЗ. Например, мировой объем выбросов углекислого газа только при производстве синтез-газа в ходе паровой конверсии метана оценивается в 366 млн.т/год. Применение прямого электрического нагрева стенок реактора, либо, непосредственно, структурированного резистивного катализатора внутри реакционного объема, помимо очевидного снижения эмиссии CO_2, имеет ряд особенностей. Среди которых необходимо выделить возможность быстрого подвода большого количества теплоты в реакционную зону, что снижает инерционность нагрева и позволяет в широком диапазоне управлять параметрами технологического процесса, тем самым повышая энергоэффективность производства в целом путем интенсификации процессов тепло-массопереноса. Безусловно, технологический переход на электрический нагрев требует решения задач, связанных с разработкой специальных структурированных резистивных катализаторов и/или подбором электропроводящих материалов стенок реактора, а также с обеспечением их надежного и безопасного контакта с сильноточными источниками электроэнергии. В текущем году компания BASF совместно с SABIC и Linde анонсировала запуск электрифицированной пилотной установки паровой конверсии метана мощностью 6 МВт, получаемых с помощью ВИЭ, для отработки технологии в промышленном масштабе.

В настоящее время перспективным способом прямого ввода теплоты в реактор также рассматривается метод индукционного (ТВЧ) нагрева, одной из характерных особенностей которого является то, что передача энергии, необходимой для нагрева, происходит дистанционно. Это позволяет осуществлять бесконтактный селективный нагрев реакционной смеси путем размещения поглотителей электромагнитного излучения (ЭМИ) – сенсибилизаторов непосредственно внутри химического реактора. Для индукционного нагрева характерно использование относительно низкочастотного диапазона электромагнитного излучения от 50 Гц до 100 кГц. Этим он отличается от другого популярного способа дистанционного нагрева – посредством использования СВЧ излучения. СВЧ излучение представляет собой электромагнитное излучение с частотой

порядка нескольких ГГц. Сенсибилизатор, которым может являться активный компонент или носитель катализатора, обладающий ферромагнитными свойствами, нагревается магнитной составляющей ЭМИ. В случае СВЧ излучения такими сенсибилизаторами служат материалы, обладающие высокими диэлектрическими потерями (т.н. «СВЧ катализаторы»). Они могут быть различного состава и размера, в частности, они могут выполнять функции катализатора. ЭМИ свободно проникает через газообразные и жидкие углеводороды, что позволяет размещать сенсибилизатор в любом желательном месте химического реактора. Очевидным преимуществом дистанционного нагрева является, во-первых, экономия тепловой энергии. Во-вторых, облегчается эксплуатация химического реактора, поскольку из-за более низкой температуры на его стенках резко снижаются процессы коагуляции (например, зауглероживание в случае пиролиза углеводородов) и т.д.

Однако, этим преимущества бесконтактного селективного нагрева реакционной смеси внутри реактора не ограничиваются. При применении электромагнитных технологий к процессам переработки углеводородного сырья открывается ряд новых возможностей. В частности, при проведении процессов термокрекинга парафиновых углеводородов, способов воздействия на ход реакции в желательном направлении значительно больше, чем в обычном пиролизном реакторе. В случае использования индукционного/СВЧ нагрева для крекинга углеводородного сырья парогазовая фаза, в которой происходит цепная радикальная реакция крекинга, образуется между сенсибилизатором и жидким, предварительно разогретым сырьем.

Оптимальными условиями для проведения крекинга является такой режим прокачки сырья, который обеспечивает температурный градиент между раскаленной поверхностью сенсибилизатора 600 – 700°С и относительно холодной (250 – 350°С) жидкостью. В этом случае, реакция происходит, в основном, в газовой фазе. Продукты попадают в более холодную жидкость, температуры которой недостаточно для протекания вторичных(побочных) реакций, например, реакций терморазложения, таким образом происходит их закалка, что существенно увеличивается селективность образования целевых продуктов. Это дает возможность проводить пиролиз в жидкой фазе, и, таким образом, позволяет отказаться от использования перегретого водяного пара.

Индукционный нагрев переменным магнитным полем широко применяется в науке и технике. Многолетний опыт в эксплуатации данного способа нагрева в металлургии привело к созданию и серийному выпуску очень мощных источников индукционного нагрева (от 10 кВт до 5МВт и выше). При правильном согласовании ТВЧ генераторов

с нагрузкой достигаются очень высокие значения КПД (до 96%). Таким образом, использование индукционного нагрева в переработке углеводородного сырья представляется весьма перспективным.

В ИК СО РАН разработан демонстрационный лабораторный стенд (рис.1), обеспечивающий проведение процесса термического крекинга различных видов углеводородного сырья в условиях индукционного нагрева в проточном режиме.



Рисунок 1 – Проточная установка крекинга углеводородного сырья в условиях индукционного нагрева

Проведено исследование термического крекинга гача 4 погона (продукты депарафинизации масляных фракций) и непрореагировавшего остатка гидрокрекинга (ГК), типичный состав продуктов представлен в таблицах 1 и 2 соответственно. Показана принципиальная возможность получения с высоким выходом олефинов, которые являются высоко востребованными в химической промышленности прекурсорами при производстве широкой номенклатуры высокомаржинальных продуктов, высших спиртов (детергенты и пластификаторы), линейных алкилбензолсульфонатов (ПАВ) и полиолефинов качестве со-мономеров.

Таблица 1 – Структурно-групповой состав (мас.%) жидких продуктов индукционного крекинга гача

Фракция $T_{нк}$-$T_{кк}$, С	Парафины	Нафтены	Ароматика	Изопарафины	Олефины	Алкадиены	Сумма
<200	2,1	2,2	3,6	0	26,6	3,5	38
200-340	3,6	1,2	1,7	0	28,6	4,9	40
350-500	10,5	0,7	0,1	1,2	8,7	0,6	21,9
>500	0	0	0	0	0	0	0,1
Сумма	16,2	4,1	5,4	1,3	63,9	9,1	100

Таблица 2 – Структурно-групповой состав (мас.%) жидких продуктов индукционного крекинга остатка ГК, мас.%

Фракция $T_{нк}$-$T_{кк}$, С	Парафины	Нафтены	Ароматика	Изопарафины	Олефины	Алкадиены	Сумма
<200	1,5	2,7	1,1	0,0	41,6	6,1	53,0
200-340	1,9	2,6	0,7	0,1	31,5	3,9	40,7
350-500	1,0	0,1	0,0	3,0	2,1	0,0	6,2
>500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Сумма	4,4	5,3	1,9	3,2	75,2	10	100

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0036).

Содержание

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ VII

Войтов И.В. ПОДГОТОВКА КАДРОВ В БГТУ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО С ПРЕДПРИЯТИЯМИ КОНЦЕРНА «БЕЛНЕФТЕХИМ» VII

Иванец А.И. ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО XXVI

Антохина Ю.А. ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО XXVII

Пыжикова Н.И. ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО XXVIII

Кудж С.А. ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО XXIX

Дьяконов А.А. ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО XXX

Наркевич И.А. ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО XXXI

Сизов В.В. ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО XXXII

Крутько Н.П., Яковец Н.В. О РАБОТЕ ГНПО «ХИМИЧЕСКИЕ ПРОДУКТЫ И ТЕХНОЛОГИИ» В ОБЛАСТИ ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ XXXIII

СЕКЦИЯ I. ПЕРСПЕКТИВЫ, СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ. ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА. НЕФТЕДОБЫЧА. ПОДГОТОВКА И ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ НА ВСЕХ СТУПЕНЯХ ДИПЛОМНОГО И ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ 1

Гайле А.А., Ахмад М. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПРЯМОГОННЫХ НЕФТЯНЫХ ФРАКЦИЙ И ГАЗОЙЛЕЙ ВТОРИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ 1

Севостьянова Н.Т., Баташев С.А. СОВМЕЩЕННЫЕ В ОДНОМ РЕАКТОРЕ ПРОЦЕССЫ ДЕГИДРАТАЦИИ СПИРТОВ И АЛКОКСИКАРБОНИЛИРОВАНИЯ ОБРАЗУЮЩИХСЯ АЛКЕНОВ В СИНТЕЗЕ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ 4

Жагфаров Ф.Г., Мищенко Е.С., Сигунова А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ В РЕЦЕПТУРЕ МЕМБРАННОЙ КОМПОЗИЦИИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ 8

Францкевич В.С., Юсевич А.И., Сударев А.И. ОЧИСТКА ВОДНОГО АБСОРБЕНТА ОТ РАСТВОРЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ МЕТОДОМ ЖИДКОФАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ 15

Дуброва М.В., Шрубок А.О. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА СВОЙСТВА ДОРОЖНОГО БИТУМА 21

Янян Юй, Невзорова А.Б. ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВКИ ГИДРОКРЕКИНГА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА МОЩНОСТЬЮ 3,5 МЛН ТОНН/ГОД..... 24

Агаева С.Б., Абасов С.И., Тагиева Ш.Ф., Гаджизаде С.М., Керимова-Джафарова У.Н., Исмайлова З.Р., Агаева Т.Ф. ОЛИГОМЕРИЗАЦИЯ БУТАН-БУТИЛЕНОВОЙ ФРАКЦИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА КН-4..... 28

Глазунов А.М. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКООКТАНОВЫХ СПОРТИВНЫХ БЕНЗИНОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК..... 31

Землянский Е.О. ВНЕДРЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ НЕФТЕ- И ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ 35

Якубовский С.Ф., Булавка Ю.А., Хохотов С.С. СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ НАФТАЛИНА ИЗ ТЯЖЕЛОЙ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА АЗЕОТРОПНОЙ РЕКТИФИКАЦИЕЙ..... 38

Юсевич А.И., Кузёмкин Д.В., Осипёнок Е.М. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА СВОЙСТВА ПЕКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ТЯЖЕЛОЙ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ И АСФАЛЬТА ПРОПАНОВОЙ ДЕАСФАЛЬТИЗАЦИИ ГУДРОНА 42

Трусов К.И., Юсевич А.И., Агабеков В.Е. ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ЛИГНИНА НА ГИДРОКРЕКИНГ АСФАЛЬТА ПРИ КАТАЛИЗЕ НАНОДИСПЕРСНЫМИ СУЛЬФИДАМИ МЕТАЛЛОВ..... 46

Дадаходжаев А.Т., Маннанов У.В., Эшмухамедов М.А. НЕФТЕГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ УЗБЕКИСТАНА 48

Маннанов У.В., Базарбаев К.А., СПЕЦИАЛЬНОСТИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ В ТАШГТУ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ..... 54

Шашок Ж.С., Усс Е.П., Вишневский К.В., Кротова О.А., Лешкевич А.В. О РОЛИ УЧЕБНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРАКТИК ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕЗИНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ..... 57

Шафиева Р.Н., Аббасов М.Ф., Аббасова С.М., Шафиева Б.Ф. Zn И Zr СОДЕРЖАЩИЕ КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО ПЕРЛИТА В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРА КОНДЕНСАЦИИ МЕТИЛФЕНИЛКЕТОНА С 1,2-ЭТАНДИОЛОМ 61

Садыгов О.А., Алимарданов Х.М., Пащабейли Н.А., Исмаилова Ш.И., Велиева Т.А. СИНТЕЗ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ С7-С12 АЛИЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ЧЕРЕЗ СТАДИИ ЭЛЕКТРОФИЛЬНОГО ПРЕВРАШЕНИЯ ЦИКЛООЛЕФИНОВ 63

*Алимарданов Х.М., Гарибов Н.И., Мусаева Э.С., Дадашова Н.Р., Гусейнова Ф.А., Мамедов А.А.*СОВМЕЩЕННЫЕ РЕАКЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОМЕРОВ ЭПОКСИДИЦИКЛОПЕНТАНА И ЦИКЛОГЕКСЕНОЛА С УЧАСТИЕМ «IN SITU» ОБРАЗУЮЩИХСЯ СО(III) ОКСОПЕРОКСОФОСФОРМОЛИБДАТНЫХ СИСТЕМ..... 66

Басханова М.Н. АЛКИЛИРОВАНИЕ ИЗОБУТАНА ОЛЕФИНАМИ НА ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ: ПУТЬ ОТ ЛАБОРАТОРИИ К ОПЫТНО – ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКЕ..... 71

Мамедова С.Б. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИННОВАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ..... 74

Жолнеркевич В.И., Шрубок А.О. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЧИСТОТЫ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ 82

СЕКЦИЯ II. ИННОВАЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ И БИОПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БПЛА. ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СЫРЬЕВЫЕ ИСТОЧНИКИ ДЛЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА..... 85

Krmela Jan, Krmelová Vladimíra, Kasperovich Andrei COMPUTATIONAL MODELING OF SPECIFIC TENSILE TEST OF COMPOSITE WITH RUBBER MATRIX..... 85

Гринченко А.И., Черепанова В.А., Морозова З.А., Широкова Е.С., Касперович А.В. ДИНАМИЧЕСКИЙ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТ НА ОСНОВЕ ПВДФ/СКФ26 89

Шмакова А.Д., Скоробогатова А.А., Широкова Е.С., Касперович А.В. ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИСТИРОЛА И МАСЛА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ОБУВНЫХ ТЭП 91

Боброва В.В., Касперович А.В., Ефремов С.А., Нечипуренко С.В., Вернигоров К.Б., Казаков Ю.М., Стоянов О.В. ФИЗИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ КАРБОНИЗАТА РИСОВОЙ ШЕЛУХИ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЕГО ДИСПЕРСНОСТИ..... 93

Исмаилова Р.М., Ражабова Э.Б., Исмаилов Р.И. ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ НАТУРАЛЬНОЙ КОЖИ ПРОПИТАННОЙ ПОЛИМЕРНЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ 97

Долинская Р.М. ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНОЙ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ НА СВОЙСТВА РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ 100

Прокопчук Н.Р., Клюев А.Ю., Лаптик И.О. О СТРУКТУРООБРАЗОВАНИИ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ЭПОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НАНОЧАСТИЦАМИ РАЗНОЙ ПРИРОДЫ..... 103

Белов Д.А. ПРОМЫШЛЕННЫЙ КЛАСТЕР ПОЛИМЕРОВ В РОССИИ: ФОРМИРОВАНИЕ, РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ 106

Валько Н.Г., Обрядова А.А., Глоба А.И. МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ И КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ СТИРОЛ-АКРИЛОВЫХ ПОКРЫТИЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ 110

Мирончик Я.Ч., Щербина Л.А., Будкуте И.А., Руденок Я.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРЯДИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛОНИТРИЛА, СОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦЫ 113

Мирончик Я.Ч., Щербина Л.А., Будкуте И.А., Руденок Я.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПРЯДИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ 117

Вишневский К.В., Шашок Ж.С. ОСОБЕННОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ 120

Чикунская В.М., Щербина Л.А., Будкуте И.А., Огородников В.А. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОЙ ЭКСПОЗИЦИИ НА НАБУХАНИЕ ИОНИТОВ НА ОСНОВЕ АКРИ-

ЛОНИТРИЛА И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ 122

Чикунская В.М., Щербина Л.А., Будкуте И.А., Огородников В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОНИТРИЛА И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ Zn^{2+}, Ni^{2+}, Mg^{2+}, Ca^{2+} 127

СЕКЦИЯ III. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА. ПРОИЗВОДСТВО МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ 131

Севостьянова Н.Т. АЛКОКСИКАРБОНИЛИРОВАНИЕ В СИНТЕЗЕ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ: РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ МИНИМИЗАЦИИ ОТХОДОВ 131

Занько Н.Г., Раковская Е.Г. ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОЛОГИИ 134

Раджабов Ш.Х. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ НЕФТИ И ГАЗА В ЖИЗНОДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА 137

Баранцева С.Е., Климош Ю.А., Курилович М.А., Герасимчук А.А. КЕРАМИЧЕСКИЕ ОБЛИЦОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗАЛЬТОВ И ТУФОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ 142

Медведев А.А., Еремина Е.В., Байбурский В.Л., Бельдова Д.А., Соколовский П.В. УГЛЕКИСЛОТНАЯ КОНВЕРСИЯ СКОРЛУПЫ ОРЕХА МАКАДАМИЯ В МОНООКСИД УГЛЕРОДА, КАТАЛИЗИРУЕМАЯ СОЕДИНЕНИЯМИ КОБАЛЬТА..... 145

Емельянова В.А. Ермак А.А. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА 147

Баранцева С.Е., Климош Ю.А., Попов Р.Ю., Бубич А.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДОЧНЫХ И МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЛИНКЕРНОГО КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА 151

Исмаилов Р.И., Ражабова Э.Б., Исмаилов А.И. ОЧИСТКА ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ОЛИГОМЕРНЫМИ СОРБЕНТАМИ 154

Булавка Ю.А., Стельмах Е.А. АНАЛИЗ СОСТАВА ШЛАМОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МОЮЩЕ-ДИСПЕРГИРУЮЩИХ ПРИСАДОК СУЛЬФОНАТНОГО ТИПА 157

Бышик А.А., Дормешкин О.Б., Гаврилюк А.Н., Мохорт М.С. ВЛИЯНИЕ ПРЕДВОРИТЕЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ БУРЫХ УГЛЕЙ НА СОСТАВ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ 161

Мохорт М.С., Дормешкин О.Б., Гаврилюк А.Н., Бышик А.А. КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЕ 165

Дормешкин О.Б., Гаврилюк А.Н., Мохорт М.С., Бышик А.А. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И КАЛОРИЙНОСТИ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕКОГО АММИКА 168

Дормешкин О.Б., Гаврилюк А.Н., Мохорт М.С., Бышик А.А. ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА НОВЫХ ВИДОВ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ И СОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТРУБЧАТЫХ РЕАКТОРОВ 171

Чикунская В.М., Щербина Л.А., Будкуте И.А., Огородников В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОНИТРИЛА И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ Zn^{2+}, Ni^{2+}, Mg^{2+}, Ca^{2+} 173

Ван Гочжен, Лихачева А.В. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАГНИТНЫХ СОРБЕНТОВ В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД..... 177

Марцуль В.Н., Дернович А.В. ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ..... 180

Vy Do Truc, Thien Vuong Nguyen, Thi Mat Le, Tuan Anh Nguyen, Thi Lan Pham, Dai Lam Tran, Visnevskii K.V. CeO_2-Ag HYBRID NANOPARTICLES FOR PHOTOCATALYTIC REMEDICATION OF WASTEWATER..... 184

Шиманская А.Н., Климош Ю.А., Севко А.В. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛАУКОНИТСОДЕРЖАЩЕЙ ПОРОДЫ, САПОНИТСОДЕРЖАЩИХ ТУФОВ И БАЗАЛЬТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЛАЗУРНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ КЕРАМОГРАНИТА 185

Санин Г.К., Булак А.А., Войтов И.В. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТХОДОВ В НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ..... 188

Булак А.А., Санин Г.К., Войтов И.В. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКИХ

ПРОИЗВОДСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ 191

СЕКЦИЯ IV. АППАРАТНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ. СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ, ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ. ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА 197

Petrov O.A., Li JunYi, Wang Yuanda IMPROVEMENT OF THE DESIGN OF A HYDRODYNAMIC CAVITATOR FOR LIQUIDS HOMOGENIZATION 197

Душкевич Д.В., Гребенчук П.С. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНО-УДАРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ RDF-ТОПЛИВА 200

Войтов И.В., Штепа В.Н., Рожко В.Н. СТРУКТУРА ЦИФРОВОГО РЕСУРСНОГО ДВОЙНИКА ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ SCADA-СИСТЕМ 204

Mytsko D.Yu., Frantskevich V.S., Yang Ya., Zhao X., Sun Zh. HYDRODYNAMICS OF LIQUID FLOW IN NOZZLES 208

Lankin R.I., Frantskevich V.S., Liu Xinyu, Su Hailong, Smiayan V.E. DESIGN AND ANALYSIS OF SPHERICAL PACKING WITH HEMISPHERICAL DEPRESSIONS FOR ENHANCED MASS TRANSFER 211

Liu Xinyu, Lankin R.I., Frantskevich V.S., INFLUENCE OF MOVABLE PACKING ON FLOW DYNAMICS IN ABSORPTION SYSTEMS 215

Su Hailong, Frantskevich V.S., Lankin R.I., Moskalev L.N. APPLICATION OF FLUID DYNAMICS OF MOVABLE BALL PACKING IN MASS TRANSFER DEVICES 218

Павлечко В.Н., Францкевич В.С., Шалухо Ю.И. ОСОБЕННОСТИ ЗАПОЛНЕНИЯ ЕМКОСТИ ФИРМЫ CARBONSAN ЖИДКИМИ ПРОДУКТАМИ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА..... 222

Калишук Д.Г. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ ПЕРВИЧНОГО ГРЕЮЩЕГО ПАРА В ВЫПАРНЫХ УСТАНОВКАХ 225

Пыкавая О.А., Боровский Д.Н. ВЛИЯНИЕ МЕЛЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОМОЛА В ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЕ 229

Shen Yanshang, Borovskiy D.N. RESEARCH AND DEVELOPMENT OVERVIEW OF TABLET PRESS 233

Chen Xingye, Borovskiy D.N. DEVELOPMENT TREND OF DRUM MILLS 237

Москалева А.Н., Москалев Л.Н., Францкевич В.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ЭМУЛЬСИЙ ИЗ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ 241

Белов Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ IOT ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ОПТИМИЗАЦИИ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ 245

Aydinsoy E.A., Aghamaliyev Z.Z., Aghamaliyeva D.B. DEVELOPING AND EVALUATING BAG OF SMILES AND CHEMGRAMS FOR CHEMICAL DATA TOKENIZATION 249

Таранова Л.В. ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛООБМЕНА В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ..... 252

Козловский В.И., Кульша Д.В., Парда С.Ю. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ БИСЕРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ РАБОТАЮЩЕЙ В ПЕРИОДИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ 256

Безбородова О.Е., Мишина К.Д., Бодин О.Н. ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ..... 260

Болотов В.А., Голубь Ф.С., Пармон В.Н. ПРЯМОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ В НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 263

Научное издание

НЕФТЕГАЗОХИМИЯ – 2024

Материалы
VII Международного научно-технического форума
по химическим технологиям и нефтегазопереработке

В авторской редакции
Ответственный за выпуск *К. В. Вишневский*
Компьютерная верстка:
Д. А. Кускильдина, В. А. Маркушевская, Е. А. Матейко

Подписано в печать 11.11.2024. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 18,1. Уч.-изд. л. 18,7.
Тираж 100 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.