

ВОРОНЕЖСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

ISSN 2079-3502

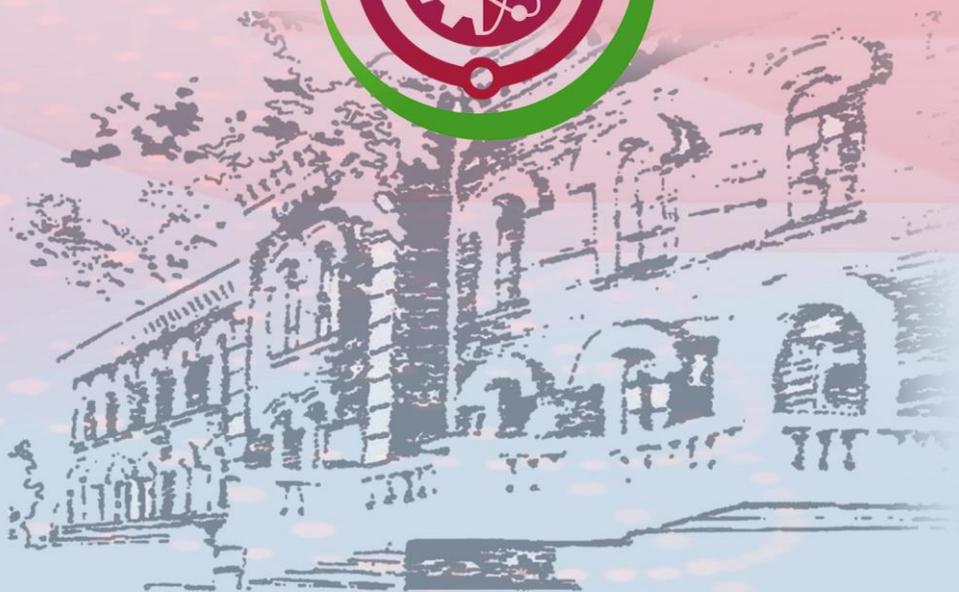
1930
95
2025



Российская
инженерная
академия

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

**ПРОБЛЕМЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ
РЕШЕНИЯ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ
(ПИРХТ-2025)**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

**ФГБОУ ВО «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

**ОБЩЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
РОССИЙСКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ**

**ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
«ПРОБЛЕМЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ
В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ»**

(ПИРХТ-2025)

Воронеж, 2 – 3 октября 2025 года

Посвящается

95-летию со дня основания
«Воронежского государственного
университета инженерных технологий»

35-летию
Общероссийской общественной организации
«Российская инженерная академия»

**ВОРОНЕЖ
2025**

УДК 66.0:504:331.45

ББК Л10я4

П78

П78 Проблемы и инновационные решения в химической технологии ПИРХТ-2025: материалы всероссийской конференции с международным участием / Воронеж. гос. ун-т инж. техн. – Воронеж: ВГУИТ, 2025. - 315 с. Текст: непосредственный.

В сборнике представлены тезисы докладов по приоритетным направлениям в области химической технологии неорганических веществ и материалов; химии и технологии органических соединений, полимеров и композитов; экологической безопасности и ресурсосбережения в химической технологии.

П **2802000000**
ОК2(03) – 2025 Без объявл.

УДК 66.0:504:331.45
ББК Л10я4

ISSN 2079-3502

© ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. ун-т
инж. технол.», 2025

Оригинал-макет данного издания является собственностью Воронежского государственного университета инженерных технологий, его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия университета запрещается.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель

Репников Н. И. – ректор ВГУИТ, к. ф-м. н.

Сопредседатели

Гусев Б. В. – д.т.н., профессор, член-корреспондент РАН, президент Российской инженерной академии (г. Москва, Россия)

Прокопчук Н. Р. – член-корреспондент НАН РБ, профессор Белорусского государственного технического университета, д.х.н.

Мамедов И. Г. – зав. кафедрой химии нефти и химической технологии Бакинского государственного университета (Азербайджанская Республика), проф., д.х.н.

Тукен Т. – зав. кафедрой физической химии Университета Чукурова (Адана, Турция), проф. PhD

Заместитель председателя

Корнеева О. С. – проректор по научной и инновационной деятельности ВГУИТ, проф., д.б.н.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель

Пугачева И. Н. – декан факультета экологии и химической технологии ВГУИТ, проф., д.т.н.

Заместитель председателя

Нифталиев С. И. – зав. кафедрой неорганической химии и химической технологии ВГУИТ, проф., д.х.н.

Члены комитета

Суханов П. Т. – советник при ректорате по научно-методической деятельности ВГУИТ, проф., д.х.н.,

Карманова О. В. – зав. кафедрой технологии органических соединений и переработки полимеров ВГУИТ, проф., д.т.н.,

Кучменко Т. А. – зав. кафедрой физической и аналитической химии ВГУИТ, проф. РАН, д.х.н.,

Тихомиров С. Г. – проф. кафедры информационных и управляющих систем ВГУИТ, д.т.н.

Ученый секретарь

Козадерова О. А. – проф. кафедры неорганической химии и химической технологии ВГУИТ, доц., д.х.н.



**Российская
инженерная
академия**

Проведение конференции

«Проблемы
и инновационные решения
в химической технологии
(ПИРХТ-2025)»

реализовано при поддержке
Общероссийской общественной организации
«Российская инженерная академия»

Глубокоуважаемые коллеги!

Приветствую Вас на открытии Всероссийской конференции с международным участием «Проблемы и инновационные решения в химической технологии (ПИРХТ)». Конференция уже стала традиционной платформой для обсуждения актуальных научных вопросов, связанных с химической технологией неорганических и органических веществ, полимерных и композитных материалов, а также проблем экологической безопасности и ресурсосбережения.

Растущая репутация ВГУИТ в международном научно-техническом пространстве обеспечила в этом году серьезный прирост по иностранным участникам конференции. Интерес к ней проявили наши партнеры из Азербайджана, Беларуси, Китая и Турции. Их участие расширяет возможности рамки международного сотрудничества университета по наиболее важным для страны направлениям научных исследований в области химии и химической технологии, прежде всего в части разработки перспективных технологий производства полимерных материалов и композитов.

Особо следует отметить большой интерес молодых ученых к конференции ПИРХТ. Именно они представляют собой основу для формирования инженерного кадрового состава – ключевого элемента технологического лидерства страны. Концепцией технологического развития на период до 2030 года подчеркнута необходимость преодоления «кадрового голода» и восстановления

престижа отраслевых профессий, а также учет технологических приоритетов в процессе подготовки инженерных кадров. Основная роль в решении этой задачи отводится системе высшей школы России и инженерным университетам в особенности. В связи с этим конференция ПИРХТ предоставляет уникальные возможности для тесного взаимодействия университетов с бизнес-сообществом, с индустриальными партнерами. Фундаментальные знания, закреплённые практическими навыками и современным производственным опытом, позволяют сформировать базу для эффективного обеспечения технологического лидерства России, в том числе в рамках Прогрессивных инженерных школ (ПИШ), созданных на базе ВГУИТ. На базе Факультета экологии и химической технологии уже второй год успешно функционирует ПИШ «ХимИнТех» при поддержке ведущих индустриальных партнеров: «Сибур», «Росхим», «Цемрос», «Фарбен».

Конференция проходит в Воронежском государственном университете инженерных технологий, одном из крупнейших научно-образовательных центров Черноземья и ведущих вузов России по подготовке высококвалифицированных кадров и генерации новых технологий для пищевой и химической промышленности. За более чем 90-летнюю историю ВГУИТ подготовил более 135 тысяч специалистов с высшим и средним профессиональным образованием для различных отраслей промышленности Российской Федерации, бизнеса и управления. При этом на Факультете экологии и химической технологии подготовлено более 10 тысяч инженеров. Стратегической целью нашего вуза в рамках Программы развития на 2023-2032 гг. является его трансформация в отраслевой университет национального значения с опережающей подготовкой инженерных кадров для высокотехнологичных компаний.

С особой благодарностью хочу отметить поддержку Правительства Воронежской области в лице руководителя секретариата Губернатора Игоря Анатольевича Лоткова, а также Общероссийской общественной организации «Российская инженерная академия» (РИА) в лице ее Президента Бориса Владимировича Гусева в организации нашей конференции, которая в этом году посвящена 35-летию РИА и 95-летию ВГУИТ. Уверен, что совместны-

ми усилиями представителей власти, реального сектора экономики, научно-образовательного сообщества, экологических организаций в рамках нашей конференции удастся не только обсудить современное состояние и последние достижения, но и задать вектор развития химической промышленности в интересах обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации.

Искренне желаю всем участникам конференции плодотворной работы, интересных и содержательных докладов, а также конструктивных дискуссий. Пусть каждый найдет для себя новое и полезное, обменяется ценными идеями, установит полезные профессиональные связи и заложит основу для новых проектов. Успеха конференции ПИРХТ!

Председатель оргкомитета, ректор Воронежского государственного университета инженерных технологий

Репников Николай Иванович
кандидат физико-математических наук

Уважаемые участники Всероссийской конференции с международным участием «Проблемы и инновационные решения в химической технологии (ПИРХТ-2025)»!

Мне очень приятно, что Российская инженерная академия (РИА) принимает активное участие в организации этого мероприятия.

В числе приоритетных направлений деятельности РИА можно выделить следующие: информатизация общества на основе использования современных информационных технологий; разработка системы контроля технического состояния комплексов и систем различного назначения; использование изделий и технологий двойного назначения при создании высокотехнологичной продукции и диверсификация оборонно-промышленного комплекса; применение в промышленности нанотехнологий и наноматериалов.

Для эффективного развития этих направлений необходимо тесное сотрудничество промышленности и университетов с их богатой историей, глубокими академическими традициями и высокопрофессиональными коллективами. Необходимы развитие и совершенствование научных подходов в решении актуальных прикладных задач. Востребована модернизация образовательных программ, подразумевающая развитие их практико- и проектно-ориентированного, а также междисциплинарного характера. Приветствуется активное привлечение к сотрудничеству работодателей. Все это было бы невозможно без нашего тесного общения, которое позволяет создать единое научно-информационное пространство и сформировать системный подход к интеграции ученых, инженеров и промышленников.

Уже не первый раз эта конференция собирает ведущих учёных и специалистов, успешно работающих в области химической технологии и экологии.

Желаю Вам насыщенной повестки дня, содержательных дискуссий, позитивного обмена опытом и рождения гениальных идей, новых свершений, формирования крепких научных связей!

Уверен, что Конференция даст новый импульс развитию Российской инженерной науки и химической технологии, будет способствовать разработке и внедрению инновационных технологий, практическому применению исследований в реальном секторе экономики.

Сопредседатель оргкомитета, президент Российской инженерной академии,

Гусев Борис Владимирович,
доктор технических наук, профессор, академик Российской инженерной академии, член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки РФ, лауреат Государственных премий СССР и РФ, 5-ти премий Правительства РФ в области науки и образования.

Пленарные доклады

УДК 66.0

**ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПРОЕКТА
«МАЛОТОННАЖНАЯ ХИМИЯ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ
ПОЛИМЕРЫ» ПО ПРОГРАММЕ «ПРИОРИТЕТ-2030»**

М.А. Ваниев

*Волгоградский государственный технический университет
Волгоград, Россия
vaniev@vstu.ru*

В докладе представлена информация о реализации стратегического проекта (СП) ВолгГТУ «Малотоннажная химия и специальные полимеры», который ориентирован на создание продуктов, направленных на решение общественно значимой проблемы, связанной с обеспечением технологической независимости страны. Отмечается, что реализация проекта является ответом на внешний вызов, который проявляется в усиливающейся санкционной политике, что, в свою очередь, детерминирует амбициозность задачи, заключающейся в разработке технологии и постановке на производство линейки критически важных продуктов: мономеров, реакционноспособных смол, а также специальных каучуков и пластиков.

Приводятся примеры взаимодействия университета с индустриальными партнерами, с которыми ведутся работы над продуктами/технологиями, находящимися на разных уровнях технологической готовности (УГТ). В частности, разработка фотополимеризующихся композиций (ФПК) для 3D-печати осуществляется по запросу промышленного партнера ООО «Миникуб» в двух направлениях – синтез акриловых олигомеров – новых компонентов ФПК на базе отечественного сырья и разработка рецептур ФПК на основе промышленно выпускаемых в РФ ингредиентов. Отмечен также опыт взаимодействия регионального (ООО "Волгоградпромпроект") и межрегионального (ООО ИК ЦТО, СибНИА) предприятий, академического института (ФБУН "Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского" СО

РАН) и ВолгГТУ в части создания новых связующих для негорючих полимерных композиционных материалов, обладающих потенциалом огнеупоров и огнепреградителей, которые востребованы в авиационной, транспортной и строительной отраслях. В партнерстве с ИОНХ им. Н.С. Курнакова РАН и ООО «Автокомтехнологии» инициированы поисковые НИР, направленные на разработку отечественной технологии производства гидрированных полимеров некаталитическим и каталитическим методами. Проект ориентирован на импортозамещение гидрированного бутадиенилнитрильного каучука.

В докладе акцентируется взаимосвязь СП с образовательной политикой и политикой технологического предпринимательства университета. В результате получила развитие запущенная в 2022 г. подготовка выпускных квалификационных работ (ВКР) в формате «Стартап как диплом», тем самым расширилась вовлеченность студенческих проектных команд в реализацию продуктовых линеек Стратегического проекта и активизировалась участие проектных команд в акселерационных программах. Приводятся примеры победителей в конкурсном отборе программы «Студенческий стартап», реализуемой Фондом содействия инновациям в рамках федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства».

В ракурсе влияния стратегического проекта на институциональные изменения университета отмечается создание системы формирования кадрового резерва для НИР и НИОКР из студентов, выполняющих ВКР по тематике продуктовых линеек Стратегического проекта, а также реорганизацию внутренних процессов межфакультетского взаимодействия и упорядочение взаимосвязей с аппаратом управления.

Работа выполняется при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZUS-2023-0007 на основании Соглашения номер 075-03-2024-126 от 17.01.2024 с изменениями).

УДК 678.01

**ДИНАМИЧЕСКИЕ, ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА РЕЗИН
И ПОЛИХРОМАТИЧЕСКИЕ, ПОЛИХРОННЫЕ
И ПОЛИСХЕМАТИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ
РАЗНОЗВЕННЫХ АНСАМБЛЕЙ ПОЛИДИЕНОВ
ПРИ ТЕРМООБРАБОТКАХ**

Ю.Ф. Шутилин

*Воронежский государственный университет
инженерных технологий, Воронеж, Россия
shurf@mail.ru*

Полимерные системы отличаются многообразием форм, структур и превращений, что отражается на их свойствах, важнейшими из которых являются динамические и прочностные качества. На конференции ПИРХТ-22 были доложены результаты исследований термомодификации резин на основе полидиенов и отмечены факты повышения динамической выносливости на десятки процентов, но незначительно прочности при растяжении. Однако ввиду неоднозначности результатов и для бутадиенсодержащих каучуков невоспроизводимости эффекта, за прошедшее время проанализированы исследования прошлых лет и были проведены работы по уяснению молекулярных причин повышения регулярности этих полимеров.

В частности, методом ДСК исследованы полибутадиены регулярного строения – каучук СКДт (титановый, 93% цис-1,4-звеньев), и «смешанной» структуры – типа СКД СР (литиевый, 53% 1,2-звеньев). Во-первых установлено, что в пределах ошибки опыта после тепловых воздействий температура стеклования, т.е. структура цепей, обоих эластомеров не изменилась. Во-вторых, после термомодификации наблюдалась заметная кристаллизация СКДт, особенно интенсивно происходящая при температурах ниже 100 °С (условия ноу-хау) в зонах λ -переходов. Из совместного рассмотрения обоих наблюдений следует, что у обоих каучуков не изменилось соотношение изомерных звеньев, но у цис-

1,4-ПБ значительно увеличилась регулярность макромолекул. Это по всем канонам физикохимии полимеров, а также в соответствии с теорией Журкова и должно приводить к росту динамических и прочностных свойств их резин.

Применение результатов исследований для термомодификации наполненных стандартных вулканизатов СКДт дало искомые результаты – неожиданно низкие (от 100 °С и менее) температуры прогрева обеспечили на 1-м этапе исследований повышение физической прочности (магистр Blessing Ishiko), а на 2-м – рост динамической выносливости (бакалавр Стучилина Э.В.).

В табл. 1 представлены результаты экспериментов, которые подтверждают рост прочности и динамических свойств вулканизатов СКДт, прогретых от 100 °С и ниже, ранее не отмечаемых в опытах по его термомодификации

Таблица 1. Физико-механические и динамические свойства модифицированных вулканизатов СКДт

Показатели	ТУ ПЗ24 $\epsilon_{ст}=0\%$, $\epsilon_{дин}=250\%$			ТУ №330 $\epsilon_{ст}=0\%$, $\epsilon_{дин}=150\%$				
	Исход- ный	Ниже 100 °С	Выше 100 °С	Исход- ный	Ниже 100 °С	Ниже 100 °С	При 100 °С	Выше 100 °С
МРС, тыс. ц	>1 млн	977,7	374,2	136,9	198,8	160,3	139,3	95,5
M ₁₀₀ , МПа	1,6	1,9	1,9	2,2	2,4	2,4	2,6	2,9
M ₃₀₀ , МПа	5,0	6,4	5,7	7,2	7,4	7,5	8,5	-
f _p , МПа	10,1	13,7	9,0	9,9	8,8	9,7	9,1	7,9
ϵ_p , %	460	490	430	370	340	350	310	270
Θ_p , %	10	8	9	7	6	6	5	4

Как полагаем, молекулярные превращения, происходящие в условиях непрерывных термофлуктуаций (по Бартеневу), затрагивают межмономерные – диаллильные связи, и происходит их разрыв с образованием свободных радикалов, в тем большей степени, чем более нерегулярна структура полимера. Эту нерегулярность определяют различные по изомерии звенья, что названо Коршаком разноразнообразием, а Эмануэль и Бучаченко условно

причислили к ансамблям близкие по структуре подобные элементы, имеющих сходные изомерные структуры цепей.

В химической физике принимают, что такие структуры имеют разные константы реакций и считаем, сначала расходуются «слабые» элементы системы, затем все более устойчивые и процесс развивается в ступенчатых превращениях; начинается со слабых, дольше длится на средних и заканчивается сильнейшими. Подобное представление начала реакционных циклов по Семенову описывается 3-х этапной схемой: 1. Зарождение. 2. Рост и 3. Обрыв цепи. В последовательных превращениях реагируют все более активные ансамбли, в которых статистическое большинство элементов взаимодействует на 2-ом этапе, а самые «сильные» завершают процесс.

Но он может быть продолжен, если увеличить воздействие – флуктуацию, на прореагировавшую систему и процесс продолжится по той же 3-х ступенчатой схеме, но с ансамблями, имеющими иное, более «сильные» элементы, в данном случае звенья полидиенов с повышенной энергией межмономерных связей. Процесс проявляется в 2 ступеньки, каждая из которых состоит из 3-х этапов, образующих своеобразную лестницу кинетических превращений, поименованных Эмануэлем и Бучаченко полихроматическими. (Позже им под давлением авторитетов пришлось изменить название на не очень удачный термин полихронный). При втором и последующем воздействии флуктуаций на систему процессы возобновятся по тем же полиступенчатым кинетикам.

Однако при всей удачности полихроматической теории ансамблей, не было учтено, что в соответствии с законом действия масс и константе химических реакций, по завершении любого химического процесса среде останется часть исходных компонентов. В НМС их будет мало до ничтожного количества, в ВМС – осязаемые содержания, непрореагировавших элементов. Поэтому нами в 2017 году был предложен и обсужден на ПИРХТ-22 более логичный термин – полисхематический, полнее описывающий превращения разновенных ансамблей, учитывающий незавешённость реакций, особенно ярко проявляющуюся в полимерах.

Из сравнения различий между структурно похожими цепями линейных полидиенов – цис-1,4-полибутадиена и цис-1,4-полиизопрена, с некоторым приближением можно считать, что у них близки силы межцепных взаимодействий, гибкость макромолекул и свободный объем, в котором они колеблются.

Однако существенные топологические различия – наличие боковой CH_3 группы у макромолекул 1,4-полиизопрена, меняет картину колебаний участков цепей обоих каучуков. Поэтому в полиизопренах наблюдается бóльшая температура стеклования – -55 °С у СКИ-3 в сравнении с -93 у СКДт, что связано с затруднением вращения кинетических сегментов CH_3 группой. «Утяжеление» элементов системы в их ансамблях легло в основу предлагаемой гипотезы о неравнозначности термофлуктуационных движений, химической активности и разной зависимости 1,4 ПБ и 1,4-ПИ от температуры, а именно.

Если в представляемом анализе взять за основу движения кинетический сегмент, то он у 1,4-ПИ почти в 3 раза больше, чем у 1,4-ПБ, а это означает бóльшую инертность элементов цепей у полиизопрена в термофлуктуационных колебаниях. В таком случае в макромолекулах 1,4-ПБ амплитуда солитонной волны будет больше, чем у 1,4-ПИ при одной и той же температуре, а в ходе её повышения количество термофлуктуационных распадов у каучука СКД будет намного больше, чем у СКИ-3. Это означает бóльшую химически активность цис-1,4-полибутадиена в сравнении с цис-1,4-ПИ, что согласуется с литературными и полученными нами ранее данными, а именно.

В «нулевых» были проведены исследования окисления пленок ПД при разных температурах (аспирант Чичварин А.В., 2002-2005гг.), результаты которых после обработки представлены в табл. 2. Более раннее появление ОН-групп (например, 80 час у СКДт против 92 час у СКИ-3 при 80 °С) свидетельствует о бóльшей скорости присоединения кислорода к цис-1,4-полибутадиену. Кроме того, в процентах Характеристическая вязкость в середине прогрева у пленок СКИ-3 намного выше, чем у пленок СКДт и стремительно возрастает при увеличении температуры окисления начиная со 100 °С (табл. 2).

Таблица 2. Характеристическая вязкость в середине плато прогрева пленок (20 мкм) полидиенов, время появления ОН-групп (час) и разность ($\Delta[\eta]_{ш}$) между $[\eta]_{20}$ и $[\eta]_{ш}$

Каучуки и их характе- ристики	Температуры прогрева, °С							
	20	40	60	80	100	120	140	160
СКИ-3 $[\eta]$, дл/г	4,15	3,73	3,35	3,0	2,3	2,1	1,99	1,9
Появление ОН	-	-	-	92	21	6	2	1
$\Delta[\eta]_{ш}$, дл/г/%		0,42/10	0,8/19	1,15/28	1,85/44	2,05/49	2,16/52	1,96/47
СКДт $[\eta]$, дл/г	2,36	2,26	2,15	2,1	1,99	1,89	1,84	1,8
Появление ОН	-	-	-	80	17	5	1,7	0,9
$\Delta[\eta]_{ш}$, дл/г/%		0,1/4,2	0,21/9,8	0,26/11	0,37/16	0,47/20	0,52/22	0,56/24

Таким образом, изменения – рост кристаллизруемости, физической и динамической прочности являются следствием улучшения структуры в ходе термомодификации вулканизатов на основе СКДт при $T \leq 100$ °С. Выше отмечалось на затруднения вращения вокруг С–С связей CH_3 группой, что сказывается на кинетике, механизмах термофлуктуационных распадов полимеров, в первую очередь вследствие большего (в 3 раза) размера кинетического сегмента ПИ. По представлениям теоретической механики помехи вращательному движению вокруг С–С-оси, характеризующие скручиваемость разнорезной системы, описываются моментом инерции (I) и чем он выше, тем труднее раскрутить вращающееся тело – в данном случае кинетический сегмент ПИ.

Из общей формулы расчета $I = mr^2$, где m – масса тела, r – расстояние до оси вращения следует, что для «раскручивания» кинетического сегмента полиизопрена требуется энергия импульса – флуктуация, вероятно в разы большая, чем для ПБ. Из этого следует, распад цепей ПИ должен происходить при большей температуре, чем полибутадиена, а это значит, что ПБ более склонны к сшиванию и, как отмечено выше, более активны в начале и в ходе реакций, например, окисления (табл. 2).

В полидиенах подвержены распаду непрочные (231 кДж/моль) диаллильные связи и начинается распад цепей со слабейших из них, создавая первичные, способные к взаимодействи-

ям макрорадикалы. Из общих соображений, разлет осколков от распада массивного объекта – в данном контексте ПИ цепей, происходит на меньшие расстояния, а это значит, что в дальнейшем «непарные» рекомбинации будут происходить и с соседними макрорадикалами, и с НМС, расположенными вне полимерной клетки. Вероятно, по этой причине в литературе проводится идея о деструкции полиизопренов при повышенных температурах (как бы) в присутствии НМС.

После распада макромолекул ПБ, менее громоздкие осколки, возможно в большей мере способны к разлету, поэтому не остаются в реакционной клетке и взаимодействуют-рекомбинируют с рядомлежашими макроцепями по разным сценариям. 1. При пониженных термофлукуационных энергиях/температурах более вероятен «разлет» макроосколков на «соседей» и с ними «непарные» взаимодействия, приводящие к увеличению регулярности макромолекул. 2. При повышенных термофлукуационных энергиях/температурах допустимы и «суперхлопывания» соседних парных бирадикалов с образованием связей между макромолекулами, приводящие к соединению соседних цепей. Подобные соседние «суперпарные» рекомбинации приводят к преобладанию структурирования ПБ при высокотемпературных воздействиях.

Для последующих умозаключений важны факты замедления деструкции полиизопренов в сравнении с полибутадиенами при понижении температуры, а, следовательно, и потребность в повышенной температуре для осуществления процессов в ПИ по «непарному» сценарию. Из логических умозаключений следует, что для увеличения полезного выхода по «непарным» реакциям в полибутадиенах необходимо уменьшать температуры (энергии термофлукуаций) и это приведет к увеличению свойств по почти невероятному сценарию, а именно.

Для полиизопренов энергии термофлукуационных «хлопков» намного ниже, чем для полибутадиенов и разрыв их цепей наступает при более высоких температурах, поэтому общепринят постулат об их предпочтительной термодеструкции. В отличие от ПИ, для более лабильных макромолекул полибутадиенов требу-

ются пониженные температуры начала распада и преимущественного взаимодействия между «непарными» макрорадикалами.

При общепризнанных для модификации повышенных температурах разрыв цепей в СКДт происходит настолько энергично, что макрорадикалы отлетают от места термофлуктуации так, что для части из них становится невозможным не только парная рекомбинация, но и непарная таковая. Поскольку гашение радикалов неизбежно происходит, то активные из макроцепей ПБ «суперпарно» взаимодействуют и со своим ближним окружением, и с «дальними» цепями, их активируя и присоединяясь к ним. Так происходит сшивание полибутадиенов и принят постулат об их предпочтительном структурировании. Образно говоря, термофлуктуационный «хлопок» макромолекул в ПБ происходит намного энергичнее, чем в ПИ, и в этом их принципиальное различие в поведении при тепловых воздействиях.

Таким образом, в отличие от общепринятых повышенных температур модификации, вулканизации и пр. способов улучшения свойств эластомеров, для увеличения регулярности полибутадиенов и бутадиенсодержащих каучуков необходимо воздействие пониженных температур (и энергий, например, облучения) для снижения энергии макрорадикалов и предотвращения сшивания подобных ВМС.

УДК 678

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ СИНТЕЗА ПОЛИМЕРОВ

Т.И. Игуменова

Воронежский филиал ФГБУ

*«Ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
Научно-исследовательский институт синтетического
каучука им. академика С.В. Лебедева», Воронеж, Россия
t02081960@yandex.ru*

Не является секретом, что полимеры являются основными материалами для изготовления изделий широкого спектра назначения. Стратегические направления развития химической отрасли обусловлены Указом Президента Российской Федерации от 25 апреля 2022 г. № 231 «Об объявлении в Российской Федерации Десятилетия науки и технологии» и концепции технологического развития на период до 2030 года, утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 мая 2023 г. № 1315.

Правовую основу Концепции составляют Конституция Российской Федерации, Федеральный закон «О стратегическом планировании в Российской Федерации», Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технического развития Российской Федерации», Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», Указ Президента Российской Федерации от 2 июля 2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации».

Концепция обобщает материалы стратегических исследований, проведенных Правительством Российской Федерации в июне-августе 2022 г. для определения приоритетных стратегических направлений деятельности Правительства Российской Федерации с учетом ограничений и рисков, связанных с санкционным давлением. Ее реализация направлена на развитие высоко-

технологичных отраслей экономики Российской Федерации, в том числе химической промышленности.

Основные положения Национального проекта технологического лидерства «Новые материалы и химия» (2025-2030 гг.) предусматривают реализацию 55 технологических цепочек со снижением доли импорта химической продукции до 30% с особым вниманием к следующим направлениям проекта:

- Развитие производства химической продукции
- Импортозамещение критической биотехнологической продукции
- Развитие производства композитных материалов и изделий из них
- Развитие отрасли редких и редкоземельных металлов
- Разработка важнейших наукоемких технологий по направлению новых материалов и химии
- Подготовка квалифицированных кадров по новым материалам и химии

Последний пункт основных направлений национального проекта приобретает особое значение, так как только по первичной оценке двух заинтересованных министерств (Минпромторг и Минобрнауки) для динамического развития химической промышленности к 2030 году потребуется около 30 тысяч специалистов с высшим образованием и 70 тысяч – со средним профессиональным. Для реализации этого пункта национального проекта выделен отдельный план «Опережающая подготовка и переподготовка квалифицированных кадров в направлении новых материалов и химии».

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени Научно-исследовательский институт синтетического каучука имени академика С. В. Лебедева» (прежнее сокращенное название института – ВНИИСК) является историческим преемником лаборатории синтетического каучука, созданной по решению ВСНХ СССР от 15 сентября 1928 года в Ленинграде (ныне Санкт-Петербург). Его учеными, среди которых 3 лауреата Ленинской, 16 лауреатов Государственной премий и 18 лауреатов премии АН СССР имени

академика С. В. Лебедева, были сделаны фундаментальные открытия и прикладные разработки, обогатившие отечественную и мировую науку о полимерах. Создание современных технологий и методов управляемого синтеза и модификации эластомеров с заданными свойствами является ключевым моментом в современном понимании механизмов реакций полимеризации и возможном применении методов искусственного интеллекта. Достижения института в области управляемой анионной, катионной и радикальной полимеризации позволяют получать эластомеры и термопласты для различных отраслей современной промышленности.

Основными направлениями деятельности основного (головного института), находящегося в Санкт-Петербурге, являются:

- фундаментальные и прикладные исследования в области химии и каталитического синтеза высокомолекулярных соединений;
- изучение связи «структура-свойство» синтетических полимеров различной химической природы;
- изучение механизма стереорегулярной полимеризации диенов, синтез и технология процессов получения карбоцепных каучуков;
- синтез эластомеров со специальными свойствами для материалов, работающих в условиях повышенных и низких температур, под давлением и в вакууме, под воздействием различных агрессивных сред; создание широкого класса композиционных материалов;
- разработка технологии синтеза термоэластопластов различной химической природы, в том числе технологии производства низкомолекулярных полимеров со специальными свойствами для защитных покрытий различного назначения;

Головной институт аккредитован Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии в области обеспечения единства измерений и официально признана его компетентность выполнения работ по аттестации методик (методов) измерений и метрологической экспертизе проектной, технологической, конструкторской и другой нормативной документации в

производстве синтетических каучуков и нефтехимической продукции.

Воронежское отделение ФГБУ «НИИСК» является филиалом Санкт-Петербургского ФГБУ «НИИСК» (ранее Ленинградского «ВНИИСК») и создан по приказу Правительства СССР 9 февраля 1959 г. Воронежский филиал ФГБУ определил важнейшими направлениями научно-технической деятельности подразделения института следующее:

- совершенствование процессов производства и улучшение товарных свойств каучуков эмульсионной полимеризации общего назначения;
- разработка процессов получения новых каучуков эмульсионной и растворной полимеризации с прогнозируемыми свойствами;
- совершенствование технологии и качества существующих и разработка новых типов товарных латексов для нужд различных отраслей промышленности;
- разработка технологии очистки сточных вод и воздушных выбросов для заводов синтетического каучука;
- разработка процессов синтеза малотоннажной химии для промышленности синтетического каучука.

Главный результат деятельности Воронежского филиала ФГБУ «НИИСК» за все время своего существования это создание, совместно с работниками заводов СК СССР и РФ, полного современного ассортимента бутадиен-стирольных, бутадиен- α -метилстирольных и бутадиен-нитрильных каучуков эмульсионной полимеризации; разработка (совместно с головным ФГБУ «НИИСК») ассортимента товарных латексов; разработка и организация производства каучуков и термоэластопластов анионной полимеризации; разработка и внедрение в промышленность целого ряда ингредиентов полимеризационных систем и химикатов-добавок (инициаторов радикальной полимеризации, инициаторов и со-катализаторов анионной полимеризации, эмульгаторов, ингибиторов, стопперов, антиоксидантов, пеногасителей и пр.); разработка и внедрение комплексных систем биологической и локальной очистки сточных вод производства синтетического каучука.

За годы творческой деятельности института внедрено в промышленность более 160 технологических разработок, получено более 450 авторских свидетельств, 150 патентов Российской Федерации, продано 25 лицензий, из них 4 – за рубеж, строительство завода по синтезу каучука в Китае. Филиал был постоянным участником отечественных и Международных конференций, выставок и ярмарок, его разработки отмечены 120 дипломами и медалями. Филиал выступил инициатором и организатором проведения в Воронеже 7 Всесоюзных научно-технических конференций по каучукам и латексам.

В рамках проведения научных исследований Министерством науки и высшего образования на 2024 г. была выполнена утверждена тема № FRMZ-2024-001 «Разработка физико-химических основ и создание технологии управляемого синтеза и модифицирования эластомеров с заданными свойствами и функциями для различных областей современной техники».

Разработке этой темы предшествовало проведение поисковых научно-исследовательских работ, результаты которых были опубликованы в научных журналах, в виде тезисов докладов на научно-практических конференциях и в патентах. Актуальность темы была обусловлена необходимостью создания новых технологических процессов управляемого синтеза эластомеров с заданными свойствами для резинотехнических изделий, применяемых в различных областях современной техники.

Теоретическая значимость данной работы состоит в получении новых научных данных о модификации каталитических систем, о процессах функционализации эластомеров, о влиянии кинетических, температурных и прочих факторов на микро- и макроструктуру, молекулярно-массовые характеристики и пластозластические свойства полимеров, а также в определении технологических и вулканизационных характеристик резиновых смесей, физико-механических и упруго-гистерезисных показателей вулканизатов резиновых смесей на основе получаемых полимеров.

Практическая значимость отражена в виде оценки эффективности использования модифицированных эластомеров в ре-

цептурах промышленных резиновых смесей для шин и резинотехнических изделий, в том числе со специальными свойствами.

Одним из направлений работы института является разработка физико-химических основ для осуществления управляемого синтеза эластомеров с заданными свойствами методом эмульсионной радикальной полимеризации. Этот метод является наиболее распространенным промышленным способом получения полимеров и используется для производства многотоннажных синтетических каучуков, некоторых видов пластмасс и водно-полимерных дисперсий. Достоинствами эмульсионного метода являются достаточная простота технологической схемы процесса и его высокая производительность, пониженные требования к чистоте исходных продуктов и их сравнительно низкая стоимость, высокая скорость полимеризации и образование эластомера с высокой молекулярной массой, использование воды в качестве реакционной среды, что уменьшает пожароопасность процесса, постоянная вязкость реакционной среды и ее хорошая теплопроводность, что обуславливает простоту регулирования температуры процесса и отсутствие локальных перегревов, возможность получения высокомолекулярных латексов, имеющих малую вязкость, что облегчает их перемешивание и транспортировку.

Бутадиен-стирольные и бутадиен- α -метилстирольные каучуки, получаемые методом эмульсионной радикальной полимеризации, являются многотоннажными каучуками, используемыми в производстве шин и различных РТИ. Другие представители эмульсионных каучуков – бутадиен-нитрильные – обладают высокой маслбензостойкостью и необходимыми прочностными свойствами в сочетании с другими ценными свойствами и широко применяются в производстве различных изделий, эксплуатируемых в агрессивных средах, в условиях широкого диапазона температур.

Использование в процессах сополимеризации модификаторов и дополнительных компонентов, в том числе третьего сомономера, требует подробного изучения физико-химических особенностей и кинетических закономерностей этого процесса. В настоящее время ведется разработка технологии управляемого

синтеза и модификации нескольких сополимеров для получения новых эластомерных материалов и изделий с расширенным спектром эксплуатационных свойств.

Синтетические латексы на основе различных эластомеров как база эмульсионной полимеризации находят применение в самых разных областях – в производстве РТИ, строительстве, легкой промышленности, при изготовлении метеозондов, клеев и пр. Наиболее востребованные латексы на основе хлорсодержащих эластомеров получают эмульсионной радикальной полимеризацией хлоропрена или его сополимеризацией с другими мономерами. Однако ввиду отсутствия в настоящее время в России производства хлоропрена потребность многочисленных потребителей полихлоропреновых латексов удовлетворяется исключительно импортными поставками. Отечественные исследования в области получения хлорсодержащих латексов были прекращены и многие технологии утрачены. В связи с этим поиск новых подходов к модифицированию латексных эластомеров хлорсодержащими звеньями и разработка новых технологий их получения является актуальной задачей для исследований.

Другим направлением разработки физико-химических основ и методов управляемого синтеза эластомеров является использование метода анионной растворной полимеризации. Преимущества этого метода заключаются в возможности точного регулирования микро- и макроструктуры получаемого эластомера, а также в возможности эффективного управления кинетическими параметрами процесса. Анионная полимеризация применима к большему числу мономеров, дает возможность получения стереорегулярных, а также «живых» полимеров с узким молекулярно-массовым распределением и высокой молекулярной массой. Методом анионной полимеризации легче получать блочные и привитые сополимеры. На основе каучуков анионной полимеризации изготавливаются специальные резины разнообразного назначения, в том числе для тепло-, звуко-, газо- и гидроизоляционных уплотнителей. РТИ на основе каучуков анионной полимеризации применяются в санитарной и вентиляционной технике, в гидравлической, пневматической, вакуумной и космической технике. В настоящий момент в России производится очень узкий

ассортимент каучуков анионной полимеризации по сравнению с мировым разнообразием.

В заключение хочу отметить: что несмотря на то, что российский рынок полимеров все еще сохраняет зависимость от импорта, его доля в последние годы серьезно снизилась. Это серьезный прорыв, поскольку раньше из-за дефицита отечественного сырья серьезно ограничивались возможности синтеза и переработки полимеров, а, соответственно, нельзя было говорить о настоящем углублении переработки нефтехимического сырья.

В итоге, как отметил президент Российского Союза Химиков Виктор Петрович Иванов, российская химическая отрасль демонстрирует стабильный рост в среднем на 4-6% ежегодно. Однако в ряде сегментов, прежде всего в области малотоннажной химии, сохраняется определенная зависимость от импорта. Несмотря на это в стране активно формируются новые технологические цепочки, создаются собственные материалы и технические решения, особенно востребованные в условиях внешнего давления.

УДК 621.21

**УВЯЗКА ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
И ХЕМОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ.
НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Е.Г. Гашо

*Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия
gashoyg@mpei.ru*

Мир невообразимо быстро меняется, и энергетический комплекс должен соответствовать изменениям, динамике роста экономики, экологическим требованиям. Безусловно, новый энергетический уклад – это не столько ВИЭ на каждом доме и ветряки в полях, это органичные симбиозы и гибриды нового поколения. Представление о том, что каждый технологический уклад жестко связан с источником энергии (мускульная сила животных, сила ветра и воды, паровые машины, уголь, нефть, газ и, наконец, атом) в рамках индустриального развития – очень линейно, невиданный экспоненциальный рост экономики и ее проблем требует нелинейных решений.

Постоянный пересмотр структуры и приоритетов мирового энергопотребления вызван остро стоящими проблемами климата, экологии, перераспределения топливных ресурсов, политики и экономики, которые заставляют исследователей и производителей искать альтернативные экологически чистые, эффективные и ресурсосберегающие способы производства электрической и тепловой энергии. Эта задача является серьезным вызовом как для академических, так и для отраслевых исследователей на протяжении многих лет [1].

Безоглядный рост мощности и плотности техногенных энергопотоков на планете вступил в противоречие с природой, и надежды на новые чистые источники энергии пока безосновательны и призрачны.

Собственно, ренессанс так называемой «распределенной энергетики» (в том числе на возобновляемых источниках) - это надежда на новую энергетическую революцию, дарующую независимость от крупных энергосистем и свободу от традиционных «грязных» источников энергии. Но эта свобода – во многом мнимая.

Дело вовсе не в том, централизованные энергетические системы безнадежно отстали от стремительно меняющейся жизни, они создавались под приоритеты и темпы индустриального роста, освоения крупных месторождений полезных ископаемых. Да, мир необратимо изменился, но везде по-разному, и различия этих изменений в разных частях планеты невообразимо велики. Это в числе прочего означает, что нет и не появится простых решений.

Ответ подсказывает нам сама природа – новые энерготехнологические симбиозы, обладающие свойством «природоподобности» - nature-like. Это симбиозы одновременно в трех измерениях: источники + потребители, традиционные топлива + НВИЭ и централизованные + распределенные системы.

Уверены, что в нынешних условиях достаточно революционным может оказаться еще один тип симбиозов – атомно-водородные комплексы на основе высоко-температурных газоохлаждаемых атомных реакторов ВТГР. Соответствующие энерготехнологические комплексы на основе ВТГР могут оказаться весьма эффективными и успешными не только в электроэнергетике, но и в металлургии, химии и нефтепереработке, дальнем теплоснабжении.

Практически полвека назад в СССР исследовательскими, конструкторскими, технологическими и промышленными предприятиями страны были начаты исследования и разработки, по программе «Водородная энергетика». Концепция водородной энергетики с атомным производством водорода получила тогда название атомно-водородной энергетики [2].

В середине 1970-х гг. в Курчатовском институте, ОКБМ, НИКИЭТ и др. профильных институтах начали активно развиваться работы по применению атомной энергии не только для производства электричества, но и для энергообеспечения промышленных процессов.

Предлагалось использовать высокотемпературные ядерные реакторы для производства водорода, в технологических процессах в химической, металлургической промышленности и в коммунальном секторе. Развитие этого направления позволяло сохранить нефть и газ для будущего использования как сырье при производстве широкого ассортимента полезных продуктов.

Было обосновано новое направление энергетики, новый технологический уклад – атомно-водородная энергетика, что расширяло сферы и масштабы использования атомной энергии и позволило развивать экологически чистую энергетику без характерных для углеродных видов топлива вредных выбросов в атмосферу и без ресурсных ограничений.

Основой энерготехнологического компонента ядерной энергетики являются высокотемпературные газовые реакторы (ВТГР). Сочетание таких реакторов с технологическими процессами открывает возможности производства водорода и тем самым создаёт основу экологически чистой водородной энергетики, обеспечивая широкое замещение органического топлива в энергоёмких отраслях промышленности. Именно ВТГР может выступить центром атомного энерготехнологического комплекса экологического бестопливного получения водорода, и на этой основе использования хемотермической (скрытой) энергии.

Суть метода заключается в том, что у источника тепловой энергии проводится химическая реакция между определенными компонентами, протекающая с поглощением тепла. При этом тепловая энергия источника переводится во внутреннюю энергию образующихся продуктов реакции, которые в охлажденном состоянии могут транспортироваться на любые расстояния и, вступая в химическую реакцию в пункте потребления энергии, выделять почти такое же количества тепла, сколько было затрачено на проведение прямой реакции.

Для решения задач промышленного и коммунально-отопительного теплоснабжения перспективным является цикл, основанный на процессах паровой конверсии метана — гидрообратования оксидов углерода до метана, реализуемых при температурах 700—1200 К. Именно такие температуры теплоносителя может обеспечить ВТГР с охлаждением гелием.

Если непосредственно на энерготехнологической станции мы из метана получаем водород и СО, то после транспорта их на значительные расстояние, в конечном метанаторе проходит обратная реакция с выделением тепла и получением метана.

Достоинства транспорта энергии (тепла) в химически связанном состоянии по сравнению с доставкой в виде пара или горячей воды проявляются в значительном снижении металлоемкости теплопередающей системы и снижении материалоемкости ее обустройства на единицу передаваемого тепла, отсутствии потерь тепла и отсутствие необходимости теплоизоляции трубопроводов.

Это позволяет значительно увеличить дальность передачи тепла по сравнению с традиционными системами и тем самым охватить эффективным централизованным теплоснабжением от единого мощного центра отдельных рассредоточенных или крупных концентрированных потребителей, удаленных от источника на расстояние до сотни километров.

Такая интеграция энергоемких энерготехнологических комплексов с возможностями хемотермических процессов открывает нам широкие возможности не только для нового энергетического уклада, отработки целого спектра энерго-технологий, по праву относящихся к области НДТ (наилучших доступных технологий) [2]. Добавим, что первый в РФ атомно-энерготехнологической комплекс на основе ВТГР начал проектироваться и строиться в Татарстане.

Список литературы

1. Филимонова А.А., Гашо Е.Г., Чичирова Н.Д. Атомно-водородные гибридные энергетические системы и установки нового поколения: введение в проблему: монография – Казань: КГЭУ, 2023 – 170 с.

2. Столяревский А.Я., Пономарев-Степной Н.Н. Атомно-водородная энергетика// Экономика России-XXI век.-2003. №5(13).

3. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (ИТС-48 – 2023). – М.: Росстандарт, 2024 г.

Секция 1.

«Химическая технология неорганических веществ и материалов»

УДК 628.168.2:661.56

ОСАЖДЕНИЕ ГИДРОКСИДОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ ОКСИДОМ МАГНИЯ

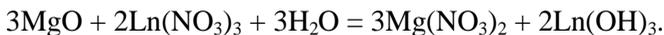
Е.А. Ананьева, В.А. Журавлев, П.А. Сергеев

*Национальный Исследовательский Ядерный
университет «МИФИ», Москва, Россия*

Редкоземельные элементы (РЗЭ) являются ценнейшим и необходимым компонентом для развития высокотехнологичных отраслей промышленности, например, в атомной энергетике, микро и нанoeлектронике, медицине, мобильной связи и др. Совокупный спрос на них возрастает последнее десятилетие на 5-7% ежегодно [1]. Нахождение новых более удобных и экономически целесообразных способов выделения редкоземельных элементов (РЗЭ) из нитратных или хлоридных технологических растворов и их последующее разделение в настоящее время имеет актуальное значение.

В технологии редкоземельных элементов существует операция – осаждение РЗЭ из водных растворов для последующего разделения или использования с целью получения целевых продуктов, например, оксидов для получения люминофоров или оксидов для получения металлов, необходимых для производства магнитов [2,3]. Известны методы вскрытия рудных минералов и осаждения РЗЭ из нитратных растворов в виде малорастворимых гидроксидов с помощью NaOH или NH₄OH.

В работе предлагается новый и более дешевый метод осаждения РЗЭ в виде гидроксидов с помощью оксида магния. Оксид магния ранее не использовался для осаждения РЗЭ(OH)₃.



На первом этапе осаждение РЗЭ проводилось с недостатком оксида магния для получения гидроксидов РЗЭ, не содержащих примеси оксида или гидроксида магния. Второй этап – осаждение с избытком оксида магния. На каждом этапе проводился потенциометрический контроль рН пульпы. Определены степень извлечения Ln_2O_3 из исходного раствора и нитрат-ионов в виде побочного продукта $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$.

Список литературы

1. Юшина, Т. И. Обзор рынка РЗМ и технологий переработки редкоземельного сырья / Юшина Т. И., Петров И. М., Гришаев С. И., Черный С. А. // Горный журнал. – 2015. – № 3. – С. 76–81.

2. Аймбетова, И. О. Как извлечь редкоземельные металлы из техногенных растворов урановой промышленности / И. О. Аймбетова, А. М. Устимов, Ж. К. Бахов [и др.]. – Текст : электронный // Редкие земли : электрон., журн. - 2014. – URL: <https://rareearth.ru/ru/pub/20140829/01538.html> (дата обращения: 29.03.2025).

3. Ларин, Н.К. Извлечение редкоземельных элементов из растворов подземного выщелачивания урана / Ларин Н.К., Иванов А.В., Петров С.М. // Современные проблемы науки и образования. – 2020. – № 6. – С. 45–52.

УДК 66.087.2

РАЗРАБОТКА АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОФОРМЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОДИЯ

А.Б. Аринова¹, В.П. Дмитриенко², Д.А. Макаренков¹

¹*НИЦ «Курчатовский институт» - ККХИ (ИРЕА),
Москва, Россия, nrcki@nrcki.ru*

²*Томский политехнический университет,
Научно-производственная лаборатория «Импульсно-пучковых,
электроразрядных и плазменных технологий (ИШНПТ)»,
Томск, Россия, dvptsk@tpu.ru*

Актуальность электрохимических процессов в технологии в настоящее время обусловлена множеством факторов, связанных с современными тенденциями в науке, промышленности и энергетике. Получение металлического родия остаётся актуальным ввиду его уникальных свойств и широким спектром применения. Можно ожидать дальнейшего роста интереса к этому металлу на фоне глобальных тенденций устойчивого развития и инноваций [1].

Решением многих электрохимических проблем получения чистого металлического родия является разработка и внедрение оригинальных конструкций электролизёров, в том числе с ионообменными мембранами. Для предотвращения выделения газообразного хлора и увеличения степени извлечения продукта, оптимальным решением является усовершенствование процесса посредством разработки мембранного электролизёра.

Электрохимическое восстановление родия ведут в фарфоровых электролизных ваннах на титановых катодах. Графитовые аноды электролизных ванн покрыты диафрагмами из ткани ПВХ. Электролиз идет на истощение электролита по Rh, без циркуляции и дополнительных емкостей, перемешивание осуществляется за счет выделяющегося на анодах газа. Окончание процесса электролиза определяют в зависимости от содержания иридия в катодном родии и по остаточному содержанию родия в маточном

растворе после электролиза. Остаточное содержание родия в маточном растворе после электролиза определяют визуальным методом сравнения цветовой насыщенности электролита с эталонным раствором родия.

Общая площадь катодной поверхности составляет $1,26 \text{ м}^2$. Катодная плотность тока колеблется от 480 А/м^2 до 1500 А/м^2 . Общая площадь анодной поверхности – 1 м^2 . Режим электролиза выставляется по приборам: напряжение на электролизере 4–8 В, сила тока 600–1800 А. Состав входящего на электролиз раствора: $\text{HCl} - 150 \pm 20 \text{ г/л}$; Rh (по металлу) – $130 \pm 20 \text{ г/л}$; Плотность раствора – $1300 \pm 0,20 \text{ кг/м}^3$. Состав раствора после электролиза: Rh (по металлу), не более 15 г/л.

Содержание соляной кислоты в процессе и при окончании электролиза не контролируется. Родий в солянокислом растворе находится в виде комплексных анионов. После подключения электролизной ванны к источнику тока, подают напряжение и устанавливают ток 600–800 А. Через 2–3 часа от начала электролиза увеличивают ток до 1000–1800 А, контролируя при этом выбросы хлора в технологическую вентиляцию. Если выбросы по хлору превышают предельно допустимые выбросы, то ток электролиза уменьшают.

В процессе электрохимического восстановления раствор нагревается до $70\text{--}85 \text{ }^\circ\text{C}$ и его объем уменьшается из-за испарения и уноса в вентиляцию аэрозолей, поэтому объем раствора в электролизной ванне поддерживают постоянным, при необходимости разбавляют его горячей водой через каждые 2–3 часа [2,3].

Анализ существующего технологического процесса показал, что при разработке мембранного электролизера необходимо решить несколько задач, связанных с технологией и конструкцией установки:

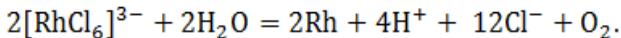
1) снижение температуры электролиза. При $900 \text{ }^\circ\text{C}$ соляная кислота обладает большой химической активностью и легко испаряется. Необходимо проверить стойкость применяемой катионообменной мембраны, а также гомогенизированного полипропилена в данной среде (МК-41, Nafion и мембраны Asahi Glass Company);

2) определение выхода по току родия от температуры. Рассмотреть возможность снижения температуры процесса электролиза без снижения выхода основного продукта;

3) разработка схемы охлаждения анолита и католита.

Предлагаемая конструкция образца мембранного электролизера для восстановления родия состоит из следующих частей: корпуса, катодов, анодов, анодной коробки. Для проведения технологических испытаний электролизер устанавливается на экспериментальном стенде, в состав которого входят напорная емкость продуктивного раствора, напорная емкость анолита, сборные емкости анолита и маточного раствора, насосы кислотостойкие, запорная арматура, вентиляционный отсос, источник тока (рис. 1). В электролизере устанавливается рассчитанное количество катодов и анодов, размещенных в анодных коробках. На коробках установлены катионообменные мембраны, препятствующие переходу анионного комплекса родия в анодное пространство.

При пропускании электрического тока на аноде протекает реакция окисления воды с выделением кислорода. Разделение общего электродного пространства электролизера, при помощи катионообменной мембраны на катодное пространство и анодное пространство приводит к протеканию совершенно другого процесса. Вместо выделения хлора в первом случае, на аноде будет выделяться кислород), а суммарная реакция в этом случае выглядит следующим образом [4]:



Продуктивный раствор подается в общее катодное пространство из напорного бака продуктивного раствора. На катодах осаждается порошок родия, обезметалленный маточный раствор поступает в сборные баки, а затем снова подают в напорные баки. Таким образом, происходит циркуляция продуктивного раствора и снижение концентрации родия до минимально допустимых значений. В результате электролиза анолит циркулирует от напорного бака через анодные коробки до сборника анолита, откуда насосом подается в напорные баки (рис. 1). При подаче напряже-

ния на электроды начинается электрохимический процесс осаждения родия на катоде, и выделение кислорода на аноде.

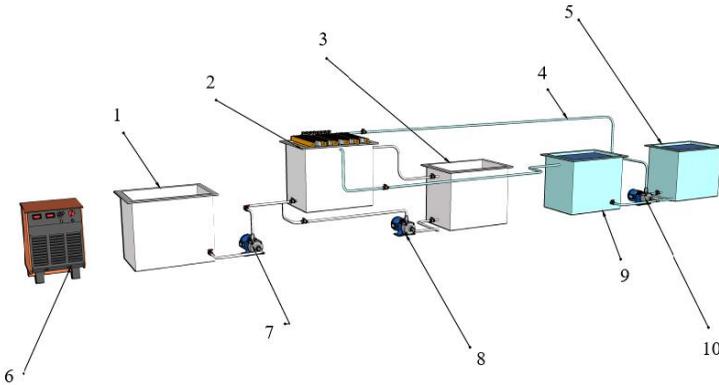


Рис.1. Схема процесса электроосаждения родия. 1 – сборник продуктивного раствора; 2 – электролизёр; 3 – сборник маточного раствора; 4 – линия циркуляции анолита; 5 – напорный бак анолита; 6 – источник тока; 7 – насос подачи продуктивного раствора; 8 – насос циркуляции маточного раствора; 9 – сборный бак анолита; 10 – насос подачи, циркуляции анолита.

Полученный порошок родия промывается, сушится и отправляется на последующую технологическую операцию.

Длительность времени осаждения можно ограничить 25 часами, а плотность тока необходимо использовать максимальную – 8-10 А/дм². Максимальная степень извлечения родия из электролита $\Upsilon_{\text{извл}}$ при плотности тока 10 А/дм² и времени электролиза 40 часов составила 90 %. Эксперимент показал, что повышенная температура в изученных пределах практически не влияет на состояние ионообменной мембраны. Механическая прочность её изменилась мало, а падение напряжения на ячейке в случае приращения мембран изменилось незначительно на 40–80 мВ.

Предлагаемая технология и конструкция мембранного электролизера является экономически эффективной, т.к. её внедрение позволит значительно повысить степень извлечения родия в процессе электроосаждения и избежать выделение хлора.

Список литературы

1. Федоров И.А. Родий. М.: Изд-во Наука. 1966. 276 с.
2. Игумнов М.А., Карманников В.П., Юрасова О.В. Электролитическое выделение платиновых металлов из маточных растворов и рафинатов // Цветные металлы. – 2001. – №4. – С. 46–49.
3. Дожденко В.Д., Комозин П.Н., Евтушенко Е.Г., Киселев Ю.М. Комплексы родия в щелочных растворах // Журнал неорг. химии. – 2002. – №5. – С. 783–789.
4. Аринова А.Б., Дмитриенко В.П. Технология процесса электрохимического восстановления родия // Вестник государственного технического университета. – 2019. - №4. – С. 47–54.

УДК 546.02

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ С ХЕЛАТООБРАЗУЮЩИМИ ИОНООБМЕННИКАМИ В ПРИСУТСТВИИ АМИНОКИСЛОТ

А.В. Астапов¹, Л.П. Бондарева²

¹*ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и
Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия*

²*Воронежский государственный университет
инженерных технологий, Воронеж, Россия
solar_al@mail.ru*

В водах биохимических, фармацевтических и других производств часто содержатся смеси катионов переходных металлов и аминокислот. При ионообменной очистке такой воды могут поглощаться как катионы переходных металлов, так и аминокислоты в различной последовательности.

В присутствии низкомолекулярного лиганда катион металла может распределяться между ионообменником и раствором, образуя комплексные соединения в обеих фазах. При определенных условиях возможно образование смешаннолигандных соединений в сорбенте. Поэтому важно знать состав соединений, образующихся в фазе ионита.

В данной работе изучено взаимодействие ионов Cu^{2+} и Ni^{2+} с иминодиуксусным хелатообразующим ионообменником АНКБ-35, аналогами которого являются Hydrolite ZGD851 (КНР) и Purolite S930 (США), в присутствии анионов глицина (Gly^-) и глутаминовой кислоты (Glu^{2-}). В исследовании применяли сорбционный, изопиестический, калориметрический методы, ИК-спектроскопию и компьютерное моделирование.

В условиях опыта ($T=298\text{ K}$, $\text{pH}=11$, избыток аминокислоты) ионы металла в растворе могут образовывать с двумя анионами глицина и глутаминовой кислоты соединения состава $[\text{MeGly}_2]$ и $[\text{MeGlu}_2]^{2-}$. Эти соединения либо заряжены отрицательно, либо являются комплексными неэлектролитами. Поэтому протекание ионного обмена невозможно без полного или частичного разрушения комплекса, находящегося в растворе, поскольку условия подготовки ионита позволяют предполагать, что функциональные группы полностью диссоциированы и заряжены отрицательно. При разрушении его полностью ион металла будет сорбирован ионитом как двухзарядный ион Me^{2+} , при частичном разрушении комплекса в процессе ионного обмена будет участвовать уже однозарядный комплексный ион, в состав которого входит одна молекула аминокислоты.

Для определения иона, который сорбируется ионитом был применен способ представления изотерм в координатах, которые позволяют по виду зависимости $\overline{C}_B = f(P^{|Z_A|/|Z_B|})$, где P – коэффициент распределения, определить соотношение зарядов входящего в ионит (Z_B) и выходящего из ионита в раствор (Z_A) ионов. Зная заряд иона, который находился в ионите изначально (в нашем случае это ион Na^+), можно найти заряд сорбируемого иона. Компьютерная обработка данных зависимостей показала, что данные функции описываются более точно при значении $Z_B=1$ для всех исследованных систем. Следовательно, в данных системах не происходит полного разрушения комплекса, находящегося в растворе, и в процессе ионного обмена участвует комплексный ион $[\text{MeGly}]^+$ или $[\text{MeGlu}]^\pm$, содержащий одну молекулу аминокислоты.

Установление состава сорбируемых ионов позволило, применив модель В.С. Солдатова, рассчитать термодинамические

константы обмена комплексных ионов на АНКБ-35. Затем, из формулы $K=K_1/K_2$, где K – константа обмена, K_1 – константа устойчивости комплекса в ионите, K_2 – константа устойчивости комплекса в растворе, были вычислены константы устойчивости смешаннолигандных комплексов, образующихся в фазе ионита. Логарифмы констант устойчивости (R – функциональная группа ионита): $[R-CuGly] - 17,15$; $[R-CuGlu] - 15,89$; $[R-NiGly] - 12,56$; $[R-NiGlu] - 10,51$.

Таким образом, в результате исследований был установлен состав и константы устойчивости комплексов, образующихся в фазе иминодиуксусного ионита.

УДК 539.231

ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ ЭЛЕКТРОХРОМА WO_3 МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ПЭТ

*Г.Ф. Байгузжин^{1,2}, Е.С. Бокова¹, П.В. Пащенко⁴,
Е.П. Гребенников², П.С. Шмелин³*

¹*Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия*

²*МИРЭА - Российский технологический университет,
Москва, Россия*

³*Центральный научно-исследовательский технологический
институт «Техномаш», Москва, Россия*

⁴*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия
bayguzhing@mail.ru*

Электрохромные материалы позволяют осуществлять динамический контроль пропускной способности солнечного света и играют важную роль в энергоэффективных «умных окнах» для снижения расходов на охлаждение и освещение зданий. Тонкие

пленки оксида вольфрама были выращены на поверхности электропроводящей ПЭТ – пленки, покрытой ИТО, методом магнетронного распыления (Alcatel SCM 650) в атмосфере реактивного плазмообразующего газа высокой чистоты, состоящего из аргона и кислорода в соотношении 2:1. Давление смеси газов в вакуумной камере составило 0,1 Па. Для напыления использовали металлическую мишень из вольфрама чистотой (99,9% ООО «Гирмет»). Напряжение разряда 48 В, время осаждения составило 30-120 мин при комнатной температуре. Мощность, подводимая к магнетрону, автоматически поддерживалось постоянной на уровне 400 Вт. Скорость вращения подложки 20 об/мин. Толщину слоя WO_3 измеряли с помощью высокочувствительного и точного поляризационно-оптического метода исследования поверхностей и границ – эллипсометрии (Sentech SE 800). Толщина слоя при напылении 70 мин составила 610 ± 10 нм, при 120 мин – $1,00 \pm 0,15$ мкм.

Работоспособность полученных функциональных слоев оценена в составе электрохимической ячейки, состоящей из электрода со слоем напыленного WO_3 на поверхность ПЭТ с ИТО и электрода из электропроводящей ПЭТ – пленки с покрытием ИТО с сопротивлением $80 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Установлен диапазон управляющих рабочих напряжений 1200 – 2000 мВ. Управляемый диапазон изменения пропускания на длине волны 530 нм составляет 25 – 70% и на длине волны 1000 нм 15-77%.

Установлено, что метод магнетронного напыления позволяет получать тонкие слои электрохрома WO_3 на поверхности ПЭТ с ИТО, работоспособные в составе электрохимической ячейки. Благодаря контролю пропускания солнечного света технология может применяться для изготовления гибких дисплеев, а также для отображения данных в информационных системах с малым энергопотреблением.

УДК 553.61

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДНОГО ГЛАУКОНИТА МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Е.М. Горбунова, К.Б. Ким

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
Lobanova8686@gmail.com*

Глауконит – минерал, железистый аналог иллита, относящийся к группе слюд с дефицитом межслоя. Высокий заряд тетраэдрических сеток и присутствие активных центров на базальных поверхностях минерала обеспечивают высокие показатели сорбционных свойств [1]. Цель работы - исследование природного глауконита Каринского месторождения (Россия, Челябинская обл.) методом термического анализа и обоснование термической активации для получения сорбента на его основе.

Экспериментальные исследования природного глауконита проводили на приборе синхронного термического анализа (ТГ-ДТА/ДСК) модели STA 449 F3 Jupiter, фирмы NETZSCH в атмосфере азота.

Проведенные термические исследования свидетельствуют, что исходный образец глауконита имеет классические характеристики, присущие глинистым минералам. В температурном интервале от 20 до 200 °С идет высвобождение свободной, структурно не связанной воды, находящейся на поверхности зерен глауконита и в межслоевом промежутке смектита. При температуре 490 °С происходит дегидроксилизация, разрушение структуры глауконита и начало процессов спекания и аморфизации минерального вещества (рисунок 1).

Полученные термические характеристики послужили основанием для выбора температуры для термической активации глауконита. При температуре в 400 °С происходит высвобождение пор и поверхности от избытка воды, однако структура мине-

рала остается стабильной, что подтверждается данными по тек-
стурным характеристика глауконита.

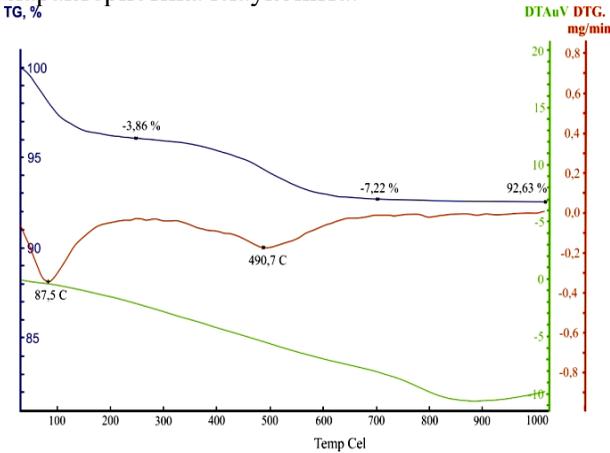


Рисунок 1. Термограмма исходного глауконита

Величина удельной поверхности у образца глауконита составляет $54,5 \text{ м}^2/\text{г}$. В результате обработки стеариновой кислотой (гидрофобные свойства), она уменьшается до $30,9 \text{ м}^2/\text{г}$, что связано с покрытием трещин и поверхности глауконита пленкой гидрофобизатора. Термическая активация при температуре 400 °C не сказывается на свойствах поверхности ($30,51 \text{ м}^2/\text{г}$), однако температурная обработка при 1000 °C приводит к критическому уменьшению величины удельной поверхности до $2,8 \text{ м}^2/\text{г}$., что связано с аморфизацией вещества.

Результаты свидетельствует о том, что в процессе термической активации глауконита меняется состояние его поверхности, разрушаются адсорбционные центры, удерживающие воду. Оптимальная температура для термической активации – 400 °C .

Список литературы

1. П. Е. Белоусова, Н. М. Чупаленков, М. А. Рудминс, В. В. Крупская Месторождения глауконитов России: геологическая позиция, условия образования и перспективы освоения // Литология и полезные ископаемые, 2022, № 3, с. 270–285.

УДК 543.05

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ И РАЗДЕЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ ЗОЛОТА, ПЛАТИНЫ И ПАЛЛАДИЯ

В.Р. Губанова^{1,2}, С.И. Нифталиев¹, Н.Я. Мокшина^{2,3}

*¹Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия*
*²Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина,
Елец, Россия*

*³ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия
lerchonok.99@mail.ru*

Извлечение благородных металлов из техногенных источников является актуальной задачей современной химической технологии. Ограниченность природных запасов золота и металлов платиновой группы при их высокой стоимости и широком применении в промышленности требует развития эффективных методов переработки вторичного сырья. Техногенные отходы часто содержат значительные количества золота (Au), платины (Pt) и палладия (Pd). Утилизация этих отходов с выделением ценных компонентов не только приносит экономическую выгоду, но и снижает экологическую нагрузку. Совместное присутствие Au, Pt и Pd в сложных системах затрудняет их разделение традиционными методами, поэтому возрастает интерес к разработке новых селективных подходов, позволяющих концентрировать и поэтапно разделять благородные металлы для их последующего определения.

Цель исследования состояла в разработке многостадийной схемы концентрирования и селективного выделения ионов золота, платины и палладия из сложных техногенных объектов. В качестве модельных объектов использовали растворы, содержащие Au, Pt и Pd.

Выделение металлов осуществляли методом двухэтапной жидкостно-жидкостной экстракции с использованием ионных

жидкостей. На первом этапе применялась ионная жидкость с дицианамид-анионом, что обеспечивало переход в органическую фазу всех трёх металлов и их одновременное концентрирование. На втором этапе для селективного отделения золота от платины и палладия использовали ионную жидкость с анионом бис(трифторметилсульфонил)имида. Данный анион проявлял высокую селективность к ионам Au(III), что обеспечивало их избирательный переход в фазу экстрагента, тогда как платина и палладий оставались в исходной.

Для разделения платины и палладия применяли селективное осаждение последнего диметилглиоксимом. Этот реагент образует с ионами Pd(II) характерный нерастворимый комплекс жёлтого цвета, в то время как платина при данных условиях остаётся в растворе. Полученный осадок отделяли фильтрованием, что обеспечивало раздельное получение палладия и платины. В результате получены три отдельные фракции: золото в виде экстрагированного комплекса, палладий в осадке диметилглиоксимата и платину в растворе.

Количественное определение металлов проводили спектрофотометрически в УФ-области. Каждая из полученных фракций анализировалась отдельно: золото определяли по поглощению его хлорокомплексов, палладий – после растворения диметилглиоксимата и образования характерных комплексов, платину – по спектральным характеристикам в растворе. Такой подход позволил не только установить концентрацию каждого металла, но и подтвердить отсутствие взаимных примесей, что свидетельствовало о высокой селективности методики.

Разработанная методика концентрирования и поэтапного выделения золота, платины и палладия из техногенных отходов показала эффективность использования двухстадийной экстракции с ионными жидкостями и селективного осаждения. Полученные результаты подтверждают перспективность применения ионных жидкостей и специфических осадителей для решения задач аналитического контроля и переработки отходов, содержащих благородные металлы.

УДК 542.65:66.093:661.887

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВИСМУТА НИТРАТА ОСНОВНОГО

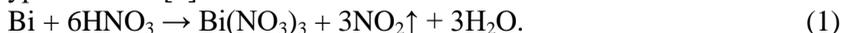
А.С. Даминов¹, О.Д. Шеина², Ю.М. Юхин²

*¹ООО «Завод редких металлов», Новосибирская обл.,
р.п. Кольцово, Россия*

*²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
Новосибирск, Россия
lesschein@yandex.ru*

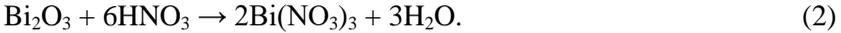
Мировое потребление висмута и его соединений составляет 21 тысячу тонн в год, при этом 13,6 % висмута используется в виде нитратов [1]. Висмута нитрат основной является одним из наиболее широко используемых в медицине соединений висмута. Его применяют в качестве вяжущего и антацидного средства при желудочно-кишечных заболеваниях [2]. В промышленности процесс термического разложения висмута нитрата основного применяют для получения оксида высокой чистоты, который используют в синтезе висмутсодержащих оксидных материалов, а также других соединений висмута [3].

Исходным сырьем для получения висмута нитрата основного является металл марки Ви 1, содержащий не менее 98,0 % висмута. Металл данной марки получают в процессе пирометаллургической переработки свинцовых, медных, вольфрам-молибденовых, оловянных концентратов. Растворяют висмут в азотной кислоте, т.к. азотная кислота является одним из лучших растворителей висмута и его сплавов. При этом порядка 50 % кислоты выделяется в газовую фазу в виде токсичных оксидов азота, а процесс растворения может быть описан уравнением [4]:



В монографии [3] рекомендовано при получении растворов солей предварительно переводить металлический висмут в оксид.

При этом реакция растворения оксида висмута в азотной кислоте протекает по уравнению:



Гидролитическую переработку полученного висмутосодержащего азотнокислого раствора целесообразно проводить добавлением данного раствора в нагретую до 70 °С воду при объемном отношении воды и висмутосодержащего раствора 9:1 с последующим доведением рН смеси водным раствором аммиака до 1,0, а промывку осадка проводить водой при температуре 25 °С [5]. Последовательный гидролиз висмута водой и раствором аммиака при рН 1 позволяет эффективно отделять висмут от примесных металлов и получать висмута нитрат основной высокой чистоты.

При проведении промышленных испытаний использовали металлический висмут марки Ви 1 ГОСТ 10928-90 ТОО «Казцинк» с массовой долей, в %: висмут – 99,1; свинец – 0,71; цинк – $1,0 \cdot 10^{-3}$; сурьма – $1,0 \cdot 10^{-3}$; медь – $3,3 \cdot 10^{-3}$; серебро – $1,0 \cdot 10^{-1}$; мышьяк – $2,0 \cdot 10^{-4}$; железо – $1,0 \cdot 10^{-3}$; теллур – $1,0 \cdot 10^{-4}$. Окисление висмута проводили в реакторе из коррозионно-стойкой стали, снабженном шнеком для перемешивания расплава. Разовая загрузка висмута в реактор окисления составляла 150–160 кг. Плавил висмут при температуре 320 °С и при перемешивании загружали в расплав 20 % вес. технического оксида висмута с предыдущей стадии окисления, повышали температуру расплава до 600 °С и проводили окисление висмута в течение 8 ч.

Исходные висмутосодержащие растворы (380 г/л висмута, 110 г/л свободной азотной кислоты) получали растворением 685 кг технического оксида висмута в азотной кислоте с концентрацией 7,0 моль/л при перемешивании в реакторе из коррозионно-стойкой стали емкостью 2,0 м³. Гидролитическую очистку висмута от примесных металлов проводили в реакторе гидролиза из коррозионно-стойкой стали емкостью 1,6 м³ при следующих условиях: заливали в реактор 900 л дистиллированной воды, нагретой до 70 °С, при перемешивании добавляли 90 л висмутосодержащего раствора, доводили рН смеси добавлением водного раствора аммиака до 1,0, перемешивали пульпу в течение 60 мин. После отстаивания в течение 3 ч маточный раствор отделяли от

осадка декантацией, промывали осадок двукратно 1,0 м³ дистиллированной воды при температуре (25±5) °С. Промытый осадок висмута нитрата основного сушили на противне из коррозионно-стойкой стали при температуре 100 °С в течение 4 ч.

В результате проведенных промышленных испытаний получен висмут нитрат основной, содержащий (в %): окись висмута – 79,89; свинец – 0,0006; цинк – 0,0001; железо – 0,0005; сурьма – < 0,0001; медь – 0,0003; серебро – 0,0003; мышьяк – < 0,0001; кадмий – < 0,00005; теллур – < 0,0001; кальций – 0,0004; магний – 0,0004; натрий – 0,0003; хлориды – < 0,001; соли аммония – < 0,002; карбонаты – < 0,003; сульфаты – < 0,005, что соответствует требованиям ФСП 42-0587612404. Прямое извлечение висмута в продукт из металлического висмута составляет 94,6 %, удельная поверхность полученного основного нитрата равна 0,58 м²/г, а насыпная плотность 1,55 г/см³.

Висмут доосаждали из маточного и промывных растворов добавлением к ним раствора карбоната аммония до pH 3,0 при температуре 55 °С. Осадок висмута нитрата основного фильтровали и направляли на стадию растворения металлического висмута.

Список литературы

1. Bismuth Market. Global Market Study on Bismuth: Supply to Remain Dominated By China during Forecast Period 2016-2024. Persistence Market Research. July, 2016.
2. Машковский М. Д. Лекарственные средства / М. Д. Машковский. – М. : Новая волна, 2011. – 1216 с.
3. Юхин Ю. М. Химия висмутовых соединений и материалов / Ю. М. Юхин, Ю. И. Михайлов. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2001. – 360 с.
4. Карякин Ю. В. Чистые химические вещества / Ю. В. Карякин, И. И. Ангелов. – М. : Химия, 1974. – 408 с.
5. Пат. № 2657673 Российская Федерация, МПК C01G 29/00 (2006.01), C22B 30/06 (2006.01), C22B 3/44 (2006.01). Способ получения висмута нитрата основного : № 2017128491 : заявл. 09.08.2015 : опубл. 14.06.2018 / Даминов А. С., Юхин Ю. М., Даминов В. С. ; Бюл. № 17.

УДК 541.183

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВИТАМИНА В₁₂ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

М.С. Игумнов^{1,2}, С.И. Нифталиев¹, Н.Я. Мокшина^{2,3}

¹*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия*
²*Елецкий государственный университет имени И. А. Бунина,
Елец, Россия*

³*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия*
mi9umnov@yandex.ru

Витамин В₁₂ (цианокобаламин) представляет собой биологически активное соединение, широко применяемое в медицинской практике и фармацевтическом производстве. Одной из актуальных задач современной химической технологии является его селективное извлечение из водных растворов. Среди различных подходов перспективны сорбционные методы благодаря экологичности, низкой стоимости и возможности масштабирования [1].

В настоящем исследовании проведена оценка влияния рН среды на эффективность сорбции витамина В₁₂ природным и лантан-модифицированным бентонитом. Установлено, что введение ионов La³⁺ в структуру глины способствует значительному повышению сорбционной ёмкости по сравнению с исходным материалом.

Максимальные параметры извлечения цианокобаламина (до 96 %) зафиксированы в интервале рН 6–7. В сильноокислой (рН < 2) и сильнощелочной (рН > 10) средах наблюдается выраженное снижение степени сорбции, что обусловлено как изменением поверхностного заряда сорбента, так и деградацией молекулы витамина в экстремальных условиях [1, 2].

Кислотно-основное состояние раствора оказывает существенное воздействие на поверхностные характеристики сорбента и

на структурные особенности молекулы сорбата. При низких значениях pH протонирование функциональных групп цианокобаламина ограничивает его способность к координационному взаимодействию, тогда как в щелочной среде возрастает вероятность гидролиза координационных связей комплекса, что подтверждается литературными данными [3]. Кроме того, при pH выше 10, возможно формирование труднорастворимых соединений, например гидроксида лантана, что приводит к блокировке активных центров поверхности и снижению её сорбционной активности.

Дополнительный вклад в удержание молекул витамина на поверхности модифицированного бентонита вносят процессы координационного связывания с ионами La^{3+} , а также межслоевая адсорбция [2]. Влияние pH на устойчивость молекулярной структуры витамина подтверждено в ряде исследований, где показано, что при $\text{pH} > 10$ происходит разрушение координационных связей вследствие гидролитических процессов, что сопровождается снижением сорбционной способности соединения [2].

Таким образом, результаты работы свидетельствуют об эффективности применения лантан-модифицированного бентонита для извлечения витамина B_{12} из водных систем и подчёркивают важность оптимизации кислотно-основных условий при реализации сорбционных технологий.

Список литературы

1. Watanabe F., Yabuta Y., Tanioka Y., Bito T. Vitamin B_{12} in foods, food supplements, and medicines — a review of its absorption and bioavailability // *Nutrients*. 2022. Т. 14, № 1. С. 112.

2. Нифталиев С. И., Мокшина Н. Я., Игумнов М. С., Плотникова С. Е., Белоусов П. Е., Ким К. Б. Исследование кинетики сорбции витамина B_{12} лантан-модифицированным бентонитом // Сорбционные и хроматографические процессы. 2025. Т. 25, № 1. С. 122–130.

3. Bajaj S. R., Singhal R. S. Degradation kinetics of vitamin B_{12} in model systems of different pH and extrapolation to carrot and lime juices // *Journal of Food Engineering*. 2019. Vol. 272. P. 109800.

УДК 666.3.017

**КОРУНДОВАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ
РОССИЙСКОГО ГЛИНОЗЕМА
С Пониженной температурой спекания**

С.А. Казаков, Д.А. Першаев, Н.А. Макаров

*Российский химико-технологический
университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия
sergey.kazakov.2000@list.ru*

Для исследований использовали глинозем марки Г-00, который подвергали прокаливанию при температуре 1450 °С. Для повышения прочностных характеристик материала использовали эвтектическую добавку. В качестве оксидной системы, наиболее подходящей для использования в технической керамике на основе корунда, выбрана эвтектическая точка в системе MnO-TiO₂ (MnO – 35 мас. %, TiO₂ – 65 мас. %) из-за ее относительно низкой температуры плавления (1290 °С), смачивания расплавом поверхности корунда и высокой прочности кристаллической фазы. Эвтектическую добавку получали путем предварительного смешивания оксида титана и гидрокарбоната марганца в валковой мельнице с добавлением деионизированной воды, корундовых мелющих тел и прокаливанием высушенного порошка при 1000 °С, с последующим повторным диспергированием в шаровой мельнице в водной среде. Эвтектику в системе MnO-TiO₂ вводили в оксид алюминия путем перемешивания в валковой мельнице мокрым способом с последующей сушкой на воздухе при температуре 75 – 80 °С. Для формования образцов использовали метод одноосного полусухого прессования при давлении 100 МПа, с использованием 5 мас. % раствора поливинилового спирта в качестве временной технологической связки. Образцы обжигали при максимальной температуре, указанной в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость плотности, пористости и прочности от состава и режима обжига

MnO-TiO ₂ , мас. %	Температура обжига, °С	Открытая пористость, %	Средняя плотность, г/см ³	Предел прочности при изгибе, МПа
3	1350	7,3	3,56	186 ± 5
	1400	6,3	3,68	187 ± 10
	1450	3,4	3,81	239 ± 15
4	1350	5,6	3,68	217 ± 5
	1400	5,0	3,71	221 ± 10
	1450	3,5	3,83	252 ± 20
5	1350	7,1	3,64	201 ± 5
	1400	4,8	3,82	236 ± 10
	1450	3,1	3,85	266 ± 20

В результате проделанной работы установлено, что на основе отечественного глинозема марки Г-00 возможно изготовить конкурентоспособный корундовый материал, что обеспечивает меньшую зависимость от импортных источников сырья.

Список литературы

1. Лукин Е.С., Попова Н.А., Здвижкова Н.И. Прочная керамика на основе оксида алюминия и диоксида циркония // Стекло и керамика. – 1993. № 9–10. С. 25–29.

2. Харитонов Д.В., Куликова Г.И., Хмельницкий А.К., Анашкина А.А., Ударопрочная корундовая керамика для средств бронезащиты автомобильной военной техники // Актуальные вопросы разработки бронезащитных и конструкционных композитных материалов: Сборник трудов XX Всероссийской научно-практической конференции / Каспийск – 2023. – С. 76-78.

3. Харитонов Д.В., Русин М.Ю., Шер Н.Е., Алексеев М.К., Анашкина А.А., Куликова Г.И., Получение корундовой керамики на основе микропорошков электрокорунда // Вестник Технологического университета. – 2025. – Т. 28, № 1. – С. 83-88.

4. Лукин Е.С., Макаров Н.А. Особенности выбора добавок в технологии корундовой керамики с пониженной температурой спекания // Огнеупоры и техническая керамика. – 1999. – №. 9. – С.10-13.

5. Попова И. Н., Сергеева Т. Л. Импортозамещение в современной России: проблемы и перспективы // Beneficium. – 2022. – №. 2 (43). – С. 73-84.

УДК 544.6

ДЕГРАДАЦИЯ ИОНООБМЕННЫХ МЕМБРАН ПРИ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗЕ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

О.А. Козадерова, Я.С. Хухаркина, Л.А. Синяева

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
kozaderova-olga@mail.ru*

При обработке в электродиализаторе (ЭД) отходов производства минеральных удобрений происходит деградация ионообменных мембран (ИОМ), которая приводит к изменению технологических параметров мембранных установок и сокращению сроков их работы.

В настоящей работе контактно-разностным методом [1] определена электропроводность ИОМ RalexСМ-Pes и RalexAM-Pes и проведена оценка морфологии их поверхности после продолжительного использования ИОМ (один год и пять лет) в промышленном ЭД. Состав обрабатываемых растворов приведен в работе [2].

Найдено, что электропроводность ИОМ (в сравнении с новыми образцами) возрастает. Растет и влагосодержание, заметно снижается обменная емкость для анионообменных мембран пятилетнего срока службы (табл. 1). Оценка транспортно-структурных параметров мембран с применением расширенной трехпроводной модели проводимости [3] показала увеличение вклада внутреннего раствора в величину электропроводности мембраны. Изображения изучаемых катионообменных мембран приведены на рис. 1. Длительная эксплуатация ИОМ привела к более заметному проявлению дефектов, обусловленных выходом на поверхность частиц ионообменника и армирующей ткани. И для катионо-, и для анионообменных мембран одного и пяти лет работы характерно увеличение содержания макропор, образующихся в местах контакта ионообменной смолы с инертным связующим, а также между армирующей тканью и композитом «ионообменник + полиэтилен». Развитие пор на поверхности и в объеме гетерогенных

композитных мембран может быть основной причиной увеличения вклада внутреннего раствора ИОМ в их электропроводность.

Таблица 1. Обменная емкость (ОЕ) и влагосодержание (W) ИОМ

Параметр	RalexCM-Pes			RalexAM-Pes		
	новые	1 год работы в ЭД	5 лет работы в ЭД	новые	1 год работы в ЭД	5 лет работы в ЭД
ОЕ, ммоль/г	1,6±0,1	1,7±0,1	1,6±0,1	1,5±0,1	1,5±0,1	1,2±0,1
W, %	28 ± 1	35 ± 2	33 ± 3	25 ± 1	30 ± 1	32 ± 1

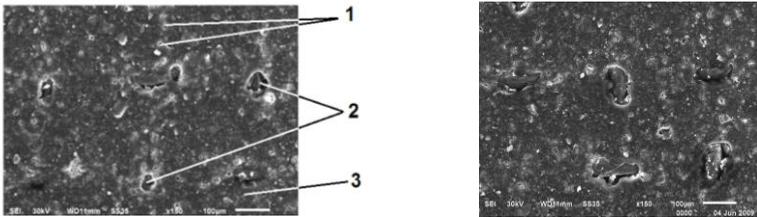


Рис. 1. СЭМ-изображение поверхности Ralex CMH-Pes: новой (слева), где 1 – частицы ионообменника, 2 – армирующая ткань, 3 – полиэтилен; пятилетнего срока службы (справа).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-00557, <https://rscf.ru/project/25-29-00557/>.

Список литературы

1. Козадерова О.А., Шапошник В.А. Кинетические характеристики ионообменной мембраны в растворах аминокислот // Электрохимия. 2004. Т. 40. № 7. С. 798-804.
2. Козадерова О.А., Синяева Л.А., Хухаркина Я.С. Контактнo-разностный метод измерения электропроводности в оценке транспортных характеристик гетерогенных ионообменных мембран разного срока службы в промышленном электродиализаторе // Сорбционные и хроматографические процессы. 2025. Т. 25. № 3. С. 316-327.
3. Демина О.А., Шкирская С.А., Кононенко Н.А., Назырова Е.В. Оценка селективности композитных ионообменных мембран с использованием расширенной трехпроводной модели проводимости // Электрохимия. 2016. Т. 52. № 4. С. 339-346.

УДК 66.074.33: 546.831

**СИНТЕЗ И СВОЙСТВА АДСОРБЕНТА
НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИДА ЦИРКОНИЯ
ДЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА
ИЗ ВОЗДУХА ИЗОЛИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Т.В. Конькова^{1,2}, А.Н. Михальченкова², Ю.П. Бутылкин²,
П.А. Харин², С.Н. Рукавицин², А.С. Цыганков²*

*¹ Российский химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия*

*² АО «Научно-исследовательский и конструкторский
институт химического машиностроения», Москва, Россия
kontakt@list.ru*

Разработка эффективных адсорбентов для поглощения и концентрирования CO_2 как продукта жизнедеятельности человека из изолированной атмосферы воздуха в самолетах и космических кораблях, функционирующих в системах жизнеобеспечения, является актуальной задачей на сегодняшний день. В этом случае к адсорбенту предъявляются дополнительные требования, такие как компактность, безопасность, низкие энергозатраты при эксплуатации. Одним из перспективных регенерируемых адсорбентов, имеющих большой практический потенциал и способным составить альтернативу полимерным ионным жидкостям и металлорганическим каркасным структурам, представленным в значительном количестве публикаций [1, 2], можно считать гидроксид циркония, регенерацию которого осуществляют перегретым водяным паром при температурах 102-106°C с последующим выделением углекислого газа чистотой порядка 99%. Разработкой и совершенствованием адсорбента на основе гидроксида циркония отечественные исследователи занимаются на протяжении нескольких десятилетий [1, 2], несмотря на это остается ряд вопросов. Так, например, до сих пор неясно, как и на какой стадии синтеза формируется пористая структура адсорбента, ее влияние

на сорбционные свойства материала и стабильность во время эксплуатации, что и являлось предметом исследований.

В результате проведенных исследований установлено, что микро-мезопористая структура гидроксида циркония с преобладанием микропор образуется вследствие гидролиза гидрокарбоната циркония на стадии гидротермальной обработки. Добавка оксида цинка в качестве структурного стабилизатора, обеспечивает устойчивость пористой структуры композиционного материала к воздействию водяного пара в процессе его синтеза. Высокая сорбционную способность $Zr(OH)_4 \cdot ZnO$ адсорбента по диоксиду углерода и стабильность в течение продолжительного времени эксплуатации позволяет рекомендовать его для извлечения и концентрирования CO_2 из воздуха замкнутых пространств летательных аппаратов.

Список литературы

1. Dziejarski B., Serafin J., Andersson K., Krzyzynska R. CO_2 capture materials: a review of current trends and future challenges // *Materials Today Sustainability*. 2023. V. 24. 100483.
2. Zulfıqar S., Sarwara M. I., Mecerreyes D. Polymeric ionic liquids for CO_2 capture and separation: potential, progress and challenges // *Polymer Chemistry*. 2015. V. 6., 6435-6451.
3. Способ получения гидратированной двуокиси циркония, а.с. №64343 СССР / Кораблева А.А., Фишман Г.М. заявл. 29.03.1977, опубл. 25.01.1979. Бюл. № 3. 2 с.
4. Постернак Н.В., Ферапонтов Ю.А., Ерохин С.Н. и др. Разработка регенерируемого поглотителя диоксида углерода для систем жизнеобеспечения человека при длительных космических полетах // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. 2019. № 16-18. С. 37-50.
5. Гранкина Ю. А., Шубина В. Н., Елизарова В. А., Донских В. В. Синтез регенерируемого поглотителя диоксида углерода на основе гидратированного оксида циркония для концентрирования и удаления CO_2 в обитаемых замкнутых объектах // *Журнал прикладной химии*. 2016. Т. 89. №. 1. С. 44-49.

УДК 54.056

ПОЛУЧЕНИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $0,95\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}0,05\text{Sm}_2\text{O}_3$

И.В. Кузнецова, Е.А. Кривошейцева, А.А. Пухова

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
len.krivosheitseva@yandex.ru*

Оксиды редкоземельных элементов выступают эффективными промоторами в каталитических реакциях окисления углеводородов, крекинга и синтеза аммиака, чему способствует их высокая кислородная подвижность и способность к восстановительно-окислительным циклам. Среди них оксид самария (Sm_2O_3) выделяется своей многофункциональностью, находя применение в областях от энергетики и катализа до медицины. Ионы Sm^{3+} , обладающие оранжево-красной люминесценцией, востребованы в LED-технологиях и лазерных материалах. Оксид самария демонстрирует значительный потенциал в создании термостойких керамик, где он стабилизирует структуру тугоплавких материалов, таких как ZrO_2 и Al_2O_3 , повышая их устойчивость к термическому удару и коррозии. В фотонике стеклокерамики, легированные ионами Sm^{3+} , используются в оптических усилителях и сенсорах, реагирующих на изменения температуры или давления, что открывает перспективы для создания интеллектуальных оптических систем [1].

Целью исследования является синтез вещества системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3$ гидротермальным методом и исследование полученного материала методами термического, рентгенофазового анализов, индикаторов Гаммета.

Для получения образца $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3(0,95:0,05)$ использовали порошки $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и Sm_2O_3 и 3% раствор перекиси водорода. Синтез проводился в гидротермальном реакторе при 180°C в течение 24 часов.

Рентгенофазовый анализ образца после гидротермального синтеза выявил структурные изменения исходного материала. Установлено, что $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ подвергается фазовому переходу в бемит (AlOOH), на поверхности которого зафиксировано присутствие частиц оксида самария, что подтверждается характерными пиками на дифрактограмме (рис.).

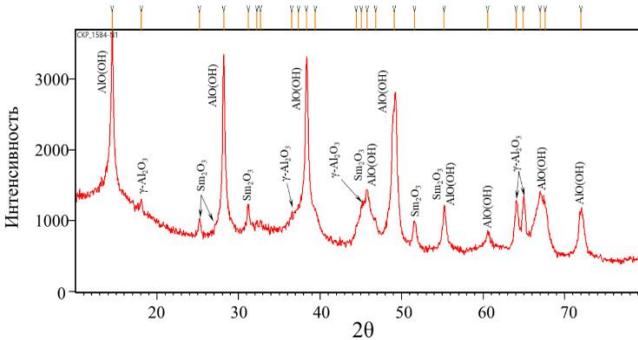


Рисунок. Дифрактограмма образца $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3$

При нагревании до $1000\text{ }^\circ\text{C}$ на кривой ДСК (термический анализ) наблюдали три последовательных эндотермических эффекта, сопровождающихся потерей массы (кривая ТГ). Наиболее выраженная массопотеря ($\sim 12\%$) наблюдается в области первого эндотермического пика ($200\text{--}350\text{ }^\circ\text{C}$), это соответствует процессу дегидратации бемита (AlOOH) с последующим фазовым переходом в $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Второй ($400\text{--}550\text{ }^\circ\text{C}$) и третий ($600\text{--}750\text{ }^\circ\text{C}$) эндотермические эффекты связаны с удалением остаточной химически связанной воды и дегидратацией поверхностных гидроксильных групп. Экзотермического эффекта при $850\text{ }^\circ\text{C}$, соответствующего фазовому переходу $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, не обнаружено. Наличие Sm_2O_3 в составе $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ стабилизирует данную кристаллическую структуру.

Наличие сильных льюисовских центров на поверхности $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ определяет его каталитическую активность, а присутствие основных центров необходимо учитывать при прогнозировании способности образовывать адсорбционные комплексы, что важно при использовании его как носителя в катализе. Кислотно-основные центры Бренстеда на поверхности образцов выявлены

методом Гаммета (табл.) [2]. Диапазон рКа индикаторов (-1.7–15.7) соответствует кислотно-основным центрам Бренстеда, отражая донорно-акцепторными свойствами поверхности. Концентрация основных центров превышает концентрацию кислотных центров.

Таблица. Показатели удельной адсорбции образца
отожженного при 600 °С

Индикатор	Длина волны, нм	Концентрация центров Бренстеда, ммоль/г
Кислотные центры		
Фуксин основной рКа=2.1	540	0.0017
Метилловый оранжевый рКа=3.5	464	0.0007
Основные центры		
Бромтимоловый синий рКа=7.4	440	0.0024
Нейтральный красный рКа=9.4	430	0.0070

Выводы. Получили кристаллический порошок $Al_2O_3-Sm_2O_3$ гидротермальным методом. Обнаружены фазы бемита, $\gamma-Al_2O_3$ и оксида самария. Поверхность образца после обжига при 600 °С обладает как донорными свойствами за счет групп -ОН, так и акцепторными за счет наличия иона самария. Оксид самария в составе $\gamma-Al_2O_3$ стабилизирует данную структуру.

Список литературы

1. M. K. Mohammad, N. M. Shaidatul Sm_2O_3 and Sm_2O_3 -based nanostructures for photocatalysis, sensors, CO conversion, and biological applications // *Catalysis Science & Technology*. - 2023. - №13. - С. 2274-2290.
2. S. I. Niftaliev, I. V. Kuznetsova, L. V. Lygina, N. I. Ponomareva, S. E. Plotnikova, S. S. Mironov, K. B. Kim, Tran Nhat Anh Synthesis and Study of $La_2O_3-SiO_2$ Systems Obtained from Kaolin and Tetraetoxysilane // *Glass Physics and Chemistry*. - 2024. - №4. - С. 411-417.

УДК 54.056

СИНТЕЗ И ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5$

И.В. Кузнецова, В.С. Сертаков, М.И. Колотушкин
Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
vova.petruhin2017@yandex.ru

Современные технологии требуют разработки материалов, сочетающих высокую эффективность, стабильность и экологичность. В этом контексте особый интерес представляют соединения системы Al-V-O, объединяющие алюминий, ванадий и кислород. Эти материалы демонстрируют уникальные электрохимические и каталитические свойства, открывая перспективы для их применения в цинк-ионных аккумуляторах, альтернативных источниках энергии и промышленном катализе. Синтез материалов с использованием разновалентных катионов можно проводить различными методами. Важно отметить, что получение таких материалов по керамической технологии требует продолжительной термообработки при относительно высоких температурах [1].

С целью уменьшения энергоемкости процесса синтеза крайне популярен и эффективен процесс гидротермального синтеза.

Целью работы является синтез веществ системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5$ гидротермальным методом и исследование полученных материалов методом синхронного термического анализа.

Для синтеза использовали ванадат аммония и хлорид алюминия (ч.д.а.). Навески материалов в мольном соотношении $\text{NH}_4\text{VO}_3:\text{AlCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O} = 1:20$ и $20:1$ растворяли в 50 см^3 горячей воды после чего добавляли HCl до $\text{pH}=3$ конечного раствора и перемешивали 30 мин. В автоклав на 25 см^3 вносили 15 см^3 суспензии и проводили гидротермальный синтез при 160°C 6 часов. Бурю суспензию промывали методом ступенчатого центрифугиро-

вания водой и этиловым спиртом. Получившийся темно-зеленый осадок сушили под вакуумом при 70 °С в течении 5 часов.

В работе синтезировали 2 образца с составами согласно фазовой диаграмме системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5$ (рис.1) [1]. Один с максимальным содержанием оксида алюминия $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:V}_2\text{O}_5=95,3\text{:}4,7$ мол.%, другой - с минимальным $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:V}_2\text{O}_5=4,7\text{:}95,3$ мол.%.

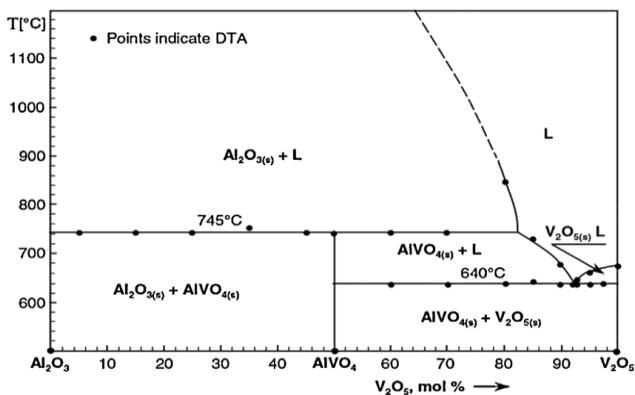


Рисунок 1. Фазовая диаграмма системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5$.

Для исследования процессов дегидратации, разложения и кристаллизации полученных образцов использовали синхронный термический анализ (анализатор STA 449 F3 Jupiter NETZSCH).

При нагревании образца $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:V}_2\text{O}_5=95,3\text{:}4,7$ мол.% в интервале температур 25-600 °С наблюдается потеря массы за счет дегидратации остаточной воды и пик кристаллизации AlVO_4 при температуре 660 °С (рис.2). В связи с термостабильностью до 640°C данный материал может быть использован как катализатор окисления SO_2 до SO_3 в контактных аппаратах в производстве H_2SO_4 .

При нагревании образца $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:V}_2\text{O}_5=4,7\text{:}95,3$ мол.% происходит дегидратация и разложение NH_4Cl в интервале 290-390 °С, а в интервале 661-665 °С - комплексный пик, соответствующий экзотермическому процессу, связанному с кристаллизацией AlVO_4 , и эндотермическому, соответствующему плавлению V_2O_5 и растворению в расплаве AlVO_4 при температуре 670 °С. Также

в этом интервале температур отмечен пик, соответствующий процессу стеклования с изменением удельной теплоёмкости. Данный образец может быть использован в качестве катализатора процесса дегидратации спиртов лёгкой фракции углеводородов, носителя активных компонентов за счёт стабилизации диспергированных активных фаз ванадатом алюминия. В современных источниках тока AlVO_4 входит в состав катодного материала благодаря своей слоистой структуре, которая облегчает интеркаляцию ионов лития [2].

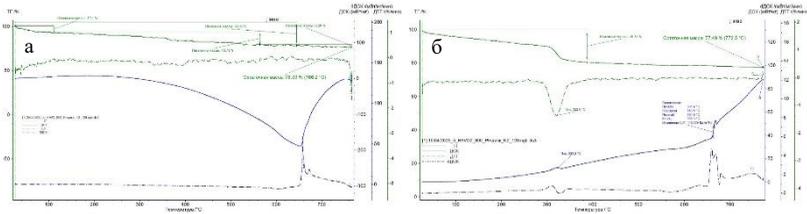


Рисунок 2. Термограммы при нагревании до 800 °С: (а) образца $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{V}_2\text{O}_5 = 95,3:4,7$ мол. %; (б) образца $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{V}_2\text{O}_5 = 4,7:95,3$ мол. %

Выводы. Получили порошки двух составов системы $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{V}_2\text{O}_5$ гидротермальным методом. Определили термически-эксплуатационные характеристики веществ методом синхронного термического анализа. Материалы могут использоваться в промышленном катализе и в перезаряжаемых источниках тока.

Список литературы

1. Peng Hu et al. Vanadium Oxide: Phase Diagrams, Structures, Synthesis, and Applications // Chemical reviews. - 2023. - № 123. - С. 4353-4415.
2. Z. Li et al. 3D hierarchical AlV_3O_9 microspheres as a cathode material for rechargeable aluminum-ion batteries // Electrochimica Acta. - 2019. - № 289. - С. 288-296.

УКД 546.655.4-31

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ТРОЙНОЙ СИСТЕМЫ $\text{SiO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3\text{-Eu}_2\text{O}_3$

С.И. Нифталиев, И.В. Кузнецова, Чан Ньат Ань

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий», Воронеж, Россия
nhatanh.knrtu2023@yandex.ru*

Диоксид кремния, модифицированный Gd_2O_3 , Eu_2O_3 может быть использован в медицине, в катализе, при изготовлении сенсоров [1]. Целью данной работы является получение материала и определение люминесцентных свойств.

В 100 мл воды добавляли 0,1 М растворы солей $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$ и тетраэтоксисилан (ТЭОС) с различным массовыми соотношением оксидов $\text{SiO}_2 : \text{Gd}_2\text{O}_3 : \text{Eu}_2\text{O}_3$ (95:3:2; 92:5:3; 90:6:4). Температуру раствора 45 °С поддерживали с постоянной точностью $\pm 1^\circ\text{C}$ в течение всего времени синтеза. Растворы нагревали до 45°С в термостате с магнитной мешалкой в течении 4 часов. Затем суспензию сушили и прокаливали при 700 °С в муфельной печи. В результате получили белый, сыпучий порошок, который использовали для исследования.

При возбуждении УФ-светом с длиной волны 400 нм, образцы системы излучали красный цвет. Наблюдала три основных пика излучения: 590 нм (оранжево-красный, $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$), 612–630 нм (ярко-красный, $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$), 650–700 нм (темно-красный, $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_3, ^7\text{F}_4$) (Рисунок). При возбуждении ионов Eu^{3+} электроны переходят на более высокие энергетические уровни, а затем безызлучательно релаксируют до стабильного пикового уровня $^5\text{D}_0$. С уровня $^5\text{D}_0$ электроны возвращаются на уровень $^7\text{F}_J$ ($J=0,1,2,3,4$), а именно на $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ (612–630 нм). Интенсивность излучения увеличивается с увеличением соотношения компонентов Gd и Eu. Наибольшую интенсивность излучения имеет образец $\text{SiO}_2 : \text{Gd}_2\text{O}_3 : \text{Eu}_2\text{O}_3 = 90 : 6 : 4$. С ростом концентрации Eu^{3+} увеличивается число центров люминесценции, что приводит к уве-

личению интенсивности. Однако, если концентрация Eu^{3+} выше 15% то происходит тушение люминесценции [2].

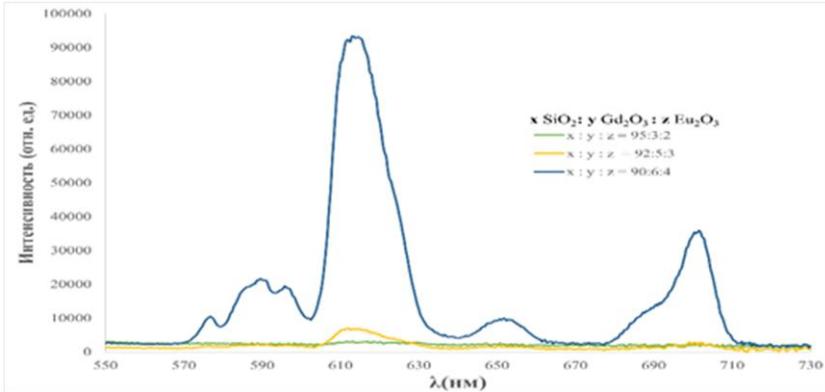


Рисунок. Спектр люминесценции излучения

Кроме того, Gd^{3+} также обладает способностью поглощать энергию от источника возбуждения, передавать эту энергию Eu^{3+} посредством безызлучательного механизма передачи энергии и усиливать люминесценцию Eu^{3+} . Особого внимания заслуживает влияние матрицы SiO_2 на создание стабильной сетки для Gd_2O_3 и Eu_2O_3 . При снижении содержания SiO_2 структура сетки может измениться, создавая больше свободных участков, что упрощает активацию Eu^{3+} . Образец $\text{SiO}_2 : \text{Gd}_2\text{O}_3 : \text{Eu}_2\text{O}_3 = 90:6:4$ может быть использован как источник люминесценции в медицине и при создании сенсоров.

Список литературы

1. Sabukhi I. Niftaliev, Irina V. Kuznetsova and Nhat Anh Tran. The synthesis of the system $\text{SiO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3\text{-Eu}_2\text{O}_3$ and research on the acid-base properties and kinetics of particle formation in this system // Mater. Proc. 2025. Vol .21. №2;
2. Meza Octavio, Villabona-Leal E.G., Diaz-Torres L.A, Desirena H., Rodríguez-López J.L., Pérez Elías. Luminescence Concentration Quenching Mechanism in $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ // The Journal of Physical Chemistry A. 2014. Vol. 118(8), P. 1390–1396.

УДК: 666.3

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ ВК94-1 С ДОБАВКОЙ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

А. А. Соколин^{1,2}, Н. А. Макаров¹

¹*Российский химико-технологический университет имени
Д. И. Менделеева, Москва, Россия*

²*АО НПП «Исток» им. Шокина, Фрязино, Россия
alex-sokol@mail.ru, makarov.n.a@mustr.ru*

Введение. Керамические материалы занимают важное место в современных технологиях благодаря своим уникальным свойствам. Одним из основных направлений в области керамики является разработка вакуумно-плотных керамических материалов, которые, как правило, обладают улучшенными физико-химическими и диэлектрическими свойствами [1-3]. Ведущим видом вакуумно-плотной керамики является марка ВК94-1, которая имеет следующий химический состав (мас. %): Al_2O_3 – 94,4, SiO_2 – 2,76, MnO – 2,35, Cr_2O_3 – 0,49 [4]. Одним из способов повышения механической прочности керамики является введение в ее состав упрочняющей фазы в виде тетрагонального твердого раствора диоксида циркония [5].

Методы исследований. В данной работе рассматривается влияние диоксида циркония на структуру и свойства корундовой керамики ВК94-1 с целью улучшения ее физико-механических характеристик. Для эксперимента использовали шихту ВК94-1, а также ZrO_2 стабилизированный Y_2O_3 (4,6 мол. %). Исходные материалы получали путем измельчения и смешивания методом лазерной абляции с использованием волоконного лазера.

Обсуждение результатов. Размеры исходного порошка ВК94-1 варьируются в пределах от 0,5 мкм до 5,7 мкм, а после лазерной абляции средний размер частиц порошка составил 150 нм. Таким образом, лазерная абляция является эффективным методом получения мелкодисперсного материала.

Таблица 1 – Составы смесей ВК94-1-ZrO₂

Состав смеси	Концентрация исходных компонентов, мас. %	
	ВК94-1	ZrO ₂ (Y ₂ O ₃ 4,6 мол. %)
А	90	10
Б	80	20
В	70	30

На рисунке 1 представлена микроструктура исходных порошков и шихты после смешивания при помощи лазерной абляции.

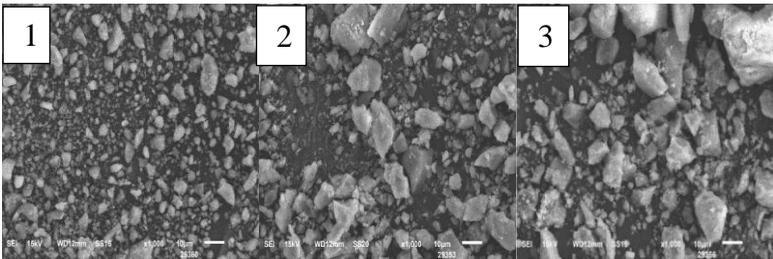


Рис. 1. Фотографии микроструктуры порошков: 1 – А, 2 – Б, 3 – В

Средний размер агрегатов смесей ВК94-1 + ZrO₂ после измельчения составили 12,7 мкм. В порошки добавляли временную технологическую связку – раствор поливинилового спирта в количестве 25 % при непрерывном перемешивании до достижения комкующейся консистенции. Затем формовали образцы – диски диаметром 14 мм и толщиной 3,5 мм на изостатическом прессе под давлением 150 МПа. Обжиг проводили при температурах 1500, 1550 и 1600 °С с выдержкой 3 часа в разных средах: окислительной, вакууме (остаточное давление $5 \cdot 10^{-4}$ Па) и инертном газе (аргон).

Выводы. Результаты экспериментов показали, что открытая пористость образцов керамики ВК94-1 с различным содержанием диоксида циркония (10, 20 и 30 мас. %) уменьшается при температуре обжига 1600°С с 0,2 % до 0 % в окислительной среде (на воздухе) с увеличением количества ZrO₂ до 30 мас.%. Механиче-

ская прочность на изгиб оказалась максимальной при обжиге в окислительной среде, что связано с полным выгоранием ВТС из образцов, и последующим зарастанием открытых пор, и составила в среднем 350 МПа.

Список литературы

1. Свирская С. Н., Панич А. А., Карюков Е. В. и др. Технологические варианты изготовления вакуумно-плотной керамики // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2017. №4 (196). С.118-122.

2. Амелина О., Нестеров С. Вакуум-плотная корундовая керамика на основе ультрадисперсных порошков // Наноиндустрия. 2010. №5 С.40-41

3. Дерябин Д. В., Алимова Е. А., Смирнов Г. А. и др. Качество слоя металлизации керамики марок ВК94, ВК95 // Надежности качество сложных систем. 2018. № 2 (22). С.55–60.

4. Батыгин В. Н., Метелкин И. И., Решетников А. М. Вакуумно-плотная керамика и ее спаи с металлами. Москва, «Энергия», 1973. 408 с.

5. Лукин Е. С., Попова Н. А., Здвизкова Н. И. и др. Прочная керамика на основе оксида алюминия и диоксида циркония // Стекло и керамика. 1993. № 9-10. С. 25–30.

УДК 519.876.5

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МНОГОСЦЕНАРНОЙ
ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Р.Ш. Узбеков

*Российский химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия
uzbekovruslan01@yandex.ru*

Целью работы является применение подхода многосценарной оптимизации для задач проектирования энергоемких криогенных установок разделения воздуха, функционирующих в условиях действия множества неопределяемых факторов.

$$\begin{aligned} \min_{d,u} f_0(d) + \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} \omega_{mk} f_{mk}(d, u_k, l_{mk}, \theta_k^v, \theta_m^u) \\ \text{s. t. } h_{mk}(d, u_k, l_{mk}, \theta_k^v, \theta_m^u) = 0 \\ g_{mk}(d, u_k, l_{mk}, \theta_k^v, \theta_m^u) \leq 0, k \in K, m \in M \end{aligned} \quad (1)$$

где d, u - проектные и управляющие переменные соответственно, l - переменные состояния, g и h - ограничения неравенства и равенства соответственно, K – индекс для дискретных значений переменных параметров θ^v , M – индекс для дискретных значений неизвестных параметров θ^u .

Ключевой недостаток криогенного разделения воздуха – высокая энергоемкость, что делает задачу оптимизации чрезвычайно актуальной. Можно выделить четыре основные группы неопределенностей [1-2]:

1. Неопределенности сырья: колебания состава атмосферного воздуха.

2. Эксплуатационные неопределенности: колебания спроса на конечные продукты (O_2 , N_2 , Ar), волатильность рыночных цен на электроэнергию, необходимость работы в переходных режимах.

3. Технологические неопределенности: погрешности математических моделей тепло- и массообмена, дрейф параметров оборудования вследствие загрязнения или износа.

4. Внешние факторы: изменения экологических нормативов, рыночная конъюнктура.

В основе исследования лежит детализированная стационарная математическая модель типовой установки разделения воздуха, включающей колонны высокого и низкого давления, а также аргоновую колонну [3].

Применение методологии многосценарной оптимизации позволяет принципиально изменить подход к проектированию энергоемких процессов, перейдя от поиска узко-оптимальных решений к поиску устойчивых к различным отклонениям и работающим в условиях неопределённости решением.

Список литературы

1. Dong, K., Wang, H., Luo, K., Yan, X., Yi, S., Huang, X. The Use of an Optimized Grey Multi-Objective Programming-PLUS Model for Multi-Scenario Simulation of Land Use in the Weigan–Kuche River Oasis, China // Land. - 2024. - №13(6). - С. 802.

2. Braniff, A., & Tian, Y. A hierarchical multi-parametric programming approach for dynamic risk-based model predictive quality control. // Control Engineering Practice. - 2024. - №152. - С. 106062.

3. Liang, Y. Learning from unknown information sources // Management Science. - 2025. - №71(5). - С. 3873-3890.

Секция 2.

«Химия и технология органических соединений, полимеров и композитов»

УДК 678

**АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ
В МЕДИЦИНСКОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ:
ТЕКУЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РОСТА**

Н.Д. Авдеев^{1,2}, С.Н. Мусатов², Ю.А. Наумова¹, Л.Р. Люсова¹

*¹МИРЭА-Российский технологический университет,
Институт тонких химических технологий
им. М.В. Ломоносова*

*²Общество с ограниченной ответственностью
«Объединение Альфапластик»
avdeev_nikolay2000@mail.ru*

Ключевые слова: эластомерные материалы, изделия медицинского назначения, полимерные материалы, резинотехнические изделия, анализ рынка

Работа посвящена анализу российского рынка медицинских изделий из полимеров, включающий оценку текущих тенденций и разработку прогноза его развития на период до 2030 года, а также выявление ключевых факторов, определяющих предпочтения производителей при выборе полимерного сырья.

Основные выводы проведенной работы:

Российский рынок медицинских изделий характеризуется активным противостоянием эластомерных и термопластичных полимерных материалов в производстве различных типов продукции. Критерии выбора материала формируются на пересечении требований к эксплуатации, технологичности производства и экономической целесообразности.

Анализ рыночных тенденций показывает устойчивый сдвиг в сторону одноразовых медицинских изделий как следствие повышения требований к санитарно-гигиенической безопасности. Данная трансформация наглядно прослеживается на примере рынка кружек Эсмарха, где продукция из полипропилена и ПВХ значительно превосходит по востребованности резиновые много-разовые аналоги. Основными движущими силами этого процесса

выступают экономические преимущества и технологическая доступность термопластов.

Параллельно с тенденцией на замещение многоразовых изделий одноразовыми, сохраняется устойчивый спрос на эластомерные материалы. эластомерные материалы сохраняют свою актуальность для определённых сегментов продукции. Их уникальные характеристики, такие как эластичность и герметичность, незаменимы при производстве специализированных изделий, включая медицинские пробки и жгуты. Прогноз развития рынка подтверждает сохранение спроса на эти изделия.

Экономическая оценка рынка показала существенный дисбаланс между производством и потреблением отдельных видов полимерных медицинских изделий в России за 2023 год. В частности, это касается мочеприёмников, одноразовых кружек Эсмарха и катетеров. Данный разрыв может быть обусловлен высокой конкуренцией со стороны иностранных производителей, прежде всего из Китая, которые предлагают продукцию с более низкой себестоимостью.

Будущее развитие рынка медицинских полимеров до 2030 года характеризуется укреплением существующих трендов. Прогнозируется существенное увеличение доли одноразовых изделий из термопластов, однако эластомерные материалы сохраняют свои позиции в специфических областях применения. Конкурентное противостояние между различными типами полимерных материалов останется ключевым фактором формирования рыночной среды.

Список литературы

1. *Натуральный и синтетические изопреновые каучуки, полученные с использованием катализаторов Циглера-Натта / А. А. Зуев, В. Л. Золотарев, И. П. Левенберг [и др.] // Тонкие химические технологии. – 2024. – Т. 19, № 2. – С. 139-148.*

2. *Чернышов, С. В. Разработка новых эластомерных материалов на основе смесей каучуков / С. В. Чернышов, Л. Р. Люсова, С. Р. Махмудова // Перспективные материалы и технологии (ПМТ-2023) : Сборник докладов Национальной научно-*

технической конференции с международным участием Института перспективных технологий и индустриального программирования РГУ МИРЭА, Москва, 10–15 апреля 2023 года / Под редакцией А.Н. Юрасова. Том 1. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2023. – С. 178-182.

3. Носков, Н. С. Анализ полимерных материалов, используемых для производства изделий медицинского назначения / Н. С. Носков, Д. Ю. Цилуйко // Естественные науки и медицина: теория и практика: Сборник статей по материалам LXXIX международной научно-практической конференции, Новосибирск, 12 февраля 2025 года. – Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью "Сибирская академическая книга", 2025. – С. 13-18.

4. Лось, Д. М. Применение полимерных материалов для изделий медицинского назначения / Д. М. Лось, В. М. Шаповалов, С. В. Зотов // Проблемы здоровья и экологии. – 2020. – № 2(64). – С. 5-13.

5. Руденко, М. Н. Анализ российского рынка медицинского оборудования с целью разработки эффективной бизнес-модели и стратегии по выходу на рынок / М. Н. Руденко, О. В. Окулова // Московский экономический журнал. – 2020. – № 10. – С. 33.

6. Минпромторг России: сайт. – URL: [https://minpromtorg.gov.ru/search?fragment=рынок медицинских изделий](https://minpromtorg.gov.ru/search?fragment=рынок%20медицинских%20изделий) (дата обращения: 11.05.2025)

7. Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения: сайт. – URL: <https://roszdravnadzor.gov.ru/spec/medproducts/prices> (дата обращения: 13.05.2025)

8. Федеральная таможенная служба: сайт. – URL: <https://customs.gov.ru/statistic/vneshn-torg?ysclid=mau03qsbd8512485505>
<https://eec.eaunion.org/?ysclid=mau04r4lij149455947> (дата обращения: 13.05.2025)

9. Федеральная служба государственной статистики: сайт. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 17.05.2025)

УДК 665.939.57

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ БУТАДИЕН- α -МЕТИЛСТИРОЛЬНЫХ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ НА ИХ СВОЙСТВА

Е.И. Антман^{1,2}, *Л.Р. Люсова*², *Л.С. Шибряева*^{2,3}, *С.Г. Карпова*³
Ю.К. Луканина^{2,3}, *А.К. Булкина*⁴

¹*Воронежский филиал ФГБУ «НИИСК» им. С.В. Лебедева*

²*ФГБОУ ВО «МИРЭА–Российский технологический университет», Москва, Россия*

³*ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук (ИБХФ РАН), Москва, Россия*

⁴*ФГБУ «НИИСК» им. С.В. Лебедева, Санкт-Петербург
antman.eugene@mail.ru*

Термоэластопласты (ТЭП) являются особым классом полимерных материалов, которые благодаря своим свойствам находят широкое применение в различных областях промышленности. Одной из таких областей является применение ТЭП в адгезионных композициях холодного отверждения. В работах [1,2] показано, что диен-винилароматические ТЭП на основе стирола способны полностью или частично заменить клеи на основе полихлоропрена, производство которого в России отсутствует.

В Воронежском филиале «НИИСК» проводились работы по получению бутадиен- α -метилстирольных термоэластопластов (ДМСТ-Р) с различной микроструктурой эластичного блока [3]. Было показано, что такие материалы возможно использовать в адгезионных композициях холодного отверждения, однако для создания эффективных клеев требуется провести оценку влияния микроструктуры на свойства ДМСТ-Р.

Целью работы являлось изучение влияния микроструктуры термоэластопластов на их физико-механические и адгезионные свойства.

Исследование микроструктуры ТЭП осуществлялось с помощью ИК-Фурье спектроскопии методом НПВО и на просвет. На основании полученных данных можно сказать, что ДМСТ-Р обладает более стабильной структурой при переходе от поверхности к объему пленки. Образцы ДМСТ-Р имеют меньшее содержание 1,4-звеньев по отношению к 1,2-звеньям, в сравнении с СБС-Р-30-00А что обусловлено особенностью процесса синтеза. Немаловажным фактором, влияющим на адгезионные свойства ТЭП, является соотношение блоков на поверхности полимерной пленки. Так, образцы ДМСТ-Р имеют меньшее содержание термопластичного блока по отношению к эластичному.

Изучение подвижности макромолекул тесно связано с молекулярно-массовыми характеристиками исследуемых ТЭП. Так, по данным гель-проникающей хроматографии установлено, что образцы ДМСТ-Р обладают значительно меньшей молекулярной массой, имеют в своем составе гомополимер и двухблочный сополимер. Однако содержание двухблочного сополимера в структуре ДМСТ-Р меньше, чем в СБС-Р-30-00А. По времени корреляции вращения зонда, определенному методом ЭПР, можно сказать, что образцы ДМСТ-Р обладают меньшей подвижностью макромолекул, что может быть связано с конформационным набором полибутадиеновой части ТЭП, а также с их большей разветвленностью, в сравнении с СБС-Р-30-00А.

Исследование физико-механических свойств показывает, что образцы ДМСТ-Р обладают большей условной прочностью при растяжении, относительным удлинением и относительной остаточной деформацией.

Адгезионные свойства ДМСТ-Р оценивались по показателю прочности связи при расслаивании. В качестве субстратов выбраны стандартная обувная резина и ткань кирза. Склеивание осуществлялось методом недосушки, с применением раствора ДМСТ-Р в метиленхлориде. Концентрация раствора составляла 10 % масс. Данные по адгезионной прочности представлены в таблице 1.

Таблица 1. Влияние типа ТЭП на прочность связи при расслаивании в различных системах

Прочность связи при расслаивании, кН/м в системе	ДМСТ-Р	ДМСТ-Р 2	ДМСТ-Р 3	ДМСТ-Р 4	СБС-Р-30-00А
Резина-резина	0,75	1,05	0,75	1,20	0,60
Ткань-ткань	4,20	3,00	3,90	3,75	1,00

По данным представленным в таблице 1, можно сделать вывод, что образцы ДМСТ-Р обладают большим значением адгезионной прочности, чем СБС-Р-30-00А.

Таким образом, показано влияние микроструктуры на свойства ДМСТ-Р. Установлено, что с увеличением доли 1,2-звеньев в структуре полибутадиеновой части увеличивается адгезионная прочность клеевого соединения, а также стабильность микроструктуры при переходе от поверхности к объему пленки ТЭП. Также показано, что меньшая молекулярная масса позволяет повысить адгезионные характеристики ТЭП.

Список литературы

1. Евтушенко В.А. Адгезионные композиции на основе бутадиен-стирольных термоэластопластов и их смесей: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.06 / Евтушенко Вячеслав Анатольевич. – Москва, 2010. – 149 с.

2. Филимонов А. В. Адгезионные композиции на основе диен-винилароматических термоэластопластов : дис. ... кандидата технических наук : 05.17.06 / Академия тонкой хим. технологии. — Москва, 1996. — 124 с.

3. Фирсова А.В., Карманова О.В., Ситникова В.В., Блинов Е.В. Бутадиен- α -метилстирольный термоэластопласт, синтез и свойства. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016;(2):218-222.

УДК 661.11

МОДИФИКАЦИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА (ДССК) АЗОМЕТИНАМИ

*В.В. Бердников¹, О.В. Карманова², А.В. Фирсова¹,
А.Г. Харитонов¹, Е.Л. Полухин¹, М.А. Кулигина¹,*

¹Воронежский филиал ФГБУ «Ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт синтетического каучука имени академика С.В. Лебедева»

*²Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
firsova_alen@mail.ru*

Вопросам модификации и функционализации каучуков и резиновых смесей на их основе уделяется по-прежнему большое внимание, так как это позволяет решить одновременно несколько задач: создание композиций, стабильных к действию тепла, света и агрессивных сред, обладающих упруго-гистерезисными свойствами и достаточным уровнем когезионной прочности [1].

В представленной работе приведены данные по влиянию азометинов на свойства вулканизатов синтетического бутадиен-стирольного каучука (ДССК-2560), полученного с применением алкиллитиевого катализатора. Азометины получали взаимодействием метилэтилкетона с алифатическими аминами [2]. Установлено, что при температурах от 20 до 40 °С взаимодействие выбранных аминов с метилэтилкетонам проходит количественно с выделением воды.

Полученные азометины вводили в полимеризат ДССК после достижения полной конверсии мономеров в количестве от 7 до 23 % мас. Полимер выделяли методом водной дегазацией. В углеводородной и водной фазах отгона, а также в кубовой жидкости следов азометина методом хроматографического анализа не обнаружено.

После высушивания образцы ДССК, отличались высокой липкостью и их использовали для изготовления резиновых смесей по рецепту и режиму ASTM D 3185 и дальнейших испытаний. Изготовление резиновых смесей проводили в пластикордере «Brabender». Установлено, что модификация ДССК-2560 азометинами повышает когезионную прочность резин на основе данного каучука в 5 раз в сравнении с немодифицированными образцами.

Вулканизацию резиновых смесей образцов ДССК-2560, модифицированных азометинами, проводили при температуре 145 °С в течение 20 минут. По результатам, проведенных исследований прочностных характеристик вулканизатов следует, что использование азометинов обеспечивает высокий уровень потребительских свойств резин. Проведена оценка стабильности каучуков и вулканизатов методом термического старения при 100 °С в течение 72 часов. Установлено, что каучуки и вулканизаты на их основе, модифицированные азометинами имеют показатель стойкости к термическому старению на 15-20 % выше, чем у немодифицированных образцов.

Таким образом, введение азометинов в ДССК не требует внесения изменений в существующую технологию получения и выделения каучука. Значительное повышение когезионной прочности модифицированного ДССК обуславливает лучшую обрабатываемость резиновых смесей на его основе. Улучшаются физико-механические показатели вулканизатов. Кроме того, модификация показала высокую стабильность к действию тепла, поэтому дальнейшие исследования будут направлены на исследование этого эффекта.

Список литературы

1. Патент РФ 2224769С2, С 08 G 8/28, С 08 F 136/08, С 08 L 9/0 , опубл. 27.02.042.
2. Заявка на изобретение Фирсова А.В., Полухин Е.Л., Харитонов А.Г., Хлабыстов Е.Д., Кулигина М.А. «Способ получения стабилизатора (со)полимеров диенов».

УДК 678.7

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОЛИГОДИЕНОВ В РЕЗИНОКОРДНЫХ СИСТЕМАХ

*В.Д. Ворончихин*¹,
*К.А. Дубков*², *Д.П. Иванов*², *С.В. Семиколенов*²

¹*Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М.Ф. Решетнева*

²*ФГБУН «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН»*

Особенностями эластомерных систем, содержащих армирующие элементы различной природы является анизотропия механических свойств, повышенная жесткость, сопротивление локальными нагрузкам и ряд других свойств, которые обеспечивают их применение при изготовлении изделий различного назначения (шевронные манжеты, рукава, покрышки и т.п.).

Особое внимание при этом уделяется резинокордным системам, содержащим металлические армирующие элементы – проволоку и корд. Повышение межфазной прочности связи металлических нитей с эластомерной матрицей достигается как за счет их поверхностной модификации сплавами металлов (латунью, бронзой), так и в результате введения адгезионно-активных добавок в резиновые смеси. В большинстве случаев разработки эластомерных металлокордных систем эти приемы используют совместно.

Одними из эффективных ингредиентов полифункционального действия являются функционализированные олигомерные (низкомолекулярные) каучуки диеновой структуры [1, 2]. Наличие в структуре олигодиенов кислородсодержащих функциональных групп, их тип и количество определяют характер их влияния на свойства резинокордных систем.

Применение олигомерных поликетонов в пропиточных составах наиболее эффективно при обработке металлических закладных элементов или металлопроволоки. Установлено, что

наибольший уровень прочности связи резины с металлоармирующими элементами при нормальных условиях и различных видах старения обеспечивается при их обработке составом содержащим 1-2 масс. ч. олигодиена, содержащего 4 масс. % карбонильных групп, статистически распределенных по длине цепи.

Использование функциональных олигодиенов в качестве модификатора полифункционального действия при изготовлении обкладочных смесей позволяет улучшить степень диспергирования ингредиентов (в первую очередь, технического углерода), повысить степень их контакта с армирующими элементами за счет преобразования реологических свойств и увеличить уровень динамической усталостной выносливости вулканизатов.

Комплексное сравнение свойств резинокордных систем в различных условиях испытаний показало, что наибольшая эффективность достигается при использовании в качестве адгезионно-активной добавки олигомера, имеющего в своей структуре 10,5 масс. % карбонильных групп. Оптимальная дозировка функционального олигодиена составляет 5 масс. ч.

Причинами обнаруженных изменений прочности резинокордных систем являются взаимосвязанные факторы, такие как изменение градиента концентраций компонентов вулканизирующей группы на границе раздела металл – эластомерная композиция, образование металлохелатов на основе поликетонов, специфичность процессов старения металлоармированных эластомерных композитов и изменение реологических свойств модифицированной композиции в области контакта с металлоармирующим элементом.

Список литературы

1. Донцов, А. А. Каучук – олигомерные композиции в производстве резиновых изделий / А. А. Донцов, А. А. Канаузова, Т. В. Литвинова. – М. : Химия, 1986. – 216 с.
2. Ворончихин, В.Д. Научно-практические основы модификации эластомерных материалов функционализированными олигодиенами: дисс. ... докт. техн. наук: 2.6.11. / Ворончихин Василий Дмитриевич. – Воронеж, 2024. – 462 с.

УДК 66.022.32

**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ БЕЛОЙ САЖИ
НА КАРБЕНИЗИРОВАННУЮ РИСОВУЮ ШЕЛУХУ В
СОСТАВЕ РЕЗИН НА ОСНОВЕ ИЗОПРЕНОВОГО
КАУЧУКА**

*К.Р. Габдулхаев¹, Л.Ю. Закирова¹, Е.М. Готлиб¹,
Ю.Н. Хакимуллин¹*

*¹Казанский Национальный Исследовательский
Технологический Университет, Казань, Россия
19gkraikido99@mail.ru*

Введение. Использование в рецептуре резин экономичных и экологичных аморфных диоксидов кремния (АДК), получаемых в промышленных масштабах переработкой отходов рисового производства, является перспективной альтернативой белой саже. Прокаленная рисовая шелуха успешно исследована в качестве наполнителя натурального и этилен-пропиленового каучука [1,2]. Это делает интересным сравнение модифицирующего действия в вулканизатах изопренового каучука (СКИ) белой сажи и АДК, с позиций оценки взаимодействия этих наполнителей с СКИ.

Экспериментальная часть.

Исследовалась стандартная резиновая смесь [3] на основе СКИ-3 (ГОСТ 14925-79 с изм. 1-8), наполненная белой сажой БС-120 (ГОСТ 18307-78) и АДК (ТУ 38.21.40-002-91011908 -2023).

Помол АДК осуществлялся сначала в щековой настольной дробилке «JS6», а затем в роторной ударной мельнице «CR200».

Условия получения образцов (вальцевание 10 мин., а потом прессование в гидравлическом прессе при температуре 150°C 15 мин.), как и содержание (50 мас.ч) наполнителей были одинаковыми для БС-120 и АДК, с целью обеспечения равных возможностей для взаимодействия силикатов и каучука.

Для оценки количества «связанного каучука», образцы, согласно методике [3], измельчали до среднего размера частиц 40 мкм, экстрагировали толуолом 7 суток и ацетоном 1 сутки, после сушили в термошкафу 24 часа при 80°C, и определяли вес образцов до и после экстракции.

Пористость силикатов оценивалась на анализаторе «ТОР 200», объем и средний диаметр пор рассчитывались по методу ВЈН. Размер частиц наполнителей определялся дисперсным методом на анализаторе «HorigaLA-260A2». Сопrotивление раздиру резины определяли по ГОСТ 262-93.

Обсуждение результатов.

С целью увеличения площади контакта наполнителя с каучуковой матрицей измельчалась АДК до степени дисперсности, равной дисперсности белой сажи (35 мкм) [4].

БС-120 имеет больший общий объем пор 1,52 см³/г и их средний диаметр 40,5 нм, чем АДК (0,22 см³/г и 14,8 нм), что должно оказывать влияние на взаимодействие компонентов [4].

Было установлено, что частицы каучука способны проникать в поры наполнителя и удерживаться в них, образуя так называемый «связанный каучук» [3]. Поэтому, определение его количества может характеризовать эффективность взаимодействия ингредиентов резиновой смеси.

Установлено, что количество «связанного каучука» в системе СКИ-БС-120 достигает 24,5%. При применении АДК «связанный каучук» не образуется.

Таким образом, более высокая пористость белой сажи, обеспечивает большую эффективность взаимодействия ее с изопреновым каучуком, что является, очевидно, причиной более высокой прочности на раздир вулканизатов, наполненных БС-120 (24 кН/м), по сравнению с АДК (14,9 кН/м).

Заключение

Пористость наполнителя оказывает существенное влияние на степень взаимодействия его с расплавом каучука в процессе

получения вулканизатов. Это влияет на эксплуатационные свойства резин, в частности, прочность на раздир.

Список литературы

1. Chen L., Jia Z., Tang Y., Wu L., Luo Y., Jia D. Novel functional silica nanoparticles for rubber vulcanization and reinforcement // *Composites Science and Technology*. 2017. Vol. 144. Pp. 11-17.

2. Rahmaniar L., Tri S. Impacts of rice husk ash filler loading on curing, morphological characteristics and tensile properties of natural rubber/ethylene propylene rubber blends // *13th Joint Conference on Chemistry (13th JCC) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 509. Pp. 1-10.

3. Ovcharov V. I., Sukhyy È. Ì., Sokolova L. À., Kalinyuk V. L., Tertyshnyy O. A., Yusupova L. R., Belyanovskaya E. A. The use of the heat-treated rice husks as elastomeric compositions fillers // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2018. No. 3. Pp. 79-89.

4. Люштык А. Ю., Каюшников С. Н., Шашок Ж. С., Усс Е. П., Кротова О. А., Лешкевич А. В. Особенности диспергирования кремнекислотных наполнителей в эластомерных композициях на основе растворных бутадиен-стирольных каучуков // *Труды БГТУ*. 2022. Серия 2. № 2. С. 19–25.

УДК 667.62

НАПОЛНЕННЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО-АКРИЛАТНЫХ ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЙ

Р.Г. Домниченко

*ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет
имени Владимира Даля», Луганск,
Луганская Народная Республика, Россия
Raisa-domnichenko@yandex.ru*

Получение новых наполненных систем на основе эпоксидно-акрилатных водных дисперсий связано с необходимостью решения многих задач физико-химического и технологического характера. Основная из них заключается в обеспечении необходимого уровня взаимодействия наполнителей и плёнкообразователей в присутствии водной среды. Достигается это путём подбора наполнителей необходимого химического и минералогического состава, направленного изменения энергетического состояния и физико-химических свойств их поверхности, использования поверхностно-активных веществ, обеспечивающих формирование соответствующего уровня гидрофильно-липофильного баланса в зоне контакта.

В качестве наполнителей для дальнейших исследований выбраны карбонаты кальция и каолин. В первом случае использовался дробленый мрамор турецкого производства Normcal-20, как эталон. Сравнение проводилось с использованием карбоната кальция (ММС-1, ММС-2, ХОМ) и каолина (КС-1).

Рентгенофлуоросцентный анализ показал наличие незначительных отличий в составе исследуемых наполнителей. Так, содержание кальция для Normcal-20 составляет 99,1 % масс. по сравнению с 98,0 у ММС-2 и 98,8 % масс. у ХОМ. Количество кремния соответственно находится в пределах 0,8 % масс. против 1,2-0,9 % масс. В тоже время наличие в составе ММС-2 красящих элементов в незначительных количествах снижает его белизну до 75,2 %.

Следует отметить также наличие в ИК-спектрах карбонатов определённых отличий в параметрах полос поглощения ответственных за колебания основных структурообразующих связей карбонат-аниона (рис. 1).

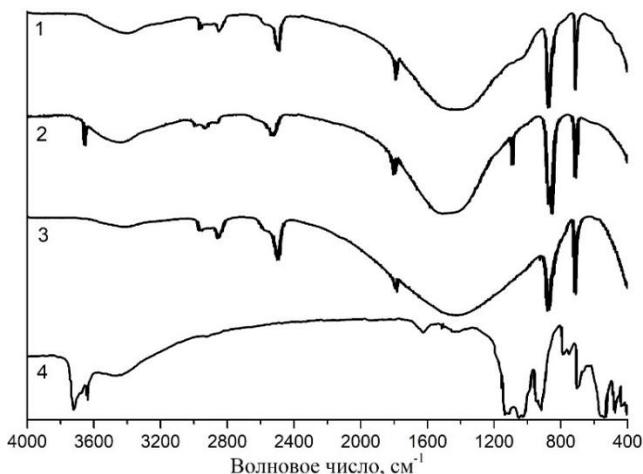


Рис. 1 ИК-спектры наполнителей: 1 – MMC-1; 2 – ХОМ; 3 – Normalcal-20; 4 – каолин КС-1

Значительный интерес с позиции реализации потенциальных возможностей карбонатов кальция и каолина в качестве наполнителей водно-дисперсионных ЛКМ представляет состав и строение их поверхностного слоя и существенным образом это сказывается на их физико-химических свойствах (табл. 1).

Таблица 1. Свойства дисперсных наполнителей

Материал	Удельная поверхность Т-3 м ² /г	Удельная поверхность БЭТ, м ² /г	Угол смачивания водой θ , °град.	Влагопоглощение, % масс.	Маслоемкость, г/100 г
MMC-2	0,58	2,15	26	1,56	23
ХОМ	0,96	3,18	31	1,70	57
Normalcal-20	0,19	1,40	30	0,90	19
Каолин КС-1	1,60	15,08	43	4,20	44

Установлено, что при контакте их с жидко-капельной водой в статических и динамических условиях наименьшей смачиваемостью обладает каолин ($\theta = 43^\circ$, $V_n = 0,06$). Карбонаты каль-

ция менее гидрофобны по отношению к воде особенно при натекании.

Неполярной жидкостью все исследуемые материалы смачиваются при натекании практически одинаково. Значения V_n варьируются в диапазоне 0,24-0,29.

Изменение физического состояния воды с жидкого на парообразное сопровождается существенным повышением реакционной способности каолина. Его условный tg угла диэлектрических потерь, как показатель уровня энергетического состояния поверхности, более чем в 10 раз выше по сравнению с карбонатами.

Влагопоглощение каолина больше по сравнению с карбонатами кальция в 4,7 (Normcal-20) – 2,5 (ХОМ) раза, что хорошо согласуется с количественной оценкой энергетического состояния поверхности дисперсных минеральных наполнителей.

По маслосемкости каолин несколько уступает химически осаждённому мелу и почти в два раза превосходит Normcal-20 и ММС-2. Пояснением такому факту может быть различная степень участия в поглощении масла с одной стороны физико-химических свойств поверхности каолина и относительной степени его дисперсности, а с другой диффундирующей и адсорбционной способностью масла.

Таким образом, представленные данные относительно состава, структуры и физико-химических свойств карбонатных и каолиновых наполнителей показали широкое разнообразие последних. Поэтому есть веские основания утверждать о перспективности их использования в составе водно-дисперсионных ЛКМ на основе эпоксидно-акрилатного плёнокообразователя. Для дальнейшей успешной и эффективной реализации исследованных наполнителей в структуре ВД составов необходимо выполнить исследование технологического характера по выбору оптимальных их составов и изменению реологических свойств при разработке режимов диспергирования.

УДК 541.12

АДСОРБЦИЯ L – ПРОЛИНА НА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ OCSiAl ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА

Д.А. Дулепина, Д.Л. Чикин, Е.В. Бутырская

Воронежский государственный университет,

Воронеж, Россия

diana.dulepina@yandex.ru

Углеродные нанотрубки (УНТ) - новый тип наноматериалов с широким спектром технологических и производственных возможностей для биологических и биомедицинских применений [1]. Изучение взаимодействия аминокислот с УНТ является первым шагом исследования механизма взаимодействия биомолекул с углеродными нанотрубками.

В работе получены и проанализированы изотермы адсорбции L-пролина на однослойных углеродных нанотрубках 01RW03 и 01RW04 (OCSiAl, Новосибирск) из водного раствора. Для получения изотерм УНТ массой 0,05 г помещали в стеклянные бюксы объемом 100 мл. В каждый бюкс добавляли по 50 мл растворов аминокислоты различной концентрации. Суспензию диспергировали ультразвуком в течение 10 мин, затем помещали в шейкер и перемешивали при температуре 25°C в течение 20 часов для установления равновесия. Затем суспензию извлекали и фильтровали через складчатый фильтр. Концентрацию (С) аминокислот определяли фотометрически.

Изотермы представлены на Рис.1 и проинтерпретированы в рамках модели кластерной адсорбции, описывающей формирование на УНТ мономеров и кластеров из различного числа молекул аминокислоты [2,3]. Формирование кластеров на поверхности сорбента более энергетически выгодно по сравнению с адсорбци-

ей индивидуальных молекул, поскольку сорбат-сорбатные связи вносят вклад в понижение энергии системы при адсорбции.

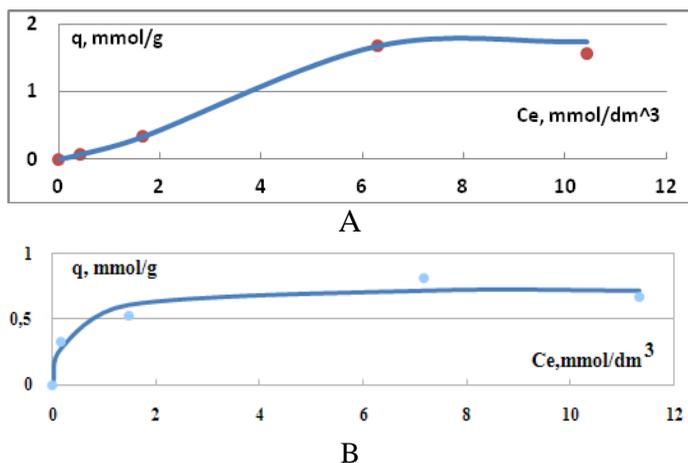


Рис.1. Экспериментальные (точки) и теоретические (уравнение (1), линии) изотермы адсорбции L- пролина на УНТ 01RW03 (А) и 01RW04 (В) из водного раствора

Для интерпретации изотерм (Рис.1, А, В) использовано уравнение, описывающее однослойную адсорбцию мономеров и кластеров из максимально возможного числа молекул (n) [2,3]:

$$q = q_m \frac{K_1 C + K_n C^n}{1 + K_1 C + K_n C^n} \quad (1)$$

где q_m - емкость монослоя, C - равновесная концентрация, $K_{1,n}$ - коэффициенты равновесия реакций формирования на сорбенте мономеров и кластеров из n молекул. Формирование кластера максимально возможного размера является энергетически предпочтительным, по сравнению с адсорбцией отдельных молекул и кластеров меньших размеров, поскольку в максимальном кластере имеется наибольшее число межмолекулярных взаимодействий между молекулами, что приводит к наибольшему понижению энергии системы при адсорбции.

Однослойный характер адсорбции связан с наличием в структуре аминокислоты карбоксильной и аминогрупп, образующих в растворе множественные водородные связи с окружающими их молекулами воды. Вследствие этого второй слой сорбата не образуется, поскольку молекулы второго слоя десорбируются в раствор с образованием большого числа Н связей с растворителем. Параметры изотермы (1) найдены методом нелинейной регрессии и представлены в таблице 1.

Табл.1. Параметры уравнения (1) изотерм адсорбции, Рис.1

Система	q_m (ммоль/г)	K_1 (ммоль/дм ³) ⁻¹	K_n^*	n	R ²
01RW03-Pro	1,744	0,102	0,007	4,390	0,980
01RW04-Pro	0,721	3,824	0,003	6,552	0,949

* Размерность K_n соответствует условию $K_n C^n$ - безразмерная величина

В уравнение (1) кроме равновесных характеристик адсорбции входит величина n , характеризующая число мономеров аминокислоты в кластере наибольшего размера. Ее значение (табл.1) позволяет сделать вывод, что L- пролин сорбируется на поверхности УНТ 01RW03 в виде мономеров и кластеров из 4 - 5 молекул и на УНТ 01RW04 в виде мономеров и кластеров из 6 -7 молекул.

Список литературы

1. Anzar N. et al. Carbon nanotube-A review on Synthesis, Properties and plethora of applications in the field of biomedical science //Sensors International. – 2020. – Т. 1. – С. 100003.
2. Butyrskaya E. V. Single-layer cluster adsorption model and its application for the estimation of the CO2 structure on metal-organic frameworks //Materials Today Communications. – 2022. – Т. 33. – С. 104327.
3. Butyrskaya E. Understanding the mechanism of monolayer adsorption from isotherm //Adsorption. – 2024. – Т. 30. – №. 6. – С. 1395-1406.

УДК 543.554: 66.081.6: 616.314-002

МУЛЬТИСЕНСОРНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ НОВЫХ ПРИВИТЫХ СУЛЬФОПОЛИМЕРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА РОТОВОЙ ЖИДКОСТИ ДЕТЕЙ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ КАРИЕСРЕЗИСТЕНТНОСТИ ЭМАЛИ

*Т.Р. Жучков¹, И.В. Какунина¹, А.С. Ельникова¹, П.А. Юрова²,
Ю.С. Медведева³, Ю.А. Ипполитов³, А.В. Паршина¹,
О.В. Бобрешова¹*

*¹Воронежский государственный университет,
Воронеж, Россия
zhuchkovtr@yandex.ru*

*²Институт общей и неорганической химии имени
Н.С. Курнакова Российской академии наук, Москва, Россия*

*³Воронежский государственный медицинский университет
имени Н.Н. Бурденко Министерства здравоохранения
Российской Федерации, Воронеж, Россия*

Кариес является одним из самых распространенных инфекционных заболеваний [1]. Протоколы для оценки риска развития кариеса до появления видимых изменений имеют низкую предиктивность. Современные подходы к оценке кариесогенной ситуации полости рта и кариесрезистентности зубной эмали сосредоточены на анализе ротовой жидкости, что обеспечивает неинвазивность анализа и позволяет избежать агрессивного воздействия на ткани зубов [2, 3]. Так, в работе [2] было выявлено, что при ухудшении кариесогенной ситуации полости рта снижается концентрация ионов щелочных и щелочноземельных металлов, повышается уровень тиоцианат ионов и возрастает органическая составляющая ротовой жидкости [2]. При этом специфические маркеры кариеса не были выявлены. В этой связи обоснованным является выбор мультисенсорного подхода [4] и потенциометрического типа детектирования для решения проблемы ранней диагностики кариеса на основании анализа ротовой жидкости. Целью данной работы была разработка массива перекрестно чувст-

вительных ПД-сенсоров, аналитическим сигналом которых является потенциал Доннана [5,6], на основе лабораторных и коммерческих фторполимерных сульфокатионообменных мембран для оценки кариесрезистентности зубной эмали у детей посредством анализа ротовой жидкости.

Образцы ротовой жидкости пациентов возрастом от 3 до 14 лет с разным уровнем кариесрезистентности зубной эмали были предоставлены Стоматологической клиникой ВГМУ им. Н.Н. Бурденко (Воронеж, Россия). Отбор нестимулированной ротовой жидкости (1.0-1.5 мл) осуществляли в первой половине дня, чтобы исключить влияние на ее состав циркадного ритма. Пробы хранили не более 48 ч, в темноте, при -18°C , для анализа их разбавляли деионизованной водой в 100 раз.

Мембраны для ПД-сенсоров были получены методом прививочной радикальной сополимеризации полистирола на активированной гамма-излучением пленке поливинилиденфторида с последующим сульфированием. Некоторые из полученных мембран были модифицированы полианилином методом химической окислительной полимеризации. Коммерческие перфторированные сульфированные полимерные мембраны и композиционные мембраны на их основе также были исследованы в составе сенсоров. Применение дисперсионного анализа показало значимое изменение откликов ПД-сенсоров в растворах ротовой жидкости в зависимости от степени прививки, времени сульфирования мембран и присутствия в них полианилина, которое имело свои особенности при разной кариесогенной ситуации. По антифаулинговым свойствам полученные привитые мембраны не уступали коммерческим перфторированным мембранам.

Для оценки кариесрезистентности зубной эмали у детей на основании анализа откликов мультисенсорной системы в растворах их ротовой жидкости построена классификационная модель методом к ближайших соседей. Образцы ротовой жидкости пациентов с интактными зубными рядами (I группа, 10 пациентов), достаточно средней кариесрезистентностью зубной эмали (II группа, 12 пациентов), пониженной средней кариесрезистентностью зубной эмали (III группа, 6 пациентов) и с множественным

кариесом (III группа, 8 пациентов) были охарактеризованы с помощью откликов массива 19 ПД-сенсоров, которые затем были автошкалированы и обработаны методом линейного дискриминантного анализа для снижения размерности. Апробация мультисенсорной системы на тестовом наборе образцов ротовой жидкости пациентов с разным уровнем кариесрезистентности зубной эмали показала правильность их классификации равную 89%. Достигнутое высокое значение правильности позволяет ожидать хорошую прогностическую способность мультисенсорной системы для мониторинга кариесогенной ситуации полости рта и кариесрезистентности зубной эмали у детей.

Список литературы

1. Lopes M.B. Dental Caries and Its Management / M.B. Lopes // *International Journal of Density* – 2023. – 9365845.
2. Pathology-Specific Molecular Profiles of Saliva in Patients with Multiple Dental Caries – Potential Application for Predictive, Preventive and Personalised Medical Services / P. Seredin, D. Goloshchapov, Y. Ippolitov, P. Vongsvivut // *EPMA Journal*. – 2018. –N.9. – P. 195-203.
3. Salivary Diagnosis of Dental Caries: A Systematic Review / R. Antonelli, V. Massei, E. Ferrari // *Current Issues in Molecular Biology*. – 2024. V. 46, N. 5. – P. 4234-4250.
4. Electronic Tongues for Inedible Media / D. Kirsanov, D. Correa, G. Gaal [et al.] // *Sensors*. – 2019. – V. 19. – Art. N. 5113.
5. Perfluorosulfonic Acid Membranes with Short and Long Side Chains and their Use in Sensors for the Determination of Markers of Viral Diseases in Saliva / A.V. Parshina, E.Yu. Safronova, S.A. Novikova [et al.] // *Membranes*. – 2023. – V. 13, N. 8. – Art. N. 701.
6. Determination of Tetracaine and Oxymetazoline in Drugs and Saliva via Potentiometric Sensor Arrays Based on Fluoropolymer/Polyaniline Composites / A. Parshina, A. Yelnikova, V. Shimbareva [et al.] // *Journal of Chemometrics*. – 2024. – V. 38, N. 10. – Art. N. e3583.

УДК 543.06; 543.07

КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ИТАКОНАТА КАЛЬЦИЯ И ОКСИДА ГРАФЕНА, КАК МАТЕРИАЛ АКТИВНОГО СЛОЯ ДАТЧИКА СОДЕРЖАНИЯ АЦЕТОНА В ВОЗДУХЕ

А.О. Зарубина, А.Д. Васильева, Т.С. Колесникова, И.Е. Уфлянд

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия
nussanussa@mail.ru*

Летучие органические соединения в настоящее время имеют широкое распространение, как в производственных процессах, так и в повседневной жизни человека. Они являются основными растворителями для производства красок, средств для обезжиривания поверхностей, клеев, освежителей воздуха, косметических средств [1]. Пожалуй, наиболее востребованным в этом плане растворителем является ацетон, который обладает хорошей растворяющей способностью, имеет низкую температуру кипения, а, следовательно, легколетуч. Как растворитель ацетон известен достаточно давно, но в настоящее время все же еще интенсивно изучается его краткосрочное и отдаленное воздействие на здоровье человека, тем более что установлено его наркотическое воздействие на организм человека [2]. Итаконат кальция был получен взаимодействием исходных компонентов (карбоната кальция и итаконовой кислоты) в воде. Вначале образовывался объёмный белый гелеобразный осадок гидрогеля итаконата кальция. Оксид графена (ОГ) синтезировали по модифицированному методу Хаммерса. Композит получали введением ОГ массой 20% от запланированной массы итаконата кальция на стадии синтеза последнего. Полученный композит промыт и высушен в вакууме. Материал изучен методами РФА, сканирующей электронной микроскопии и инфракрасной микроскопии. РФА показал комбинацию рефлексов, характерных для прекурсоров. СЭМ изображение показывает, что в ходе синтеза композита происходит трансформация морфологии прекурсоров, что демонстрирует рисунок 1.

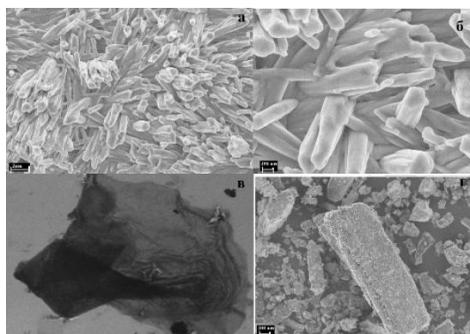


Рисунок 1. СЭМ изображение композита и его предшественников. а,б – итаконат кальция при разных увеличениях; в – оксид графена; г – композит.

Из представленного рисунка заметно, что в композите кристаллы итаконата кальция покрыты с поверхности листами оксида графена, что в итоге формирует единую систему.

Для получения сенсора на стеклянную пластинку с закрепленными встречно штырьевыми электродами наносили спрессованный композит и испытывали в камере, схема которой показана на рисунке 2.



Рисунок 2. Схема испытательной камеры.

Испытание датчика содержания ацетона в воздухе проводилось в течение 30 дней. Массовое содержание ацетона в воздухе контролировалось хроматографическим методом. В результате эксперимента установлено, что в атмосфере ацетона сопротивление активного слоя резко снижается по срав-

нению с сопротивлением слоя на воздухе, что демонстрирует рисунок 3.

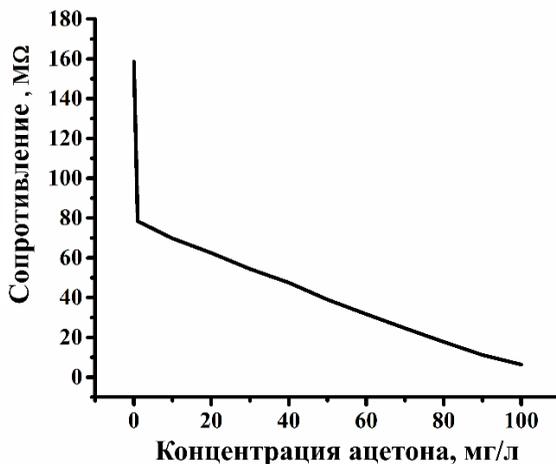


Рисунок 3. Зависимость сопротивления активного слоя датчика от концентрации ацетона в газовой смеси.

Список литературы

1. Ashwini N. Mallya, Ranjith Kottokkaran, Praveen C. Ramamurthy. Conducting polymer-carbon black nanocomposite sensor for volatile organic compounds and correlating sensor response by molecular dynamics. *Sensors and Actuators B: Chemical*, Volume 201, 2014, Pages 308-320.
2. William E. Luttrell and Austin L. LaGrow. *Journal of Chemical Health & Safety*, 2014, 21 (3), 29-31.

УДК 547

ДАТЧИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ БЕНЗОЛА И КСИЛОЛОВ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ

А.О. Зарубина, А. Васильева, Т.С. Колесникова, И.Е. Уфлянд

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

Летучие органические соединения (ЛОС), особенно ароматические углеводороды, продолжают играть весьма важную роль в современном мире, хотя в их предназначении наблюдаются заметные тенденции. Особое значение в этом отношении имеет бензол, являющийся важным промышленным продуктом и хорошо известный своей канцерогенностью [1,2]. Толуол и ксилолы, в отличие от бензола, не проявляют канцерогенной активности, но могут оказывать неблагоприятное воздействие на центральную нервную систему человека [3]. Сбрасывая бензол и подобные ему химические вещества в сточные воды, они загрязняют питьевую воду и вызывают тревогу из-за возможного вреда, который они могут нанести здоровью человека и окружающей среде [4].

В связи с этим обнаружение и мониторинг ЛОС в окружающей среде имеют огромное значение как для безопасности людей, так и для окружающей среды. Реализация задач по достижению этой цели представляет собой сложную задачу и в целом зависит от возможности использования высокопроизводительных и относительно недорогих сенсорных устройств, способных обнаруживать подобные газоаналиты.

В данной исследовании представляется возможность использования трехкомпонентного нанокompозита на основе итаконата стронция, оксида графена (ГО) и полианилина (ПАНИ) в качестве эффективного сенсорного слоя для создания компактного сенсора бензола, толуола и ксилола. Особенность работы связана с использованием материалов, обладающих полупроводниковыми свойствами. Таким образом, предлагаемое устройство

может заменить существующие сложные методы измерения этих соединений и потенциально других аналогичных поллютантов в воздухе, являясь быстрым, эффективным и недорогим методом.

Итаконат стронция был получен обменной реакцией между карбонатом стронция и итаконовой кислотой. Оксид графена был синтезирован с использованием модифицированного метода Хаммера. Синтез ПАНИ осуществлялся методом окислительной полимеризации согласно известным методикам. Трехкомпонентный нанокompозит получали путем тщательного перемешивания в агатовой ступке всех прекурсоров, с добавлением незначительного количества ДМФА с последующим прессованием под давлением 480 МПа для получения пленки в течение 24 ч. В результате такой обработки толщина пленки составила 25-30 мкм. Морфологию пленки изучили с помощью ПЭМ в сравнении с прекурсорами композита (рис. 1).

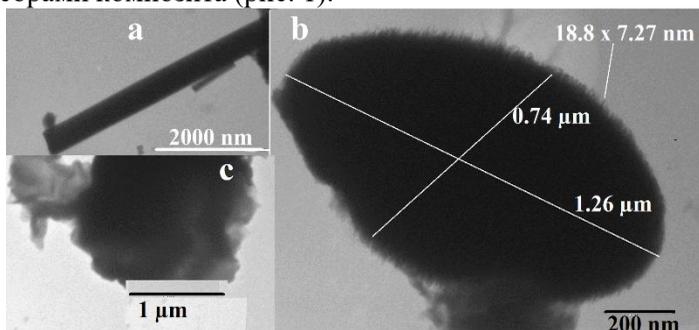


Рисунок 1. ПЭМ изображение: а - кристаллов итаконата стронция; б – ОГ; в – трехкомпонентного композита.

Из представленного рисунка видно, что в композите его предшественники значительно изменили свою морфологию, сформировав в конечном итоге единую систему, состоящую из отдельных гранул с ворсистой поверхностью размерами 0,74X1,26 мкм. Полученную таким способом пленку приклеивали к стеклянной подложке с двумя встречно-штырьевыми электродами. Материал электродов – серебряная проволока, диаметром

0.3 мм. Испытания сенсора проводили в приборе, показанном на рисунке 2.

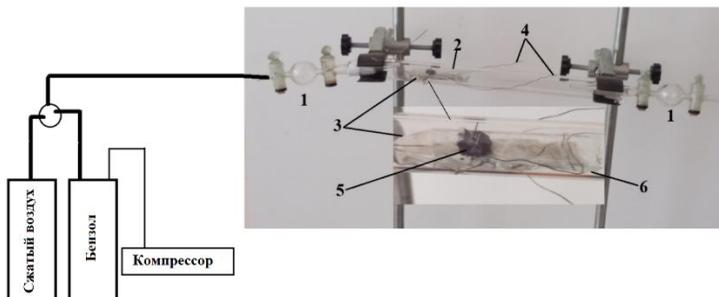


Рисунок 2. Схема испытательной камеры. 1 – газовые пипетки, 2 – стеклянная трубка; 3 – испытуемый датчик; 4 - соединительные провода; 5 – активный слой сенсора; 6 – стеклянная подложка.

Испытания показали удовлетворительную работу сенсора в сравнении с аналогами.

Список литературы

1. G. St Helen, E. Liakoni, N. Nardone, N. Addo, P. Jacob 3rd, N. L. Benowitz, *Cancer Prev. Res.* 2020, 13, 153.
2. D. Loomis, K. Z. Guyton, Y. Grosse, F. El Ghissassi, V. Bouvard, L. Benbrahim-Tallaa, N. Guha, N. Vilahur, H. Mattock, K. Straif, *Lancet Oncol.* 2017, 18, 1574.
3. K. Hamdi, M. Hébrant, P. Martin, B. Galland, M. Etienne, *Sens. Actuators B Chem.* 2016, 223, 904.
4. L. M. Hauptert, J. McDonnell, K. Martel, M. D. Miles, M. L. Magnuson, *J. Hazard. Mater. Adv.* 2021, 3, 100013.

УДК 541.49:533.376

ФОТОСТАБИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И КОМПЛЕКСОВ ЕВРОПИЯ

*Р.М. Зиятдинова¹, А.С. Крупин¹, А.А. Князев¹,
Ю.Г. Галяметдинов^{1,2}*

*¹Казанский национальный исследовательский
технологический университет, Казань, Россия*

*²Казанский физико-технический институт
имени Е. К. Завойского Казанского научного центра РАН,
Казань, Россия
ruzannochka95@mail.ru*

Соединения лантаноидов привлекают внимание ученых всего мира благодаря уникальным спектрально-люминесцентным характеристикам: монохроматическая полоса люминесценции, большое время жизни излучения и теоретически возможная 100% внутренняя квантовая эффективность люминесценции [1]. Трехвалентные ионы лантаноидов (Ln^{3+}) имеют узкие и интенсивные полосы излучения, благодаря $f-f$ электронным переходам в $4f$ -слое и широкий диапазон времени жизни люминесценции, подходящий для различных применений [1]. Однако сами ионы имеют низкие коэффициенты экстинкции ϵ ($1-10 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) и ограничены запрещенной четностью $f-f$ переходов [1].

В качестве перспективных хромофоров с высокой эффективностью передачи энергии хорошо зарекомендовали себя производные β -дикетоннов [1]. При этом лигандное окружение мало влияет на электронные уровни энергии ионов вследствие эффективного экранирования $4f$ -электронов заполненными внешними $5s$ - и $5p$ -оболочками. Поэтому спектры внутриконтрагентных переходов $4f-f$ ионов Ln^{3+} практически сохраняют свой атомарный характер, что делает люминесцентные материалы на основе координационных соединений $\text{Ln}(\text{III})$ перспективными для использования в качестве функциональных материалов различного

назначения: оптоэлектронные устройства, биологическая флуоресцентная маркировка, светоизлучающие устройства, светотрансформирующие покрытия, пигменты и люминесцентная термометрия [1].

Однако большинство комплексов лантаноидов обычно обладают низкой термо- и фотостабильностью. Это ограничивает их непосредственное применение в оптоэлектронных технологиях. Поэтому комплексы Ln(III) заключают в различные матрицы (органические (полимеры, жидкие кристаллы), неорганические (стекла, силикаты) или золь-гелевые органо-неорганические гибриды) [1]. Внедрение комплексов редкоземельных элементов в полимеры благодаря их равномерному распределению в макромолекулярных цепях повышает: эффективность люминесценции, химическую и термическую стабильность, механические свойства и делает более технологичным процессы получения прозрачных пленочных материалов [1]. В этом аспекте полилактид (PLA) благодаря своим оптическим свойствам, технологичности, сравнительной дешевизне, возможности применения в 3D-печати представляется перспективной матрицей для соединений Ln(III). Стоит также отметить, что PLA является не токсичным, биоразлагаемым, биосовместимым полимером. В связи с этим материалы на его основе в перспективе могут быть использованы как модельные системы для последующей иммобилизации соединений лантаноидов(III) для внедрения в биологические организмы с целью диагностики раковых опухолей, термометрии *in vivo* и других приложений. Однако в литературе имеются единичные примеры включения комплексов Ln(III) в полилактид [1].

В работе была изучена возможность получения фото- и термостабильных пленок на основе полимера PLA и аморфных комплексов Tb(III) и Eu(III). Аморфные соединения Ln(III) благодаря своей уникальной структуре (анизотропная форма, длинные углеводородные заместители на торцах молекул) хорошо растворяются в органических растворителях, смешиваются с различными полимерами и способны равномерно распределяться в полимерной матрице. Это позволяет нивелировать процессы образования кристаллических дефектов и влияние эффекта самогашения

люминесценции, и получить более эффективный механизм межмолекулярного переноса энергии чем у известных аналогов [1]. Такие комплексы эффективно поглощают в широком спектральном диапазоне от 250 до 400 нм, что позволяет не использовать для их возбуждения жесткое УФ-излучение [1]. При этом, они обладают низкими температурами плавления сравнимыми с температурой плавления PLA, что позволяет легко наносить получаемые композиты на различные поверхности с помощью 3D-принтерных технологий.

На основе полимера PLA и аморфных комплексов Eu(III) и Tb(III) (рис. 1 а) получены плёнки композиционных материалов с различным процентным содержанием люминофора. При введении комплекса в количестве от 2.5% до 20% квантовая эффективность люминесценции пленок возрастает почти в 2 раза и достигает 37.1%. Показано, что увеличение содержания комплекса Eu(III) до 20% масс. приводит к повышению квантовой эффективности, фотостабильности и температурной чувствительности люминесценции термосенсора. Температурная зависимость времени жизни люминесценции композитных плёнок представлена на рисунке 1б. Температура оказывает значительное влияние на время жизни и сокращает его практически в 15 раз (для пленки 20%Eu). Причем, чем больше содержание комплекса Eu(III) в композитной пленке, тем сильнее температура влияет на время жизни. При увеличении температуры время жизни люминесценции образцов в диапазоне 308-343 К убывает практически по линейной зависимости с коэффициентами корреляции $R^2 > 0.94$. Максимальное значение относительной чувствительности интенсивности варьируется в интервале $11.7 - 20.1 \% \times K^{-1}$, и превышает таковые для всех известных примеров β -дикетонатных лантаноидсодержащих термосенсоров. Средняя абсолютная чувствительность времени жизни люминесценции в диапазоне 308-343 К составил 11,3-13,3 мкс/К. Максимальное значение относительной чувствительности времени жизни варьируется в интервале $5.4 - 7.3 \% \times K^{-1}$ при температуре 333К.

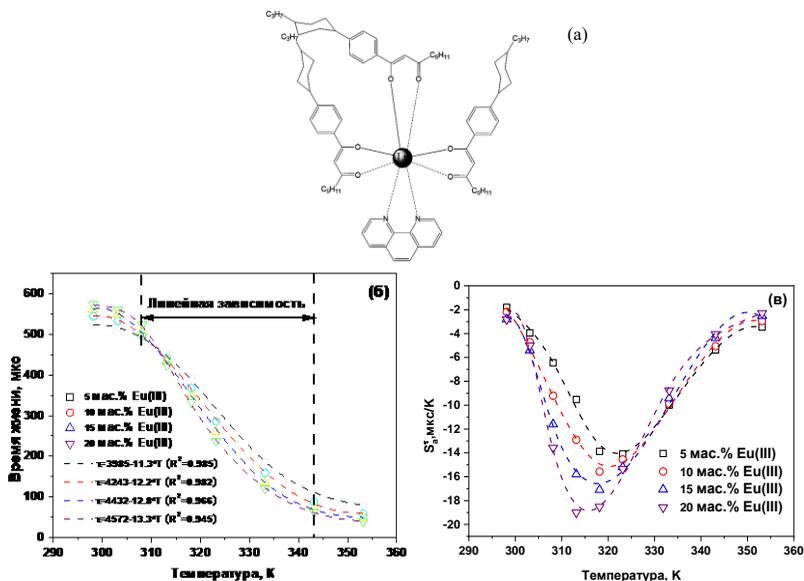


Рис.1. Структура комплекса $\text{Ln}(\text{CPDK}_{3-5})_3\text{phen}$, где $\text{Ln}=\text{Eu}, \text{Tb}$ (а); температурная зависимость времени жизни люминесценции (при $\lambda_{\text{ex}}=350$ нм) композитных плёнок комплекса $\text{Eu}(\text{III})$, допированного в PLA (б), температурная чувствительность времени жизни люминесценции (в)

Созданные композиты являются многообещающими материалами для создания люминесцентных термометров, пригодных для измерения температур в диапазоне 303-363К, в том числе в области физиологических температур человека.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Минобрнауки РФ в рамках государственного задания на оказание государственных услуг № 075-01508-23-00 (fzsg-2023-0008).

Список литературы

1. Lapaev D.V., Nikiforov V.G., Lobkov V.S., Knyazev A.A., Ziyatdinova R.M., Galyametdinov Yu.G., 2020, Journal of Materials Chemistry C. №18. P.6273-6280

УДК 543.554: 66.081.6: 616.31-006.04

ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ МЕМБРАН МФ-4СК/ПОЛИАНИЛИН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСПЕЦИФИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ РАКА РОТОВОЙ ПОЛОСТИ

*И.В. Какунина¹, В.А. Шимбарева¹, А.С. Ельникова¹,
П.А. Юрова², А.В. Паршина¹, О.В. Бобрешова¹*

*¹Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия
parshina_ann@mail.ru*

*²Институт общей и неорганической химии имени
Н.С. Курнакова Российской академии наук, Москва, Россия*

Поиск новых материалов и разработка на их основе сенсоров для медицинских приложений является трендом современной электроаналитической химии. Одними из перспективных анализов выступают неспецифические биомаркеры различных заболеваний, например, в [1] отмечается, что биомаркерами рака ротовой полости являются L-фенилаланин и L-лейцин. Поэтому целью работы была разработка ПД-сенсоров (ПД – потенциал Доннана) для совместного и группового определения L-фенилаланина и L-лейцина в растворах, имитирующих слюну человека, с использованием перфторированных сульфокатионообменных мембран МФ-4СК, модифицированных полианилином (ПАНИ), в том числе подвергшихся гидротермальной обработке (ГО).

Сорбционные, транспортные и электродоактивные свойства мембран МФ-4СК, модифицированных ПАНИ методом *in situ*, подробно описаны в [2,3]. Проведение процесса окислительной полимеризации ПАНИ в гидрофильной фазе мембран с использованием различной последовательности их обработки растворами мономера и окислителя позволило варьировать их селективность. Обработка мембран в контакте с водой при температуре, превышающей температуру стеклования, приводила к растяжению гид-

рофильных пор и каналов и частичному распутыванию макромолекул перфторполимера, что, однако, затруднялось в присутствии ПАНИ из-за формирования водородных связей между его аминогруппами и сульфогруппами мембраны. Снижение кристалличности перфторполимера под действием ГО не было равномерным, а зависело от распределения ПАНИ между объемом и приповерхностными слоями мембраны, которое задавалось условиями его синтеза.

Характеристики ПД-сенсоров устанавливали в разбавленном в 1000 раз растворе Рингера, содержащем варьируемые в различном соотношении концентрации L-фенилаланина и L-лейцина. Получены линейные концентрационные зависимости отклика ПД-сенсоров в диапазоне от $1.0 \cdot 10^{-5}$ до $1.0 \cdot 10^{-3}$ М с чувствительностью от 19.5 до 69.5 мВ/рС при учете как влияния на отклик общей концентрации аналитов, так и совместного их влияния. Относительная погрешность определения L-фенилаланина и L-лейцина в исследуемых растворах, имитирующих слюну человека, с использованием двух ПД-сенсоров составила 1.1-10 и 1.2-11%. Относительная погрешность группового анализа была 0.2-5%. Показано повышение антифаулинговых свойств мембран МФ-4СК при введении в их поры ПАНИ.

Список литературы

1. Measurement of salivary metabolite biomarkers for early monitoring of oral cancer with ultra performance liquid chromatography–mass spectrometry / Q Wang., P. Gao, F. Chen [et al.] // *Talanta*. – 2014. – V. 119. – P. 299-305.

2. Perfluorosulfonic Acid Membranes Modified with Polyaniline and Hydrothermally Treated for Potentiometric Sensor Arrays for the Analysis of Combination Drugs / A. Parshina, A. Yelnikova, T. Kolganova [et al.] // *Membranes*. – 2023. – V. 13, N. 3. – Art. N. 311.

3. Determination of Tetracaine and Oxymetazoline in Drugs and Saliva via Potentiometric Sensor Arrays Based on Fluoropolymer/Polyaniline Composites / A. Parshina, A. Yelnikova, V. Shimbareva [et al.] // *Journal of Chemometrics*. – 2024. – V. 38, N. 10. – Art. N. e3583.

УДК 678.7

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШИННЫХ РЕЗИН ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ

О.В. Карманова¹, А.А. Солодова¹, А.В. Касперович²

*¹Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
²УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь
¹kaf-tospp@vsuet.ru, ¹l.iarzzz@yandex.ru, ²andkasp@mail.ru*

В настоящее время перед производителями шин встает двойная задача: не только наращивать объемы выпуска, но и непрерывно улучшать качество продукции. Особую актуальность приобретает растущий потребительский интерес к экологичным («зеленым») шинам, способствующим экономии топлива и сокращению выбросов CO₂. В связи с этим ключевым направлением развития отрасли становится внедрение инновационных материалов и технологий, призванных повысить эксплуатационные характеристики и долговечность шин при одновременном снижении их воздействия на окружающую среду.

В последние годы в переработке полимеров всё большую актуальность приобретают радиационные технологии. Их применение позволяет создавать продукты, получение которых традиционными химическими или термическими методами является либо экономически нецелесообразным, либо вовсе невозможным [1].

Поскольку основу шинных резин составляют каучуки (чаще всего их комбинация), а они, в свою очередь, преимущественно относятся к полимерам, склонным к сшиванию под действием ионизирующего излучения, это открывает широкие возможности для модификации таких материалов. Важно отметить, что эффективность образования поперечных связей зависит от ряда факторов: природы и строения каучука, его морфологии и параметров облучения [2]. Таким образом, использование ионизирующего

излучения для модификации шинных резин представляется чрезвычайно перспективным направлением.

Объектами исследования служили эластомерные композиции для ключевых элементов шин: каркаса (основа – смесь натурального и синтетического изопренового каучука), боковины (на основе комбинации изопренового и бутадиенового каучуков) и протектора (основа – комбинация изопренового и растворного бутадиен-стирольного каучуков).

Получение опытных образцов осуществлялось методом комбинированной вулканизации, включающей термохимический и радиационный этапы. На первом этапе проводилась термохимическая вулканизация серой до трех различных степеней вулканизации: 70%, 80% и 90%. На втором этапе образцы подвергались радиационной обработке на ускорителе электронов «Электроника У-003» при поглощенных дозах в диапазоне от 10 до 60 кГр.

Оценку эффекта от комбинированной вулканизации выполняли на основе анализа физико-механических свойств и структурных параметров вулканизатов.

Анализ данных показал, что наиболее высокие значения условной прочности при растяжении достигаются в интервале поглощенных доз 10-30 кГр. Динамика изменения относительного удлинения при разрыве варьировалась в зависимости от типа резины. Плотность шивки возрастала при увеличении дозы облучения в исследуемом диапазоне, что подтверждает целесообразность применения радиационной обработки шинных резин.

Результаты демонстрируют, что комбинированная обработка (термохимическая вулканизация с последующим облучением в диапазоне малых доз - до 30 кГр) представляет собой перспективный подход к модификации эксплуатационных характеристик резин.

Список литературы

1. Karmanova O.V., Tikhomirov S.G., Kayushnikov S.N., Shashok Z.S., Polevoy P.S Obtaining and using of reclaimed butyl rubber with the use of ionizing radiation // Radiation Physics and Chemistry. 2019. Т. 159. С. 154-158.

2. Electron beam curing of composites / F. Wolff-Fabris, V. Altstädt, U. Arnold, M. Döring // Electron Beam Curing of Composites, 2010. – P. 1-129.

УДК 678

**ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ
БЕНТОНИТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
КОМПЛЕКСНОГО АКТИВАТОРА ВУЛКАНИЗАЦИИ**

*О.В. Карманова¹, А.А. Голякевич¹, Ж.С. Шашок²,
Е.А. Меренкова¹*

*¹Воронежский государственный университет инженерных
технологий, Воронеж, Россия,*

*²УО «Белорусский государственный технологический
университет», Минск, Республика Беларусь
¹kaf-tospp@vsuet.ru, ²root@belstu.by*

При создании комплексного активатора вулканизации в качестве исходных компонентов используются оксид цинка, стеариновая кислота, минеральный наполнитель [1]. Особый интерес представляет исследование структуры и свойств применяемых наполнителей, в первую очередь их способности к адсорбции жирно-кислотной компоненты. Механизм взаимодействия жирных кислот с минералами, обладающими высокой адсорбционной ёмкостью используется в современных технологических процессах рафинирования и очистки растительных масел [2].

Целью работы явилось исследование влияния физико-химических свойств наполнителей, применяемых для синтеза комплексного активатора вулканизации на свойства вулканизатов.

В качестве минеральных наполнителей выбраны бентониты двух марок (неактивированный и активированный гидрокарбонатом натрия), диатомит, диоксид кремния.

Способность адсорбировать на своей поверхности компоненты комплексного активатора вулканизации при синтезе, а также обеспечивать их равномерное распределение в каучуковой матрице обеспечивается значительной удельной поверхностью наполнителя, ёмкостью катионного обмена его структуры, показателем «насыпная плотность» (табл.). Удельную

адсорбционную поверхность оценивали с помощью показателя масляного числа по дибутилфталату, способность к реакциям катионного обмена и хемосорбции компонентов - по показателю ёмкости катионного обмена.

Таблица – Свойства наполнителей, применяемых в составе активатора вулканизации и резин, изготовленных в их присутствии

Наименование показателей	Бентониты		Диатомит	Диоксид кремния
	неакт.	акт.		
<i>Свойства наполнителей</i>				
Насыпная плотность, г/см ³	0,69	1,10	0,58	1,85
Масляное число, мл/г	171,1	209,3	166,7	213,3
Ёмкость катионного обмена, мг-экв/100 г	150	280	25	38
<i>Свойства резин</i>				
Условное напряжение при 300% удлинении, МПа	17,9	15,2	13,1	15,2
Условная прочность при растяжении, МПа	19,6	18,1	17,7	17,1
Относительное удлинение при разрыве, %	360	350	358	315

Установлено, что наибольшей сорбционной способностью характеризуются модифицированный бентонит и диоксид кремния (табл.), высокими значениями катионообменной ёмкости - бентониты. По результатам испытаний резин, изготовленных в присутствии комплексных активаторов вулканизации с разными наполнителями установлено, что наилучшие упруго-прочностные показатели получены в присутствии бентонитов, отличающихся наибольшей ёмкостью катионного обмена среди минеральных компонентов.

Список литературы

1. Карманова О. В., Тихомиров С. Г., Попова Л. В., Фатнева А. Ю. Исследование свойств резин в присутствии композиционного активатора вулканизации // Каучук и резина. – 2020. – Т. 79, № 1. – С. 28-31.
2. Зубова, Е. В. Влияние отбелных глин на качество растительного масла / Е. В. Зубова, М. В. Барышев // Вестник Нижегородского государственного агротехнологического университета. – 2024. – № 1(41). – С. 75-81.

УДК 678

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР МАСЛОБЕНЗОСТОЙКИХ РЕЗИН ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

О.В. Карманова, П.С. Москалев

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
karolga@mail.ru, maskalaurum23@mail.ru*

Актуальность работы обусловлена потребностью в импортозамещении маслобензостойких резинотехнических изделий для машино-и автомобилестроения.

Резины на основе бутадиен-нитрильного каучука, наполненного ПВХ широко применяются в производстве изделий, стойких к агрессивным средам, топливам, маслам благодаря повышению полярности полимера, обеспечивая при этом стойкость к повышенным температурам. Кроме того, такие резины характеризуются высокой прочностью и износостойкостью, однако имеют повышенную вязкость и жесткость, что отрицательно сказывается на технологических свойствах резиновых смесей и полуфабрикатов.

Целью работы являлась разработка рецептур резин на основе бутадиен-нитрильного каучука СКН26ПВХ30, предназначенных для комплектации узлов и механизмов автомобилей и исследование их свойств.

Опытная рецептура резиновой смеси разработана на основе стандартной согласно ТУ 38.103213-2006 (Техническая спецификация на каучук СКН26ПВХ30 ОАО «Красноярский завод СК»), а именно: проводили корректировку наполнителей.

Резиновые смеси изготавливали в 2 стадии на микросмесителе Brabender по следующему режиму: частота вращения роторов - 60 мин⁻¹, начальная температура загрузки - 80°C, продолжительность смешения на 1 стадии - 7 мин, на второй стадии - 2,5

мин. После охлаждения смеси второй стадии вводилась вулканизирующая группа.

В ходе работы определены технологические и вулканизационные характеристики. Показатель вязкости по Муни полученной смеси составил 69 усл. ед. Оптимальное время вулканизации – 21,1 мин. Исследованы упруго-прочностные показатели и стойкость к агрессивным средам. В качестве агрессивной среды использовали бензин АИ-95, экспозицию образцов проводили в течение 168 ч. Результаты представлены в таблице.

Таблица – Упруго-прочностные показатели резин на основе СКН26ПВХ30 (151 °С×50 мин)

Наименование показателя	Образец	
	до контакта с агрессивной средой	после контакта с агрессивной средой
Условное напряжение при 100% удлинении, МПа	7,1	7,4
Условное напряжение при 300% удлинении, МПа	18,1	18,6
Условная прочность при растяжении, МПа	20,1	20,0
Относительное удлинение при разрыве, %	370	350
Твёрдость по Шору А, усл.ед.	78	-
ОДС при одном режиме 25% (23°С × 72ч)	19,5	18,5

Из полученных данных следует, что исследуемые резины обладают хорошей топливостойкостью. После 168 ч испытаний в топливе прочностные показатели резин сохранились на начальном уровне. Отмечено незначительное снижение показателя относительного удлинения при разрыве. Дальнейшие исследования будут направлены на доработку рецептуры для снижения показателя остаточной деформации сжатия и сокращения потери массы образцов при контакте с агрессивными средами.

УДК 678

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ПАВ НА СВОЙСТВА АНТИАДГЕЗИОННЫХ СОСТАВОВ

*А. В. Касперович¹, Ж. С. Шашок¹, Е. П. Усс¹, О. А. Кротова¹,
А. В. Лешкевич¹, А. Ю. Люштык², С. Н. Каюшников²,
Т. С. Юшкевич², Е. Н. Матюшкова²*

¹*УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь,
andkasp@mail.ru,*

²*ОАО «Белшина», Бобруйск, Республика Беларусь,
lyushtykayu@belshina.by*

Для предупреждения слипания листов и гранул невулканизированных резиновых смесей и каучуков при их получении, хранении и переработке в производстве шин и резинотехнических изделий широко используются различные антиадгезионные составы. В качестве антиадгезивов нашли применение такие порошкообразные продукты как мел, каолин, тальк, стеарат цинка и другие вещества с целью улучшения санитарно-гигиенических условий труда персонала преимущество отдается суспензиям, эмульсиям, растворам антиадгезионных составов на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ) и др. [1–3].

Использование ПАВ в антиадгезионных составах обусловлено их способностью адсорбироваться на поверхностях эластомерных материалов с образованием тонкого слоя, который препятствует слипанию этих поверхностей при контакте. При выборе ПАВ для разработки антиадгезионного состава необходимо учитывать их способность к пенообразованию, которая определяет возможность вспенивания антиадгезивов. Это может приводить к ухудшению взаимодействия антиадгезива с эластомерной поверхностью, снижать коэффициент использования оборудования в производственных условиях и отрицательно сказываться на санитарно-гигиеническом состоянии рабочих помещений [4].

Цель работы – исследование влияния типа ПАВ на свойства антиадгезионных составов на основе минеральных наполнителей.

Объектом исследования являлся антиадгезионный состав в виде коллоидного раствора, включающего минеральные наполнители, ПАВ, соду, пеногаситель и воду.

В связи с тем, что в рецептурах антиадгезионных составов используются минеральные наполнители различной природы с большим содержанием полярных групп при выборе ПАВ исходили из того, что они должны обеспечивать легкий ввод компонентов антиадгезива в воду, диспергирование наполнителей, исключать образование осадка, иметь незначительное пенообразование. При этом полученный антиадгезионный раствор в присутствии ПАВ должен смачивать поверхность невулканизованного эластомерного материала.

Для исследования влияния на свойства водных растворов антиадгезионных составов были выбраны имеющиеся в наличии и доступности приобретения различные катионные, анионные и неионогенные ПАВ.

Определено, что использование катионных ПАВ в рецептуре антиадгезионного состава нецелесообразно, так как несмотря на образование антиадгезионного слоя на поверхности резиновой смеси, данный тип ПАВ не обеспечивает стабильности раствора антиадгезионного состава и плохо смачивает поверхность резиновой смеси, что может быть связано с малой адсорбцией компонентов на поверхности минеральных наполнителей.

Установлено, что введение анионных ПАВ различной природы в состав антиадгезива способствует получению достаточно стабильного коллоидного раствора и обладает удовлетворительными изолирующими свойствами по отношению к невулканизованной резиновой смеси.

В результате исследований свойств растворов антиадгезионных составов с рядом неионогенных ПАВ с различными гидрофильно-липофильным балансом и природой были определены марки неионогенных ПАВ, обеспечивающих стабильность коллоидного раствора при статическом хранении через 1 ч (50 % взвесь). При этом полученные растворы антиадгезионных составов с их использованием хорошо смачивали поверхность резиновой смеси.

Таким образом, полученные данные показали, что использование только одного типа ПАВ не позволяет получать удовлетворительные свойства антиадгезионного состава. Известны работы [4, 5], подтверждающие что при использовании нескольких веществ одного назначения могут улучшаться свойства за счет взаимодействия компонентов между собой. В связи с этим дальнейшие исследования направлены на установление приемлемых марок и дозировок для комбинации анионного и неионогенного ПАВ в разрабатываемой рецептуре антиадгезионного состава.

Данная работа выполнялась в рамках Государственной научно-технической программы «Перспективные химические и биологические технологии» на 2021-2025 год по заданию «Разработка рецептуры и технологии получения антиадгезионного импортозамещающего состава для изоляции листованных и гранулированных маточных резиновых смесей при производстве автомобильных шин и резинотехнических изделий» подпрограммы «Малотоннажная химия».

Список литературы

1. Осошник И. А., Шутилин Ю. Ф., Карманова О. В. Производство резиновых технических изделий. Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2007. – 972 с.
2. Резниченко, С. В. Большой справочник резинщика : в 2 т. / редкол.: С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. Москва, 2012. Т. 1: Каучуки и ингредиенты. 2012. 735 с.
3. Изолирующие композиции для защиты резиновых смесей от слипания / П.Д. Каштанова [и др.] // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, Томск, 16–19 мая 2022 г.: в 2 т. Томск: ТПУ, 2022. Т. 2. С. 264–265.
4. Патент ВУ 1342 С1. Антиадгезионный состав для эластомерных материалов: № 1932; заявл. 23.05.1994; опубл. 16.09.1996 / А. Я. Борзенкова, Л. П. Прокопчик, В. Ф. Барташевич, П. В. Васильев, В. А. Мирошников, А. В. Боровский; заявитель ОАО «Белшина».
5. Теоретические основы химмотологии / Под ред. А. А. Браткова. М.: Химия, 1985. 320 с.

УДК 678

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ПЕНОГАСИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА АНТИАДГЕЗИОННЫХ СОСТАВОВ

*А. В. Касперович¹, Ж. С. Шашок¹, Е. П. Усс¹, А. Ю. Люштык²,
С. Н. Каюшников², Т. С. Юшкевич²*

¹*УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь,
andkasp@mail.ru,*

²*ОАО «Белшина», г. Бобруйск, Республика Беларусь,
lyushtykayu@belshina.by*

В настоящее время для изоляции невулканизованных эластомерных материалов широко применяются коллоидные растворянтиадгезионных составов, в которые входят наполнители, поверхностно-активные вещества (ПАВ), неорганические вещества и другие компоненты. Применяемые ПАВ в антиадгезионных составах могут выступать в роли пенообразователей, что может нарушать ритмичность технологического цикла приготовления растворов вследствие забивания пеной оборудования, коммуникаций, уноса пеной значительного количества полезных веществ и изменение концентрации растворов. Кроме того, пенообразование может ухудшать взаимодействие антиадгезива с поверхностью эластомерного материала. Химический способ разрушения пены путем введения пеногасителей получил широкое распространение в различных производствах [1, 2]. В связи с этим для снижения пенообразования при изготовлении коллоидных растворов антиадгезионного состава в больших объемах предложено введение пеногасителей.

Цель работы – исследование влияния типа пеногасителя на свойства коллоидных растворов антиадгезионных соста-

вов. Объектом исследования являлся антиадгезионный состав в виде коллоидного раствора, включающего минеральные наполнители, ПАВ, соду и воду.

Выбор пеногасителя осуществлен с учетом его доступности, стоимости, возможности использования в водных растворах, высокой пеногасящей способности в широких интервалах температур и рН среды. В качестве пеногасителей в рецептуре антиадгезионных составов использовались технические продукты на основе различных кремнийорганических соединений, предназначенные для водных систем. Пеногасители вводили в дозировках 0,01; 0,05 и 0,1 % мас. в конце приготовления раствора антиадгезионного состава. Пенообразующую способность водного раствора антиадгезионного состава устанавливали по методу выливания с использованием прибора Росс – Майлса. Данный метод основан на образовании пены в результате свободного падения 200 мл исследуемого раствора с высоты 900 мм на поверхность того же раствора через калиброванное отверстие [3].

На основании проведенных исследований установлено, что применение пеногасителей на кремнийорганической основе в водных растворах антиадгезионного состава приводит к гашению пены до 33,3 %, укрупнению пузырей и образованию «рыхлой» структуры пены по сравнению с раствором без пеногасителей. В связи с этим в случае образования пены при изготовлении растворов антиадгезионного состава большого объема с использованием высокоскоростных мешалок, а также в технологическом процессе обработки резиновых смесей данным раствором, возможно применение пеногасителей на основе кремнийорганических соединений, предназначенных для водных систем, с учетом их доступности и стоимости.

Данная работа выполнялась в рамках Государственной научно-технической программы «Перспективные химические и биологические технологии» на 2021-2025 год по заданию «Разработка рецептуры и технологии получения антиадгезионного им-

портозамещающего состава для изоляции листованных и гранулированных маточных резиновых смесей при производстве автомобильных шин и резинотехнических изделий» подпрограммы «Малотоннажная химия».

Список литературы

1. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. М.: Химия, 1975. 264 с.
2. Гельфман М.И., Ковалевич О.В., Юстратов В.П. Коллоидная химия. СПб.: Изд-во «Лань», 2004. 336 с.
3. Эмелло Г. Г., Крисько Л. Я., Богдан Е. О. Поверхностные явления и дисперсные системы: методические указания к лабораторным занятиям для студентов химико-технологических специальностей. Минск: БГТУ, 2013. 41 с.

УДК 678.01

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛАСТОМЕРНЫХ
ОГНЕТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ,
СОДЕРЖАЩИХ ФУНКЦИОНАЛЬНО-АКТИВНЫЕ
ГЕТЕРОГЕННЫЕ СТРУКТУРЫ**

*В.Г. Кочетков, В.Ф. Каблов, Н.А. Кейбал, О.М. Новопольцева,
Д.А. Крюкова, Д.А. Уржумов*

*Волгоградский государственный технический
университет, Волгоград, Россия
vg.kochetkov@mail.ru*

Огнетеплозащитные полимерные материалы применяются для защиты изделий и техники, строительных конструкций, газонефтедобывающего оборудования, работающих при повышенных температурах. Целью данной работы является создание высокоэффективных эластомерных огнетеплозащитных материалов (ОТЗМ) с улучшенными теплофизическими и огнетеплозащитными свойствами. В работе впервые для повышения огнетеплозащитной эффективности ОТЗМ получены синергические функционально-активные структуры на основе микросфер, микроволокон и синтезированных фосфорборазотсодержащих модификаторов, обеспечивающих повышение эксплуатационной стойкости эластомерного материала за счет протекания адаптационных физико-химических превращений во всем сечении материала при прохождении теплового потока.

Известные решения задачи создания эффективных ОТЗМ только за счет применения полимерных матриц, наполнителей или структурирующих агентов достигли своего предела. И наиболее перспективным направлением поиском является физико-химическая модификация, в т.ч. обработка компонентов элементоорганическими соединениями и высокоэнергетическими полями (плазма, лазер, микроволновое излучение). Введение микросфер (МСФ), микроволокон (МВ) и модификатора в отдельности является недостаточно эффективным – материал или имеет низ-

кую эрозионную стойкость к действию высокотемпературного потока, или относительно высокую плотность и теплопроводность [1, 2]. Поэтому нами была предложена схема создания функционально-активных микроструктур на основе МСФ, МВ и синтезированных фосфорборазотсодержащих модификаторов, обеспечивающих повышение эксплуатационной стойкости эластомерного материала за счет протекания адаптационных физико-химических превращений во всем сечении материала при прохождении теплового потока [3, 4]. Вводимые функционально-активные компоненты, образуя относительно крупные микроструктуры, приводят к некоторому снижению прочностных показателей, однако их значения все равно остаются выше нормативных. Более важным является тот факт, что плотность композиций по мере увеличения содержания микросфер уменьшается и приближается к контрольному варианту. Введение исследуемых функционально-активных компонентов обеспечивает увеличение времени прогрева необогреваемой поверхности образца на 17 % по сравнению с контрольным образцом и на 15-20 % по сравнению с аддитивным введением целевых ингредиентов, увеличение коксового числа в на 7-12 % по сравнению с контрольным образцом, а также меньшей скоростью линейного горения. По мере прохождения теплового потока через толщину огнетеплозащитного материала протекает ряд адаптивных процессов: в верхних слоях материала происходит деструкция полимерной матрицы и введенные функционально-активные компоненты обеспечивает образование более плотного мелкопористого коксового слоя, армированного микроволокном; в более глубоких слоях материала за счет наличия на поверхности микросфер фосфорборорганического модификатора инициируются процессы коксообразования, обеспечивающие уменьшение скорости прогрева. Эффективность исследуемых добавок подтверждается методами ДТА и ТГ анализов. При введении диоксида циркония происходит увеличение коксового остатка на 4-30 % и увеличение площади эндотермического пика на 24 %.

Для моделирования процессов, протекающих при высокотемпературном воздействии на огнетеплозащитный материал,

была использована разработанная под руководством проф. В.Ф. Каблова программа «Тепло 3», которая позволяет определить необходимую толщину материала, характер изменения толщин деструкции и прогрева от 15 параметров. Для обеспечения повышения эффективности работы ОТЗМ и уменьшения его толщины необходимо максимизировать тепловой эффект пиролиза и минимизировать плотность и температуропроводность материала. Материалы с низкой температуропроводностью будут медленно передавать тепло, что приводит к неравномерному прогреву и локализованному пиролизу и ускорению кинетики деструкции материала.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта, проект 24-23-20082

Список литературы

1. V.F. Kablov, O.M. Novopolceva, V.G. Kochetkov, V.V. Pudovkin Physicomechanical, thermal, and flame-retardant properties of elastomer compounds based on ethylene-propylene-diene rubber and filled with hollow aluminosilicate microspheres. Russian Journal of Applied Chemistry. 2017. Vol. 90, No. 2. pp. 257-261.

2. V.F. Kablov, N.A. Keibal, V.G. Kochetkov, A.O. Motchenko, Yu.M. Antonov Research of the Influence of Carbon Microfiber on the Properties of Elastomer Fire-Protective Materials. Russian Journal of Applied Chemistry. 2018. Vol. 91, Issue 7. pp. 1160-1164.

3. V.F. Kablov, O.M. Novopolceva, D.A. Kryukova, N.A. Keibal, V.V. Burmistrov, V.G. Kochetkov. Functionally Active Microheterogeneous Systems for Elastomer Fire- and Heat-Protective Materials. Molecules. 2023. Vol. 28, Issue 13. Article 5267.

4. V.G. Kochetkov, D.A. Kryukova, D.A. Urzhumov, O.M. Novopolceva, N.A. Keibal, V.V. Burmistrov, V.F. Kablov Elastomeric Fire and Heat-Protective Materials Containing Functionally Active Microheterogeneous Systems. Polymers. 2024. Vol. 16, Issue 15 (August-1). Article 2163.

УДК 621.315.611

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СИЛИКАТСОДЕРЖАЩИХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ

Е. Ф. Кудина

*УО «Белорусский государственный университет транспорта»,
Гомель, Беларусь*

*ГНУ «Институт механики металлополимерных систем
им. В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси»,
Гомель, Беларусь
kudina_mpri@tut.by*

Развитие современной техники предъявляет повышенные требования к физико-химическим и механическим свойствам композиционных материалов, обеспечивающих их устойчивость к различным температурам, влажности и агрессивным средам, а также прочности и пластичности, совокупность которых определяет эффективность использования материала в конструкциях. Широкое применение эпоксидных смол обусловлено широким спектром их высоких физико-механических свойств. Однако при этом эпоксидные смолы относительно хрупки, склонны к растрескиванию, недостаточно прочны при ударе.

Одним из направлений решения данных проблем может быть: 1 – обеспечение эластичности композиционных материалов на основе эпоксидных смол введением органических компонентов и получения многокомпонентной комбинированной матрицы; 2 – повышение прочности материалов введением в их состав минеральных наполнителей.

Функционализация эпоксидной смолы (ЭС) обеспечивает эластичные свойства и снижает хрупкость связующего [1-3]. Введенные минеральные добавки эффективно воздействуют на структурные параметры исходных и функционализированных эпоксидных смол [2, 4].

Функционализирующими реагентами являлись фенолоформальдегидная резольная смола (ФФС) и бинарный фенолокаучуковый компонент (ФФС/каучук – ФФСК), который пред-

ставляет раствор каучука и модифицированной фенольной смолы в органическом растворителе.

В качестве дисперсных наполнителей ЭС и комбинированных органических матриц применяли высокодисперсные силикатсодержащие продукты (шунгит, ценосферы и синтезированный железосодержащий гибридный наполнитель на основе эпоксидносиликатной матрицы («эпоксисиликат железа»)) [4, 5].

Получены составы композиционных материалов на основе исходной и функционализированной ЭС. Исследовано влияние концентрационного соотношения компонентов комбинированной матрицы, типа и содержания наполнителя на процессы отверждения композиций и физико-механические свойства гибридных материалов. Показано влияние технологических условий процесса структурообразования композиции и физико-химического взаимодействия компонентов матрицы и полимолекулярных дисперсных продуктов на структуру и свойства структурно организованных гибридных материалов.

Функционализация олигомера ЭС. Экспериментальные исследования показали, что при введении в олигомер эпоксидиановой смолы ФФС или бинарного компонента ФФС/каучук получают агрегативно устойчивые гомогенные композиции в широком диапазоне концентрационных соотношений. Отвержденные композиции на основе бинарного связующего характеризуются более низкими значениями модуля упругости.

При оптимизации составов и технологических режимов получения покрытий на основе функционализированной эпоксидной смолы установлено, что при формировании покрытий при $T=180^{\circ}\text{C}$ качество и характеристики материала улучшаются при уменьшении концентрации полиэтиленполиамина в составе композиции. При термическом отверждении из композиции формируется гомогенный материал без фазового расслоения. Анализ изменения адгезии к стали материалов, полученных на основе ЭС, функционализированной ФФС/каучук, показали, что более высокой адгезионной прочностью обладают составы с содержанием ЭС до 60 % и сформированные при 180°C без полиэтиленполиамина. Отверждающим реагентом в данной системе выступает присутствующая ФФС.

Изучение деформационно-прочностных свойств объемных образцов позволило установить, что образцы из ЭС разрушаются при деформации 6,0-6,5 %, а образцы из ЭС, функционализированной компонентом ФФС/каучук, при 40 %. Установлено, что образцы на основе функционализированной ЭС после снятия напряжения способны восстанавливать практически первоначальный размер, что свидетельствует о значительном повышении упругости материала в сравнении с материалом, полученным на основе исходной ЭС.

Анализ изменения микротвердости композиций показывает, что функционализация ЭС приводит к некоторому повышению микротвердости органической матрицы. Наибольшее увеличение микротвердости достигается при функционализации ЭС фенолокаучуковым компонентом.

Улучшение физико-механических свойств отвержденного комбинированного связующего происходит вследствие полимеризации органических компонентов с образованием межмолекулярных связей между образующимися полимерными матрицами.

Влияние силикатсодержащих наполнителей на свойства ЭС и связующих на основе ЭС. Установлено, что введение в композиты исследуемых силикатсодержащих наполнителей улучшает их физико-механические характеристики. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что введение дисперсных силикатсодержащих наполнителей в эпоксидную смолу приводит к увеличению прочности композитов: шунгита – до 34 %, эпокси-силиката железа – до 27 %, ценосфер – до 14 %. Наблюдаемый рост физико-механических показателей связан с микродисперсионным упрочнением матрицы. Наибольшее повышение прочности композита при введении шунгита обусловлено многокомпонентным составом данного наполнителя, включающего ряд наноразмерных компонентов. Анализ влияния наполнителей на микротвердость композиций на основе ЭС показал, что введение ценосфер повышает микротвердость до 30 %, «эпокси-силиката железа» – до 29 %, шунгита – до 28 %.

Применение силикатсодержащих наполнителей в комбинированном связующем позволяет увеличить прочность материала при сжатии до 5 % без ухудшения эластичности материала.

Таким образом, улучшение физико-механических свойств композиционных материалов на основе эпоксидиановой смолы возможно при использовании двух технологических приемов: 1 – функционализации исходного связующего с получением комбинированных матриц, 2 – модифицировании связующего силикат-содержащими наполнителями.

На основании установленных закономерностей получены гибридные многофункциональные материалы с улучшенными эксплуатационными свойствами, которые могут использоваться в качестве защитных покрытий для металлических поверхностей.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» (задание 4.1.16).

Список литературы

1. Sergienko V.P., Bukharov S.N., Kudina E., Dusescu C.M., Ramadan I. Review on Materials for Composite Repair Systems // Non-destructive Testing and Repair of pipelines / Ed. by E.N. Barkanov, A. Dumitrescu, I.A. Parinov. Springer International Publishing, 2018. Pp. 269-189.

2. Kudina H.F., Bukharov S.N. and Sergienko V.P. Composite Materials Intended to Repair Mechanochemical Defects in Pipelines // In: Advances in Engineering Research. Vol. 26 / Ed. by V.M. Petrova. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2019. Ch. 3. Pp. 107-172.

3. Кудина, Е.Ф. Защита газо-нефтепроводов от внешних повреждений. Часть 1 Полимерные материалы (обзор) / Е.Ф. Кудина // Нефтяник полесья. – 2013. – № 2 (24). – С. 88-93. Кудина Е.Ф. Получение и свойства комбинированных эпоксидных покрытий // Вестник Фонда фундаментальных исследований. 2017. № 4. С. 11-25.

4. Kudina E.F. Synthesis and Properties of Dispersed Hybrid Materials Based on a Silicate Matrix // Glass Physics and Chemistry. 2012. Vol. 38, № 1. P. 172-179.

5. Кудина, Е.Ф. Защита газо-нефтепроводов от внешних повреждений. Часть 1 Полимерные материалы (обзор) / Е.Ф. Кудина // Нефтяник полесья. – 2013. – № 2 (24). – С. 88-93.

УДК 547.979.8

**ПРИМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ
МЕДИЦИНСКИХ ПРЕПАРАТОВ**

*Г.А. Кузьменко¹, Р.Р. Вагизов¹, Е.В. Енькова¹, А.В. Кузьменко¹,
Е.В. Комарова², В.М. Болотов², К.И. Обернихин¹*

*¹Воронежский государственный медицинский
университет им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия*

*²Воронежский государственный университет
инженерных технологий, Воронеж, Россия
kga010@yandex.ru*

Нами проводятся исследования биологически активных соединений растительного сырья для применения их в качестве компонентов новых медицинских препаратов. Для проведения работы были выбраны каротиноиды — обширная группа природных пигментов, играющих важную роль в современной фармацевтической практике. Эти биологически активные вещества обладают доказанным лечебным потенциалом и находят широкое применение в медицине. Так же проведено изучение флаваноидов, как перспективного класса природных биологически активных веществ в современной медицине.

Актуальность работы обусловлена использованием растительных компонентов, обладающих широким спектром терапевтического действия и низкой токсичностью, в качестве субстрата для создания лекарственных средств. За счет появления резистентности ко многим классам препаратов появляется острая необходимость в создании новых лекарственных средств. Особую значимость приобретает разработка препаратов на основе природных биологически активных веществ, обладающих многогранным терапевтическим действием и низким уровнем токсичности.

Проведен анализ научной литературы по теме применения биологически активных веществ: каротиноидов и флавоноидов в медицине. Систематизированы данные о природных источниках каротиноидных и флавоноидных пигментов, их видах и

терапевтических эффектах с использованием методов сравнительного анализа и классификации. Получена статистическая обработка данных о терапевтических эффектах исследуемых биологически активных соединений, их токсикологических характеристиках и побочных эффектах.

На основе результатов фармакогностических, химических, технологических и фармакологических исследований сырья флавоноидосодержащих фармакопейных растений обоснована целесообразность создания антиоксидантных, гепатопротекторных, диуретических, ноотропных, анксиолитических фитопрепаратов, в том числе импортозамещающих лекарственных средств.

Каротиноидные пигменты обладают следующими терапевтическими эффектами: антиоксидантное действие, иммуномодулирующий эффект, защита сердечно-сосудистой системы, улучшение зрения, защита кожи от УФ-излучения.

Установлено, что исследуемые биологически активные соединения обладают значительным терапевтическим потенциалом, включая антиоксидантное действие, ангиопротекторный эффект, антимикробное действие и защиту от УФ-излучения.

Их терапевтический потенциал проявляется в разнообразных механизмах действия, нацеленных на борьбу с различными заболеваниями, в том числе хроническими и социально значимыми. Именно это делает их предметом обширных научных исследований и клинических испытаний.

Необходимы дальнейшие исследования для оптимизации методов экстракции и стерилизации, поиска новых источников биологически активных соединений и разработки комбинированных препаратов, что позволит максимально реализовать терапевтический потенциал этих веществ.

Установлено, что исследуемые биологически активные вещества являются перспективным классом биологически активных веществ с широким спектром терапевтического действия. Применение их в медицине показывает высокую клиническую эффективность: препараты на их основе отличаются низкой токсичностью, хорошей переносимостью, отсутствием резистентности и минимальным количеством побочных эффектов.

УДК 678

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОСОБЕННОСТИ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КЛЕЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В.А. Кузнецов¹, Л.Р. Люсова¹, С.В. Котова¹

*¹МИРЭА-Российский технологический университет,
Институт тонких химических технологий
им. М.В. Ломоносова
vadimkuzn2000@yandex.ru*

Ключевые слова: параметр растворимости, адгезионная прочность, прогнозирование, эластомер

Работа посвящена анализу влияния технологических факторов на адгезионную прочность клеевых композиций, применяемых в мебельной и обувной промышленности, а также возможность прогнозирования прочности связи с минимальными затратами.

Основные выводы проведенной работы:

Создание улучшенных клеевых композиций требует нового подхода оценки особенностей адгезионной прочности, что включает в себя оценку технологических факторов, которым ранее уделялось мало внимания, такие как совместимость компонентов, поверхностные характеристики готовых соединений и особые условия склеивания.

Чтобы создать клеевую композицию, сначала нужно оценить совместимость её компонентов. Для этого предлагается использовать оценку параметр растворимости компонентов рецептуры. Он показывает, насколько хорошо полимер растворяется в разных растворителях, и характеризует взаимодействие между молекулами полимера и молекулами растворителя. Этот параметр можно рассчитать на основе данных о структуре полимера и свойствах растворителя. Были проведены исследования, пока-

завшие наличие положительной корреляционной связи между параметром растворимости и адгезионной прочностью.

Исследование адгезионных характеристик клеевых покрытий представляет существенный этап разработки адгезивных составов. Оценка поверхностных характеристик пленок клеевых композиций включает экспериментальное определение углов смачивания при взаимодействии с различными растворителями. Данный показатель показал положительную корреляцию с прочностью. Дополнительно капли клеев наносились на склеиваемую поверхность и по характеру растекания капли и скорости испарения растворителя можно оценить качество склеиваемой поверхности. Анализ поверхностных свойств осуществляется посредством математического аппарата уравнения ОВРК (метод Оунса, Вендта, Рабеля и Кьельбле).

Применение данного уравнения позволяет вычислить значение поверхностной энергии адгезивного слоя с разделением на дисперсионный и полярный компоненты. Величина поверхностной энергии непосредственно влияет на адгезионную способность пленки к субстратам различной природы. Установлена закономерность: повышение поверхностной энергии пленки способствует усилению адгезионного взаимодействия с материалом основы.

Математическая обработка экспериментальных данных термоактивации позволила провести прогнозирование прочности связи при расслаивании в зависимости от температурного режима и продолжительности термического воздействия на склеенные образцы. Для прогнозирования применялась двухфакторная математическая модель, продемонстрировавшая высокую степень достоверности результатов, что способствовало оценить уровень взаимодействия на границе фаз без масштабного эксперимента.

Список литературы

1. Ван Кревелен Д. В. Свойства и химическое строение полимеров. Голландия, 1972. Пер. с англ. Под ред. А. Я. Малкина. М., «Химия», 1976.

2. I. Oral and V. Abetz, Improved alkali metal ion capturing utilizing crown ether-based diblock copolymers in a sandwich-type complexation, *Soft Matter*, 2022, 18, 934–937.

3. Винаков, Д. В. Применение тройного параметра растворимости Хоя в оценке современных адгезионных протоколов / Д. В. Винаков, В. П. Чуев // *Стоматология славянских государств : сборник трудов X Международной научно-практической конференции, посвящённой 25-летию ЗАО «ОЭЗ «ВладМиВа», Белгород, 08–16 октября 2017 года.* – Белгород: Издательский дом "Белгород", 2017. – С. 66-67.

4. Люсова Л.Р. О результатах применения корреляционного анализа при изучении структуры и свойств бутадиен-стирольных термоэластопластов / Л.Р. Люсова, Ю.А. Наумова, С.В. Котова // *Клеи. Герметики. Технологии.* 2021, №6. С. 32-39.

5. Tommi Huhtamäki, Xuelin Tian, Juuso T. Korhonen and Robin H.A. Ras. Surface-wetting characterization using contact-angle measurements // *Nature Protocols.* 2018. Vol. 13, pp. 1521–1538.

6. Особенности расчета свободной энергии поверхности на основе модели межфазного взаимодействия Оунса-Вендта-Рабеля-Кьельбле / В. Е. Данилов, Е. В. Королев, А. М. Айзенштадт, В. В. Строкова // *Строительные материалы.* – 2019. – № 11. – С. 66.

7. Патент № 2290852 С1 Российская Федерация, МПК А43В 9/18, А43D 86/00, В29D 31/512. Способ повышения прочности литьевого крепления низа к материалам верха обуви : № 2005112977/12 : заявл. 28.04.2005 : опубл. 10.01.2007 / П. С. Карабанов, Т. А. Дмитриенко, В. П. Щербакова, В. А. Казаков ; заявитель Новосибирское ЗАО "КОРС".

8. Кутыркин, Д. И. Адгезионные свойства бутадиен-альфа-метилстирольных термоэластопластов / Д. И. Кутыркин, Л. Р. Люсова, Е. И. Антман // *Резиновая промышленность: сырье, материалы, технологии : материалы XXVII научно-практической конференции, Москва, 23–27 мая 2022 года.* – Москва: ООО «Научно-исследовательский центр «НИИШП», 2022. – С. 46-47.

УДК 543.068

СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ОБОНЯНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОПОЛИУРЕТАНА

Т.А. Кучменко^{1,2}, Р.У. Умарханов^{1,2}, В.В. Кургузов¹

*¹Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
²ООО «Сенсорика – Новые Технологии», Воронеж, Россия
Tak1907@mail.ru*

Постпандемийный период отмечается серьезными изменениями в однородности оценок органолептических характеристик как пищевой, так и непищевой продукции. Это приводит к несогласованности оценок уровня запаха дегустационными комиссиями и специалистами на производстве, который относится к приоритетным потребительским свойствам товаров. В связи с этим особую актуальность имеют разработки и способов применения систем из категории «электронная сенсорика», в частности, искусственного обоняния. На кафедре физической и аналитической химии ВГУИТ уже 27 лет развивается направление по разработке аналитических систем типа «электронный нос» на пьезокварцевых резонаторах объемных акустических волн. Проводятся исследования по синтезу и исследованию новых сорбентов, позволяющих существенно улучшить аналитические свойства газовых сенсоров. Разрабатываются новые приборы на основе 1-12 сенсоров по методологии искусственного обоняния для объективной оценки интенсивности восприятия смеси летучих соединений - паттерна любого объекта. Предложены и обоснованы расчётные параметры, которые позволяют в сложных смесях идентифицировать отдельные компоненты или группы близких по природе и характеристикам сорбции. Всё это в совокупности позволяет говорить не только об успехе в разработке «электронных носов», а именно об электронном обонянии как целостной системе, которую можно применять для анализа летучих соединений самой разной природы.

Оценка интенсивности выделений летучих соединений из полимерных материалов – не менее актуальная задача, чем запаха пищевых продуктов. Объективизация этой стадии при отгрузке готовых изделий является важной задачей наших дней.

В условиях производства ГК «Эгида» (филиал в Липецкой области) с применением восьмисенсорного анализатора газов проанализирован запах компонентов сырья, свежесинтезированного пенополиуретана, блоков и листовых объектов с целью разработки специализированного устройства для быстрого (не более 2 мин) детектирования выделяющихся из синтетического полимера летучих продуктов синтеза.

Разработано специализированное программное обеспечение, позволяющее управлять режимом измерения, обрабатывать полученные сигналы сенсоров, интерпретировать суммарное содержание компонентов в шкале балльной органолептической оценки (таблица).

Таблица. Совмещение балльной оценки запаха и сигналов массива сенсоров над изделиями из пенополиуретана

Количественные параметры / Баллы	Сумма площадей под выходными кривыми датчиков, S, Гц ²	Сигнал наиболее активных датчиков, Гц
Шум массива сенсоров	25-500	6-15
0,5	От 600-1000	
1,0	1000-3000	100 ± 20
1,5	От 3000 до 6000	
2,0	От 6000 до 10 000	200 ± 30
2,5	От 10 000 до 15 000	
3,0	От 15 000 до 30 000	300 ± 30
3,5	От 30 000 до 35 000	
4,0	От 35 000 до 40 000	400 ± 35
4,5	От 40 000 до 50 000	
5,0	От 50 000 до 70 000	500 ± 50
Больше 5,0	Больше 70,000	700 ± 150

По результатам исследований разработана схема контроля запаха на разных этапах производства с применением «электрон-

ного нюхача» (рис. 1). По сигналам датчиков прогнозируется интенсивность запаха (количество летучих соединений), принятая в системе органолептического анализа. Согласно форме набора качественных параметров, описательной характеристикой запаха является предсказание дескрипторов.



Рис. 1. Принципиальная схема оценки запаха изделий из пенополиуретана в условиях цеха с «электронным нюхачем».

Существенно расширена система восприятия новыми газовыми сенсорами с различными фазами на поверхности для регулирования селективности, чувствительности реакции на летучие молекулы, которые обеспечивают низкую потребительскую оценку изделиям, предложены новые способы обработки и визуализации многомерных данных массива сенсоров, в том числе в виде сенсорных диаграмм с прогнозом дескрипторов запаха (рис. 2).

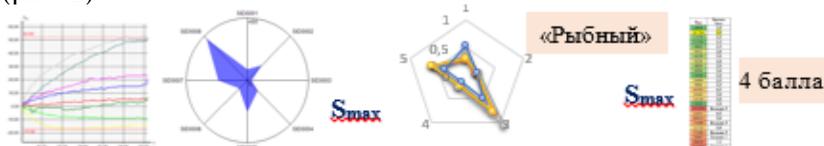


Рис. 2. Абсолютные и обработанные данные массива сенсоров.

Ведется работа по апробации и внедрению технического решения на производство, что является уникальным решением для нашей страны.

УДК 544.478+547.53+547.652.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРИРОВАНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРИСУТСТВИИ НАНЕСЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАТАЛИЗАТОРОВ

М.А. Лагутин, В.В. Шемет, В.М. Мохов

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия
lagutin.m-99@yandex.ru*

Изучен процесс гидрирования ароматических соединений, протекающий в реакторе проточного типа в присутствии нанесенных металлических катализаторов.

Гидрирование аренов является главным способ получения насыщенных карбо- и гетероциклов, большинство из них применяются в качестве органических растворителей, присадок к маслам и топливам, а также в качестве экстрагентов и отдушек. Так, например, гидрированием бензола получают циклогексан, который является в свою очередь сырьем для капролактама и адипиновой кислоты. А гидрированием нафталина получают тетралин и декалин, которые являются хорошими растворителями. Однако процесс гидрирования затруднен термодинамической устойчивостью кольца и обратимостью реакции из-за чего в промышленности используют жесткие условия синтеза. [1,2].

Процесс гидрирования гомологов бензола осуществляется в соответствии с схемой представленной на рисунке 1:

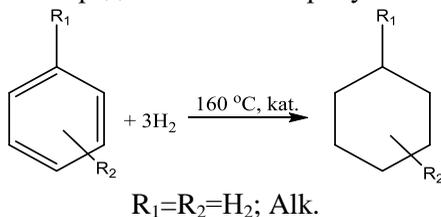


Рисунок 1 – Схема гидрирование бензола и его гомологов.

Предложенный нами метод позволяет проводить процесс гидрирования бензола и его гомологов в реакторе проточного типа при атмосферном давлении и при двукратном от стехиометрии избытке водорода. В качестве катализатора использовали никель, нанесенный на $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ полученный методом нанесения-осаждения с использованием модификаторов.

Экспериментально установлен оптимальный интервал температур – 120-160 °С. В данных условиях был получен 100 % выход целевых продуктов при полной конверсии исходного субстрата. Максимально достигнутая производительность для циклогексана составила $3 \frac{\text{кг}_{\text{пр}}}{\text{кг}_{\text{кт}} \cdot \text{ч}}$. С увеличением длины и разветвлённости алкильного радикала производительность снижалась.

Также на данном катализаторе нами был исследован процесс гидрирования нафталина (рис. 2)

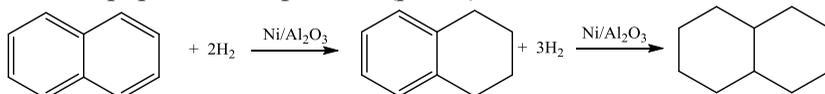


Рисунок 2 – Схема гидрирование нафталина. Растворитель – толуол.

В результате было установлено, что использование катализатора Ni/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ позволяет проводить процесс в одну стадию при атмосферном давлении в проточном реакторе. При 180 °С и двукратном от стехиометрии избытке водорода был получен 100% выход продуктов (смесь цис- и транс-декалинов в соотношении 2:1) при полной конверсии субстрата. Понижение температуры до 160 °С приводило к образованию тетралина.

Список литературы

1. Вигдорович В.И., Романцова С.В., Шель Н.В., Зарапина И.В. Химия Ч.П: Основы органической химии и химической термодинамики: Учебное пособие. Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2011. 296 с.

2. F. Foubelo, M. Yus. Reaction mechanisms and methods for aromatic compounds // Arene chemistry. 2016, p. 337–364.

УДК 678; 621.6; 677.494.674+628.4.038

ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ МНОГОКРАТНОЙ ПЕРЕПЛАВКИ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРА ТПЭЭ И ОТХОДОВ ИЗ НЕГО

А.Д. Лебедева, А.А. Сергеева, С.Д. Пожидаева

*Юго-Западный государственный университет, Курск, Россия
pozhideva_kursk@mail.ru*

Термоэластопласты (ТЭП) или резиноподобные полимеры как представители особого класса полимерных материалов, обладают уникальными свойствами упругости и деформируемости, благодаря своей специфической структуре [1, 2].

Переработка термоэластопластов, как и любых других полимеров, допускает возможное их вторичное использование внесением в исходную загрузку. Но, как оказалось на практике, добавление отходов ТПЭЭ к исходному сырью при получении полиэфиров приводит к ухудшению эксплуатационных свойств получаемых материалов. Возникло предположение, что это связано с термической стабильностью полиэфира и его способностью сохранять свои свойства и структуру при воздействии тепла, а многократное нагревание в экструдере при высоких температурах может являться причиной разрушения или деградациии свойств.

С этой целью проводилось исследование по изучению многократной переплавки на свойства термопластичного эластомера ТПЭЭ. Для этого образцы (рис.1) помещали в термошкаф, нагретый до температуры плавления [1], на 10 минут. Исследование показало (рис.2), что многократная переплавка (14 операций по 10 минут при температуре плавления полиэфира) приводит к потере массы, причем как исходного сырья, так и отходов из него. И только после 10 повторной операции масса перестает изменяться. И хотя потеря массы лежит в пределах 0,3%, хорошо видно, что её уменьшение у исходного ТПЭЭ более существенно, что предположительно связано с отсутствием добавок, в том числе и тер-

мостабилизаторов.



Рисунок 1 – Внешний вид исходного ТПЭЭ (сырье) (а) отходов ТПЭЭ в виде крошки (б)

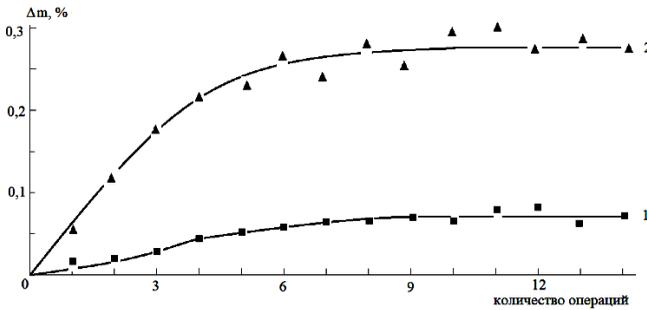


Рисунок 2 – Потеря массы для отходов ТПЭЭ в виде крошки (1) и исходного ТПЭЭ (сырье) (2) в зависимости от количества операций повторного плавления

Изменения наблюдаются и в условной вязкости (скорости истечения, ς) растворов полиэфира в трихлоруксусной кислоте (рис.3а). Измерения ограничились нагреванием образцов в ходе 10 операций, в связи с отсутствием дальнейшего изменения в массах образцов (рис.2). В связи с тем, что концентрация растворов и температура процесса одинаковая, среди факторов, влияющих на процесс [4], можно выделить изменения в структуре полимера, о чем свидетельствует и различия в константах растворения исходного (1) полимера ТПЭЭ и отходов из него (2) (рис.3б).

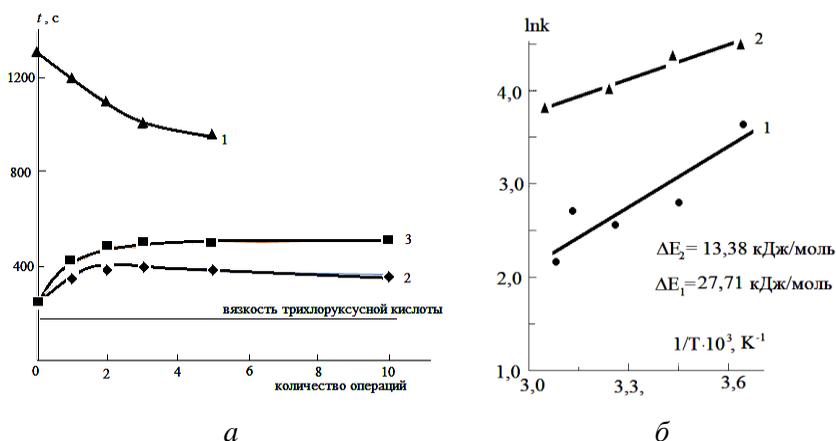


Рисунок 3 – Выявленные изменения в условной вязкости (скорости истечения, с) (а) и константах скоростей растворения (б) растворов исходного (1) полимера ТПЭЭ и отходов из него (2,3) в трихлоруксусной кислоте; выдерживание при температуре плавления (а) в течение 10 мин (1, 2) и 2 мин (3)

Список литературы

1. Термопластичные эластомеры на основе атактического полипропилена / Т. И. Мединцева, Л. А. Ришина, С. С. Лалаян, Э. В. Прут // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2024. – № 8. – С. 10-17.
2. Модификация окисленного битума термопластичными эластомерами различной топологии / М. М. Высоцкий, А. С. Рыбина, В. В. Савицкий, Д. Ю. Небрятенко // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2024. – № 1(67). – С. 14-22.
3. Оценка технологических свойств полимерной пыли ТПЭЭ на этапе подготовки отходов к переработке / С.Д. Пожидаева, В.М. Вишняков, А.Д. Лебедева, Н.В. Кувардин, А.М. Чернов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2025;15(1):194–209.
- 4 Бачурина, М. В. Численное исследование закономерностей течения аномально вязких жидкостей / М. В. Бачурина, А. В. Казаков, Н. М. Труфанова // Вычислительная механика сплошных сред. – 2015. – Т. 8, № 3. – С. 298-309.

УДК 678

ВЛИЯНИЕ МАРКИ И СОДЕРЖАНИЯ БЕНТОНИТА НА СВОЙСТВА АНТИАДГЕЗИОННОГО СОСТАВА

*А. Ю. Люштык¹, С. Н. Каюшников¹, Е. Н. Матюшкова¹,
А. В. Касперович², Ж. С. Шашок², Е. П. Усс²*

*¹ОАО «Белшина», Бобруйск, Республика Беларусь
lyushtykayu@belshina.by*

*²УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь
andkasp@mail.ru*

Одним из известных доступных материалов, склонных к набуханию, является бентонит. Бентонит представляет собой экологически безопасный природный продукт. Это слоистый глинистый материал, основу которого составляет расширяющийся минерал – монтмориллонит. При попадании влаги бентонит склонен к сильному набуханию. Скорость набухания бентонита зависит от содержания натрия и кальция. Натриевые бентониты имеют большую способность к набуханию по сравнению с кальциевыми бентонитами. Бентонит кальция является более распространенным материалом, который можно модифицировать с целью придания полезных свойств натриевых бентонитов. Кроме того, бентонит обладает высокой адсорбционной, каталитической, ионообменной активностью [1–4]. В резиновой промышленности бентонит широко применяется для приготовления водных дисперсий сыпучих ингредиентов латексных композиций. В водной среде бентонит образует цепочечные структуры, что увеличивает вязкость системы и препятствует оседанию ингредиентов в дисперсиях и в латексной композиции [5].

Целью работы являлось определение влияния марки бентонита на свойства антиадгезионного состава.

Для разработки антиадгезионного состава были исследованы бентонитовые глинопоорошки различных месторождений,

имеющих следующие марки: Highyieldbentonite (Иран); «1Т» (Турция), «П1Т1» (ООО «СтилТехГрупп», Россия), «I-Bent-Base» (АО «Краснодарский завод промышленных минералов», Россия).

Химический состав и кристаллическая структура бентонита обуславливают его уникальные свойства.

Приготовление 2 %-ых растворов антиадгезионных составов в воде с различными марками бентонитов выявило постепенное набухание раствора в течение 10–15 мин до образования раствора во взвеси. При этом взвесь занимала около 50 % всего объема раствора, а стабильность раствора при хранении в течение 1 ч оставалась постоянной. Таким образом, установлено, что применение бентонитов, как материала с расширяющейся ячейкой, позволяет получить коллоидный раствор с объемом взвеси, близким к растворам, приготовленным на основе импортных аналогов. Необходимо отметить, что бентониты различных марок практически не влияют на объем взвеси в растворе.

Однако в ходе приготовления растворов независимо от марки бентонита выявлено «комкование» основного антиадгезионного компонента в растворе и наличие его на поверхности раствора. Это приведет к загрязнению поверхности невулканизированного эластомерного материала частицами сухого антиадгезива и неравномерности распределения антиадгезионного слоя на материале, что может негативно повлиять на свойства изделий, полученных на дальнейших этапах переработки резиновых смесей. Кроме того, при погружении образцов резиновой смеси в полученные растворы обнаружено плохое смачивание поверхности смеси приготовленными растворами.

Для устранения указанных недостатков была проведена корректировка содержания наполнителя и ряда компонентов в антиадгезионном составе.

В результате проведенных исследований установлено, что уменьшение дозировки бентонита до 20 % мас. не приводит к улучшению свойств антиадгезионного состава (стабильность раствора при хранении снижается, содержание взвеси в растворе уменьшается). Дальнейшая корректировка рецептуры антиадгез-

зионного состава позволила определить наиболее приемлемые марки бентонита, обеспечивающие удовлетворительные свойства как самого раствора, так и поверхности эластомерного материала.

Таким образом, на основании полученных данных и с учетом доступности сырья определено, что для разработки отечественного антиадгезионного состава наиболее целесообразно применение немодифицированного бентонита марки «I-Bent-Base», который позволяет получать стабильный раствор антиадгезива и обеспечивает равномерность покрытия невулканизованного эластомерного материала с оптимальным временем высыхания.

Данная работа выполнялась в рамках Государственной научно-технической программы «Перспективные химические и биологические технологии» на 2021-2025 год по заданию «Разработка рецептуры и технологии получения антиадгезионного импортозамещающего состава для изоляции листованных и гранулированных маточных резиновых смесей при производстве автомобильных шин и резинотехнических изделий» подпрограммы «Малотоннажная химия».

Список литературы

1. Сейназарова О. М., Калбаев А. М., Маматалиев Н. Н., Абдикамалова А. Б. Структурные характеристики бентонита Крантауского месторождения // *Universum: технические науки*. – 2020. – №12-4 (81).
2. Будыкина Т. А., Гандурина Л. В. Исследование свойств глинистых пород методом термического анализа // *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023. – № 1. – С. 77–88.
3. Белоусов П. Е., Бочарникова Ю. И., Боева Н. М. Аналитические методы диагностики минерального состава бентонитовых глин // *Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования*. – 2015. – №4.
4. Голубков В. А., Горенкова Г. А., Ворожцов Е. П., Беспалова М. А., Бортников С. В., Таран О. П. Сравнительная характеристика бентонитовых глин месторождений Республики Хакасия «10-й Хутор» и «Кайбальское-2». *Журн. Сиб. федер. ун-та. Химия*. – 2023. – № 16(3). – С. 459–471.
5. Резниченко, С. В. Большой справочник резинщика : в 2 т. / ред-кол.: С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. – Москва, 2012. – Т. 1: Каучуки и ингредиенты. – 2012. – 735 с.

УДК 678

ВЛИЯНИЕ МАРКИ МЕЛА НА СВОЙСТВА АНТИАДГЕЗИОННОГО СОСТАВА

*А. Ю. Люштык¹, С. Н. Каюшников¹, Т. С. Юшкевич¹,
Е. Н. Матюшкова¹, А. В. Касперович², Ж. С. Шашок², Е. П. Усць²*

*¹ОАО «Белшина», Бобруйск, Республика Беларусь
lyushtyka@belshina.by*

*²УО «Белорусский государственный технологический
университет», Минск, Республика Беларусь
andkasp@mail.ru*

В составах антиадгезива для обработки поверхности невулканизированных эластомерных материалов используются поверхностно-активные вещества, наполнители, стабилизаторы, эмульгаторы, пеногасители, вода. Применение наполнителей в антиадгезионных составах позволяет регулировать коллоидно-химические свойства антиадгезионных растворов, их вязкость и агрегативную устойчивость, снижать стоимость составов [1].

Целью работы являлось определение влияния марки мела на свойства антиадгезионного состава для изоляции поверхности резиновой смеси.

В резиновой промышленности мел применяется не только как доступный и дешевый наполнитель, но и как антиадгезив для опудривания резиновых смесей. Мел разделяют на природный молотый, химически осажденный и активный химически осажденный [1, 2].

Объектами исследования являлись: природный молотый мел с различным размером частиц (от 1,7 до 2,5 мкм) и химически осажденный мел (размер частиц 20–70 нм).

Химически осажденный мел – это синтетический продукт, полученный в результате сложного процесса производства. В сравнении с природным мелом химически осажденный мел имеет следующие преимущества:

– более мелкий и более однородный размер частиц;

- более стабильное гранулометрическое распределение частиц;
- низкую абразивность;
- высокую удельную поверхность;
- идеальную химическую чистоту[1].

Для оценки свойств растворов антиадгезионного состава при использовании различных марок мела определялись высота осадка (взвеси), смачивание поверхности невулканизованного эластомерного материала.

Установлено, что размер частиц природного молотого мела приводит к получению растворов с величиной осадка от 5 до 15 %. При этом также отмечено неравномерность смачивания эластомерного материала. Быстрое оседание наполнителя в растворе, а значит невозможность поддержания его концентрации в растворе на постоянном уровне, не позволит обеспечить удовлетворительное антиадгезионное покрытие на резиновой смеси.

Выявлено, что применение химически осажденного мела не приводит к образованию осадка в растворе антиадгезионного состава и увеличивает равномерность покрытия эластомерного материала, что делает данную марку мела более перспективной по сравнению с природным молотым мелом.

Данная работа выполнялась в рамках Государственной научно-технической программы «Перспективные химические и биологические технологии» на 2021-2025 год по заданию «Разработка рецептуры и технологии получения антиадгезионного импортозамещающего состава для изоляции листованных и гранулированных маточных резиновых смесей при производстве автомобильных шин и резинотехнических изделий» подпрограммы «Малотоннажная химия».

Список литературы

1. Резниченко, С. В. Большой справочник резинщика : в 2 т. / редкол.: С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. Москва, 2012. Т. 1: Каучуки и ингредиенты. 2012. 735 с.

2. Гришин, Б. С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных): монография. Ч. 1 / Б. С. Гришин. Казань: КГТУ, 2010. 506 с.

УДК 678

ПОЛУЧЕНИЕ ОГНЕСТОЙКИХ ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ КАУЧУКОВ

Н.А. Морозов, В.А. Седых

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
morozov.nikolay@yandex.ru*

Исследование огнестойких резиновых смесей является важным в условиях современных требований к безопасности материалов, особенно в отраслях, где резина подвергается воздействию высоких температур (в строительстве, автомобильной промышленности, электротехнике).

Целью данной работы является разработка и исследование рецептур огнестойких резиновых смесей и вулканизатов на основе комбинации различных каучуков и наполнителей.

Таблица 1. Рецептура резиновых смесей, мас.ч.

Наименование ингредиентов	Шифр		
	1	2	3
Каучук СКИ-3	50	-	-
Каучук СКД НД	20	20	-
Каучук БНКС-18АМН	-	30	30
Каучук СКН-26ПВХ-30	-	20	20
Каучук СКС-30 АРК	-	-	20
Хлоропреновый каучук SN 232	30	30	30
Сера	2,5	2,5	2,5
Сульфенамид Ц	1,5	1,5	1,5
Нафтам-2/ Диафен ФП	1/1	2/-	2/-

Сантогард РVI	-	0,5	0,5
Смола инден-кумороновая	10	10	10
Белила цинковые	3	5	5
Магнезия жженая	3	3	3
Тех.углерод П-234	50	60	60
Каолин	50	40	40
Стеариновая кислота	2	2	2
Трехокись сурьмы	2	2	2
Гидроксид алюминия/ Борат цинка	50/2,5	50/-	50/-
ХП-1100	15	10	10
Битум БН	10	10	10
Всего	303,50	298,50	298,50

Ингредиенты вводились в смеситель при 90°C, скорости роторов 65-70 об/мин в следующей последовательности.: I – Каучуки (0 мин); II – Технический углерод + битум (1,5 мин); III – Каолин + ХП-1100 (3-3,5 мин); IV – Стеариновая кислота + цинковые белила, магнезия жженая (5,5 мин); V – Трехокись сурьмы, гидроксид алюминия, борат цинка, смола инден-кумороновая, сантогард РVI (7-7,5 мин); VI–Сера, сульфенамид Ц, диафен, нафтам-2 (9 мин).

Таблица 2 – Свойства резиновых смесей и вулканизатов

Наименование показателя	Шифр		
	1	2	3
<i>Вязкость по Муни резиновой смеси ML(1+4), ед. Муни</i>	56,2	72,8	65,5
<i>Вулканизационные характеристики: 151 °Сx30'</i>			
Минимальный крутящий момент (ML), дНм	2.3	2,8	2,5
Максимальный крутящий мо-	17.6	22,9	18,9

мент (МН), дНм			
МН-МЛ, дНм	15,3	20,1	16,7
Время начала подвулканизации (ts1), мин.	2,5	2,0	3,9
(ts2), мин.	4,3	5,3	8,7
Время достижения 10% вулканизации (t' 10), мин	3,6	5,4	7,7
Время достижения 50% вулканизации (t' 50), мин	6,3	10,3	11,8
Время достижения 90% вулканизации (t' 90), мин	13,6	21,6	22,1
Плотность ρ /см, г/см ³ H300S	1,40	1,41	1,43
<i>Физико-механические показатели вулканизатов</i>			
Условное напряжение при 100% удлинении, МПа	2,9	4,5	4,4
Условное напряжение при 300% удлинении, МПа	6,6	11,7	11,9
Условная прочность при растяжении, МПа	11,8	13,2	13,0
Относительное удлинение при разрыве, %	500	350	340
Твёрдость по Шору А, усл.ед.	66	77	74
Потеря объема по Шопер-Шлобах, мм ³ (метод А)	180/166	72/133	159/207
Плотность после вулканизации, г/см ³ H300S	1,43	1,45	1,42

Таким образом, косвенные показатели указали на то, что все три рецептуры обладают высокими огнестойкими свойствами, что подтверждается низкой потерей объема по методу Шопер-Шлобах и высокой плотностью после вулканизации. Наилучшие механические характеристики (прочность при растяжении, твердость) демонстрирует рецептура 2, однако рецептура 3 обладает более сбалансированными показателями времени подвулканизации.

УДК 677.016

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИУРЕТАНОВОГО ПОКРЫТИЯ ТКАНИ

Ю.И. Марущак, Н.Н. Ясинская

*Витебский государственный технологический университет,
Витебск, Беларусь
tonk.00@mail.ru*

Применение полимеров в текстильной промышленности открывает широкие возможности в материаловедении, позволяя формировать заданные свойства материалов, улучшая их эстетический вид. Одним из актуальных направлений является нанесение полимерных покрытий на ткань и трикотаж [1]. Наиболее распространенными методами нанесения полимерных покрытий являются: шаберный способ, каландрирование, переводное покрытие, экструзионное покрытие горячим расплавом. Современные технологии позволяют создавать многослойные полимерные покрытия, сочетающие в себе различные свойства, формируя многофункциональные материалы. С расширением ассортимента выпускаемых материалов с полимерным покрытием важно также совершенствовать и методы оценки их свойств. На сегодняшний день получены и продолжают разрабатываться материалы с полиуретановым покрытием, способные к самовосстановлению целостности структуры полимерного слоя после прокола швейной иглой [2], что особенно актуально для швейного производства. Рассматриваемый подход восстановления основан на использовании полимеров с динамическими ковалентными связями, которые способны обратимо разрываться и восстанавливаться, позволяя материалу регенерировать небольшие повреждения [3]. Процесс самовосстановления означает частичное сближение краев прокола за счет вязко-эластичных свойств материала. Однако эффективность регенерации зависит от нескольких факторов:

размера повреждения, типа материала и его покрытия, условий окружающей среды и метода обработки.

Проведен анализ научной литературы, который установил, что для текстильных материалов с полимерным покрытием отсутствует общепризнанная методика, позволяющая оценить способность полимера к самовосстановлению. Отсутствие методики является препятствием для прогнозирования свойств материала в процессе пошива или эксплуатации, при конфекционировании, а также для их внедрения и коммерциализации. Авторами поставлена цель разработать методику, позволяющую оценивать способность полимерного покрытия ткани к самовосстановлению после прокола иглой.

В качестве исследуемых образцов использовали ткани с пористым полиуретановым слоем одежного назначения различной толщины (Беларусь), сформированные шаберным способом. В качестве базовой методики выбрана традиционно применяемая методика оценки прорубаемости тканей [4], поскольку объект исследования относится к аналогичной области применения и схож по структуре (в основе применяются тканое полотно). Однако, прямое применение рассматриваемой методики является невозможным, так как она ориентирована на подсчет количества проколов от иглы (прорубов), а не на способность к последующему восстановлению. Поэтому требуется разработка комплексной методики, включающей несколько этапов оценки. Первый этап – формирование стандартного повреждения – прокол швейной иглой определенного диаметра и формы заточки острия. Выбор параметров швейной иглы осуществляется с учетом специфики применения материала и/или требований заказчика. Для обеспечения воспроизводимости результатов, установлены ограничения – 3 параллельные машинные строчки без нитки длиной 150 мм каждая с частотой стежка 7 на 1 см.

Второй этап – наблюдение за процессом самовосстановления. После нанесения повреждений, образцы помещаются в контролируемые условия (температура, влажность), и проводится регистрация динамики регенерации (рисунок 1). Для этого используется визуальная оценка с применением источника искусств-

венного света. Периодичность измерений определяется скоростью предполагаемого самовосстановления и варьируется от нескольких минут до часов.

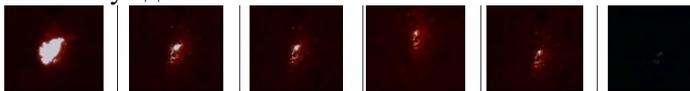


Рисунок 1 – Процесс регенерации полиуретанового покрытия

Третий этап – количественная оценка способности к самовосстановлению. Для объективизации результатов разработаны количественные критерии. Для оценки прокола используется шкала оценки способности к самовосстановлению с применением верхней и нижней подсветки, а для заключения о способности материала к регенерации используются критерии оценки.

В результате проведенных исследований разработана методика, позволяющая объективно оценить способность тканей с полимерным покрытием к самовосстановлению после прокола швейной иглой. Данная методика включает в себя процесс нанесения повреждений, методы наблюдения за процессом самовосстановления и количественные критерии оценки. Полученные результаты позволяют сравнивать различные материалы и оптимизировать технологию производства самовосстанавливающихся покрытий для материалов легкой промышленности, обеспечивая повышение их долговечности и потребительских свойств.

Список литературы

1. Ясинская Н.Н., Ольшанский В.И., Коган А.Г. Композиционные текстильные материалы. Витебск: ВГТУ, 2015.
2. Марущак, Ю.И. Исследование способности тканей с полиуретановым покрытием к самовосстановлению целостности структуры после прокола иглой microtex // мат. конф. Легкая промышленность: проблемы и перспективы, 2024. – С. 136-142.
3. Каблов В.Ф., Новопольцева О.М., Кочетков В.Г. Технология переработки полимеров: учеб. пособие. 2018. – 244 с.
4. Бузов, Б.А., Алыменкова Н.Д., Петропавловский Д.Г. Практикум по материаловедению швейного производства. – М.: «Академия», 2004. – 416 с.

УДК 678

РАЗРАБОТКА ВОДОНАБУХАЮЩИХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИОННОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

А.С. Москалев, С.Р. Овчаренко

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
Bassilo@mail.ru, srovcharenko@mail.ru*

В настоящее время возрастает спрос на эластомерные материалы в строительной отрасли, в том числе на водонабухающие эластомеры гидроизоляционного назначения. Кроме того, во всем мире остро стоит проблема утилизации и вторичной переработки полимерных отходов. Таким образом, целью данной работы являлась разработка конкурентоспособных водонабухающих эластомерных материалов (ВЭМ) гидроизоляционного назначения, в том числе с применением вторичных полимерных материалов.

В качестве полимерной основы композитов использовали: бутадиен-стирольный каучук СКС-30 АРК и регенерат на основе бутилкаучука БК-1675, обработанный ионизирующим излучением – ускоренными электронами дозой 50 кГр. В качестве сорбционной добавки использовали: бентонит производства АО «Журавский охровский завод» и полианионную целлюлозу РАС LV, 65%. В качестве мягчителя использовали стеариновую кислоту марки Т-32. В рецептуре использовали серную вулканизирующую группу и стандартные активаторы вулканизации. Резиновые смеси изготавливали на лабораторных вальцах, вулканизаты получали компрессионным методом в вулканизационном гидравлическом прессе в виде шайб диаметром 50 мм и толщиной 6 мм.

Получены образцы водонабухающих эластомерных материалов при различных режимах вулканизации - 140 °С × 10 мин;

140 °С × 15 мин; 150 °С × 15 мин. Лучшие результаты эксплуатационных характеристик показали образцы, полученные по режиму при 150 °С × 15 мин (табл. 1 и 2).

Таблица 1 – Физико-механические показатели образцов ВЭМ

Шифр/ номер образца	Прочностные свойства			Удлинение	
	f_{100} , МПа	f_{300} , МПа	f_p , МПа	ϵ , %	θ , %
ВЭМ-1В	0,65	0,75	1,40	740	28
ВЭМ-2РВ	0,65	0,80	2,15	845	40

Примечание: ВЭМ-1В – образец на основе СКС-30 АРК; ВЭМ-2РВ – образец на основе СКС-30 АРК и регенерата бутилкаучука

Таблица 2 – Степень набухания образцов ВЭМ

Номер образца	Степень набухания, %				
	1 ч	24 ч	72 ч	96 ч	168 ч
ВЭМ-1В	10	35	75	90	116
ВЭМ-2РВ	14	36	80	110	135

Таким образом, получены эластомерные материалы на основе бутадиен-стирольного каучука и регенерата бутилкаучука с использованием в качестве гидрофильного компонента полианионной целлюлозы и бентонита. Установлено, что полученные образцы водонабухающих эластомерных материалов имеют эксплуатационные показатели сопоставимые с рыночными аналогами [1].

Список литературы

1. Research of Swelling Kinetics of Elastomers Filled with Polyacrylamide Using Neural Network Framework / A. K. Pogodaev, O. V. Karmanova, S. G. Tikhomirov [et al.] // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2021. – Vol. 56, No. 3. – P. 506-510.

УДК 678.762.9

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА

*С.С.Никулин, Л.А. Власова, Н.Ю. Санникова,
А.И. Семеняченко, Н.С. Никулина*

*Воронежский государственный
Университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
vllar65@yandex.ru*

Полимерные материалы находят широкое применение в различных промышленных отраслях. Это связано с тем, что высокомолекулярные соединения как природные, так и синтетические невозможно заменить другими существующими в настоящее время материалами [1-3]. Поэтому поиску новых мономеров, которые и до настоящего времени пока еще не нашли применения в промышленных масштабах, отводится повышенное внимание. Это связано с возрастающими требованиями к свойствам получаемых композиционных материалов на их основе. Широко используются каучуки эмульсионной полимеризации [4].

Работа посвящена модификации синтетического каучука марки СКС-30 АРК этенилнафталином путем введения его в процессе сополимеризации.

Модификацию бутадиен-стирольного каучука осуществляли путем частичной замены стирола на 1-винилнафталин в составе мономерной смеси. Общее содержание винилароматических мономеров (стирол + 1-винилнафталин) выдерживали 30 % мас., бутадиена 70 % мас..

Для проведения процесса эмульсионной сополимеризации бутадиена с винилароматическими мономерами готовилась дисперсная система, в которой дисперсная фаза (смесь бутадиена с винилароматическимимомонерами) распределена в дисперсионной среде (водная фаза, включающая в свой состав анионные поверхностно-активные вещества, диспергатор и другие целевые

компоненты). Содержание анионных ПАВ – смесь калиевых солей на основе диспропорционированной канифоли таллового масла - 5,4 мас.ч. диспергатора НФ-1(лейканол) – 0,2 мас.ч., соды – 0,2 мас.ч., инициатора гидропероксидапина 0,08 мас.ч. на 100 мас.ч. мономеров, воды 200 мас.ч. и других целевых добавок.

Процесс сополимеризации проводили в течение 10 часов с периодическим отбором проб для определения конверсии мономеров.

Процесс сополимеризации осуществляли при температуре 4-6 °С.

Выход сополимеров составлял от 70 до 72 % мас. Однако при этом необходимо отметить тенденцию к возрастанию выхода сополимера с увеличением содержания 1-винилнафталина с 2,0 до 10 %мас. в мономерной смеси. Это связано с активностью используемой добавки на основе 1-винилнафталина, который по своей активности в 2000 раз превосходит стирол [6]. Особенно это было заметно на количестве образующегося сополимера на начальной стадии полимеризационного процесса.

Извлечение синтезированного полимера из латексной дисперсии по классической методике, при температуре 20 ± 1 °С. Максимальное извлечение каучука из латексной дисперсии достигалась при дозировке хлорида натрия 140-150 кг/т каучука. Введение третьего сомономера в состав бутадиен-стирольного каучука не оказало влияния на расход солевого коагулянта.

С практической точки зрения целесообразно было оценить влияние третьего мономера (1-винилнафталина) на показатели каучуков и вулканизатов на его основе. Для чего на основе экспериментального тройного сополимера по стандартной методике были приготовлены вулканизированные резины. Установлено соответствие приготовленных образцов предъявляемым нормативам (ТУ38.40355-99).

Однако при этом необходимо отметить и одну особенность тройного сополимера, заключающуюся в том, что с повы-

шенным содержанием 1-винилнафталина вулканизаты приобретают повышенную устойчивость к тепловому старению (табл. 1).

Таблица 1 – Свойства каучуков и вулканизатов на основе каучука СКС-30 АРК

Показатели	Нормы по ТУ 38.40355-99	Результаты испытаний			
		1	2	6	10
Вязкость по Муни каучука МБ 1+4 (100 °С)	53±5	51	52	54	56
Массовая доля летучих веществ, %	не более 0,8	0,19	0,18	0,17	0,15
Массовая доля золы, %	не более 0,5	0,15	0,15	0,14	0,14
Массовая доля связанного стирола, %	23,5±1	22,6	22,6	22,6	22,6
Условное напряжение при 300 % удлинении, МПа	не менее 13,0	13,2	13,5	13,1	13,3
Условная прочность при растяжении, МПа	не менее 22,5	24,4	24,5	25,1	25,6
Относительное удлинение при разрыве, %	не менее 420	520	520	510	500
Относительная остаточная деформация после разрыва, %	-	15	14	13	12
Коэффициент старения: по прочности по относительному удлинению	-	0,62 0,45	0,63 0,46	0,72 0,53	0,74 0,55

Примечание : коагулянты : 1 – контрольный образец, двойной сополимер бутадиена со стиролом; 2 – тройной сополимер, содержание 1-винилнафталина 2,0 % мас.; 3 – тройной сополимер, содержание 1-винил-нафталина 6,0 % мас.; 4 – тройной сополимер, содержание 1-винилнафталина 10,0 % мас..

По результатам испытаний можно сделать следующие выводы: латексная дисперсия, включающая в свой состав макромолекулы тройного сополимера, обладает такой же агрегативной устойчивостью, что и двойного сополимера бутадиена со стиро-

лом; вулканизаты, приготовленные на основе тройного сополимера, особенно с повышенным содержанием 1-винилнафталина, обладают повышенной устойчивостью к тепловому старению.

Список литературы

1. Высокотехнологичные полимерные композиционные материалы для изделий машиностроения / Л.Н. Шафигуллин, А.В. Лахно, П.И. Аношкин, А.А. Бобрышев. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 184 с. – Текст: непосредственный.
2. Косенко, Е.А. Природоподобные материалы и конструкции в машиностроении / Е.А. Косенко, Н.И. Баурова, В.А. Зорин. – Москва.: МАДИ, 2020. – 304 с. – Текст: непосредственный.
3. Каблов, В.Ф. Проблемы современной технологии полимеров / В.Ф. Каблов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2019. – 325 с. – Текст: непосредственный.
4. Папков В.Н. Бутадиен-стирольные каучуки. Синтез и свойства / В.Н. Папков, Э.М. Ревин, Е.В. Блинов. – Воронеж: ВГУИТ, 2015. – 315 с. – Текст: непосредственный.
5. Коренев А.Е., Буканов А.М., Шевердяев О.Н. Технология эластомерных материалов. Москва: Истек, 2009. 504 с. – Текст: непосредственный.
6. Справочник химика. Химия и химическая технология // [Электронный ресурс]: <https://www.chem21.info/page/158216021156002192221140031140019107096142065091/> (дата обращения 24.02.2025). – Текст: электронный.

УДК 699.812.3

АНТИПИРИРУЮЩИЙ ОЛИГОМЕРНЫЙ СОСТАВ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ

Н.С. Никулина

*Воронежский институт Федеральной службы
исполнения наказаний, Воронеж, Россия
Nad.nikulina2013@yandex.ru*

Древесина является одним из старейших строительных материалов. Древесина использовалась в качестве материала из которого делали дома, мосты, корабли и много другое. Дерево имеет природную красоту, тепло, текстуру, что ценно в дизайне.

Однако помимо положительных свойств, древесина обладает рядом особенностей: низкой устойчивостью к погодным условиям, риск повреждения насекомыми или грибком и необходимостью регулярного обслуживания.

Помимо выше сказанного, древесина является горючим материалом, который при контакте с огнём может быстро воспламениться, выделяя тепло, дым и токсичные газы. Для защиты древесины от воздействия огня используют антипирены.

В настоящее время ведутся активные научные исследования в области разработки антипирюющих составов для древесины [1-4].

В данной научной статье рассматривается возможность использования в качестве антипирюющего состава бромированного 4-винилциклогексена. В качестве материала исследования были использованы образцы древесины сосны.

Для синтеза состава осуществлялось смешение брома с хлороформом в заданных количествах. Полученный раствор постепенно добавлялся в 4-винилциклогексена в реактор при непрерывном перемешивании. После завершения введения брома процесс перемешивания продолжался 1 час для полного протекания реакции. Далее проводилась двухэтапная отгонка, которая завершалась при прекращении выделения дистиллята. Готовый про-

дукт охлаждался до комнатной температуры, переливался в ёмкость и выдерживался в течение суток. Приготовленный состав наносился на поверхность образцов в 2 слоя с интервалом 3ч.

Подготовленные образцы проходили испытание по ГОСТ Р 53292-2009 «Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний». В качестве критерия оценки огнезащитной эффективности состава была рассмотрена группа огнезащитной эффективности, которая определяется с использованием специализированной установки «Керамическая труба». В ходе проведения испытания образец помещается внутрь керамической трубы и выдерживается в пламени горелки в течение 2 мин при температуре $200 \pm 0^{\circ}\text{C}$. Через 2 минуты огневое воздействие прекращается, образец остывает в керамическом коробе и после извлекается из него. В ходе проведения испытания контролируется потеря массы образцов.

За результат испытания принимали среднее арифметическое значение результатов 10 испытаний, округленное до целого числа процентов. Испытания показали, что потеря массы образца составляет 8,83 % и соответствует I группе огнезащитной эффективности (трудногораемая).

Далее была проведена сравнительная оценка огнезащитной эффективности используемого огнезащитного состава с существующим аналогом. Полученные результаты представлены на рис.1. В качестве основного сравнительного критерия рассмотрена потеря массы образцов при огневом воздействии (в %). Сравнительный анализ показывает на эффективность использования предлагаемого олигомерного состава в качестве антипирена. Полученные результаты имеют близкое значение к используемым в промышленном масштабе аналогам.

Использование в качестве антипирирующего состава олигомера, на основе бромированного 4-винилциклогексена, обеспечивает более глубокое проникновение в древесину благодаря размеру макромолекул и равномерную защиту. Кроме положительного огнезащитного эффекта олигомерный состав способствует повышению защиты от воздействия воды и влаги, благодаря

химическим связям с древесной матрицей. Отмечено, что водопоглощение снизилось в 2,5 раза по сравнению с необработанной древесиной. Полученные результаты демонстрируют возможность сохранения основных эксплуатационных свойств древесины, а также обеспечивают комплексную защиту материала от огня, влаги и воздействия воды, что в значительной степени увеличивает срок его службы.

Потеря массы, %

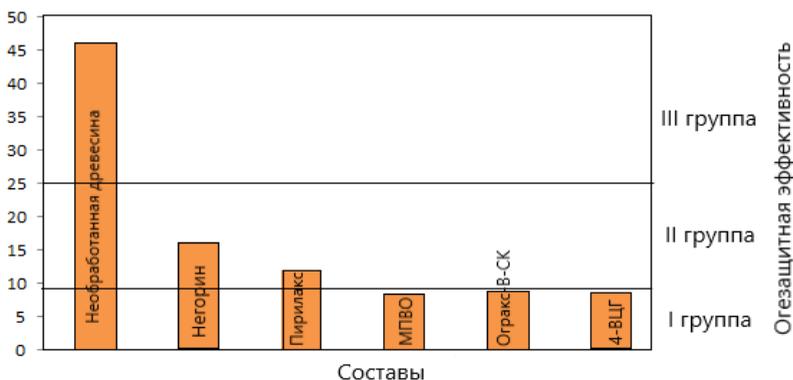


Рисунок 1 – Сравнительная оценка значений потери масс (в %) образцов при огневом воздействии

Список литературы

1. Horrocks, A.R. Recent advances in flame retardants for wood and wood composites: A review / Journal: Fire Technology. 2020. №56(4). P.1431–1465.
2. Zhang Y. Synthesis and characterization of phosphorus/nitrogen-based oligomeric flame retardants for wood protection / Journal: Fire and Materials. 2021. №45(3), P.321–332.
3. Соколова А.Н. Современные подходы к огнезащите древесины / Лесной журнал. 2020. №3. с. 45–52.
4. Федосов, В.Н. Антипирены для древесины: от традиций к инновациям / Вестник МГУЛ. 2019. №12. с. 78–85.

УДК 678

**ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ
И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
РЕЗИНОБИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ**

Е.М. Одноралов, В.А. Седых

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
odnoralovgenia@mail.ru, cdxva@mail.ru*

Использование полимерно – битумных вяжущих в современном мире позволяет получить асфальт с улучшенными техническими и эксплуатационными свойствами, что может продлить срок службы дорог. Общепринятым модификатором битумов служит термоэластопласт стирол – бутадиен – стирольного типа (СБС), который отлично диспергируется в мальтеновой части битума, образуя полимерный каркас, улучшающий эластические, температурные, прочностные и усталостные свойства битумного вяжущего.

Проблема утилизации отходов шиной промышленности является актуальной не только в России, но и за рубежом на сегодняшний день. Одной из перспективных отраслей применение, это использование измельченной резиновой крошки (РК) в качестве модификатора битумных вяжущих. Изучение литературных источников привело к выводу о том, что до сих пор нет однозначного ответа о том, как влияет РК на свойства асфальтов.

Первой проблемой служит структура вулканизированной резины, которая влияет на качество смешивания РК в среде битума. Сетчатое строение резин сопутствует процессу впитывания масляной фракции битумов, в результате чего происходит набухание крошки. Также в процессе смешивания при высоких температурах, происходит термодеструкция полимерной основы, что может негативно сказаться на свойствах битумного вяжущего. Второй

проблемой служит отсутствие общепринятых методик испытаний, модифицированных РК битумных вяжущих.

В данной работе испытания проводились по ГОСТ 52056 – который является стандартом определения марки битумных вяжущих, чтобы пронаблюдать влияние РК на одной плоскости оценивания с битумами нефтяными дорожными (БНД) и полимерно-битумными вяжущими (ПБВ).

Цель исследований – оценка влияния резиновой крошки, фракцией от 1 до 3 мм, на физико – механические и эксплуатационные свойства модифицированного битумного вяжущего. Проведение испытаний позволит качественно и количественно установить воздействие переработанной резины на битум.

Ознакомившись с информацией из научных источников, был выведен оптимальный процесс смешивания, учитывающий трудность процесса диспергирования крошки отработанной шины в битуме. В качестве насадки использовалась лопастная мешалка, а не коллоидная мельница, которую используют при смешивании с СБС. Также особое внимание придавалось размерам фракции РК, была взята наименьшая из предложенных (до 1 мм), чтобы сократить время набухания. Основой выступал битум марки БНД 60/90. Время смешивания составило 6 часов при 180 °С после добавления РК в среду битума.

Испытания проводились на резино – битумная смеси и на БНД 60/90, полная рецептура РБВ представлена в таблице.

Таблица . Рецептура резинобитумного вяжущего

Наименование ингредиентов	Содержание компонентов, %
Битум 60/90	85
Многофункциональная добавка (Воск)	1,3
Резиновая крошка, 1 - 3 мм	15

В результате исследуемый материал показал прирост термостабильности на 30 % и не показал особого спада показателя

твердости, что может говорить о улучшении технологических свойств. Однако, проведя испытания на определение динамической вязкости при температуре 135 °С материал показал отрицательный результат (прирост вязкости составил более 80 %). Тестирование на термостабильность модифицированного РК битумного вяжущего показало также отрицательный результат по показателю твердости, расхождение составило около 27 %, результаты показаны на рисунке.

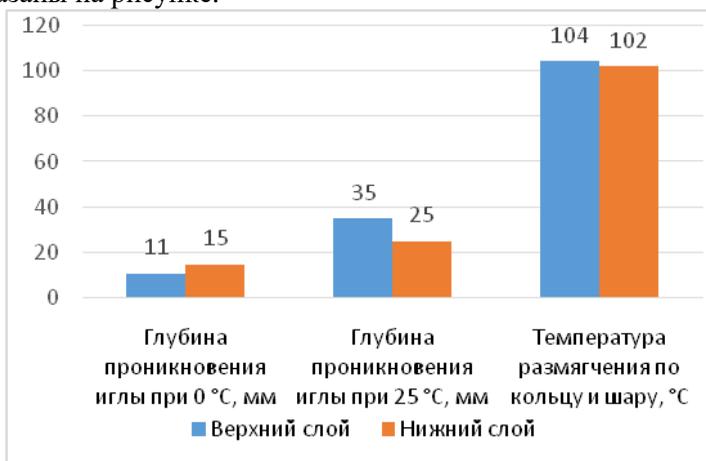


Рисунок. График разницы показаний физико-механических показателей состаренного РБВ

При определении реологических свойств по ГОСТ 58400.2, результаты РБВ показали запредельное значение. Устойчивость при сдвиговых нагрузках ($\frac{G^*}{\sin \delta}$), не менее 1 кПа, при 10 рад/с составило 106 °С, для исходного битумного вяжущего, что превышает значения которые возможно получить по НТД (82°С). Выявлен прирост температурного диапазона эксплуатации битумного вяжущего, при котором он выдерживает расчетные прикладные нагрузки, что сигнализирует о улучшении стойкости материала к образованию усталостных трещин и колееобразованию.

УДК 678.028

**ПОВЫШЕНИЕ
ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ
ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИКАТОРА СБС ДЛЯ
БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ**

Е.М. Одноралов, Е.С. Толкачева

*АО “Воронежсинтезкаучук”, ПолиЛаб Воронеж,
Воронеж, Россия
VSK-Office@vsk.sibur.ru*

В современном мире с развитием транспортной промышленности растут технические требования к дорожным покрытиям. Необходимые свойства битумным вяжущим придают различные полимерные модификаторы, такие как: атактические полиолефины, эластомеры и их сополимеры, специальные функциональные добавки и др. Одним из наиболее эффективных модификаторов нефтяных дорожных битумов является термоэластопласт типа стирол-бутадиен-стирол (СБС), который при равномерном диспергировании в битуме формирует прочный, в тоже время эластичный, полимерный каркас. Это придает материалу улучшенные эластические, реологические и прочностные характеристики, что повышает долговечность асфальтобетонных покрытий [1].

В последнее время производители модифицированных битумных вяжущих в России и странах СНГ активно внедряют методику Performance Grade (в соответствии с ГОСТ Р 58400.1–3), позволяющую оценить реологические свойства битумных вяжущих в условиях, максимально приближенных к реальным. Более того данный подход регламентирует требования к применению битумных вяжущих с учётом различного уровня транспортных нагрузок. Соблюдение параметров ГОСТ 58400.1-58400.11 не только обеспечивает высокие стандарты качества вяжущих, но и способствует улучшению эксплуатационных характеристик ас-

фальтобетонных смесей, что отражает корреляцию свойств полуфабриката с конечным дорожным покрытием [2].

В рамках данной работы исследовалось влияние СБС-модификатора на устойчивость к многократным сдвиговым нагрузкам (MSCR) с использованием динамического сдвигового реометра по ГОСТ Р 58400.6.

Целью работы являлось достижение максимального класса нагрузок (Е — экстремально высокий) при повышенных температурах с контролем технологического параметра — динамической вязкости, измеренного с помощью ротационном вискозиметре Brookfield.

Проведена оценка влияния различных марок СБС на показатели устойчивости к многократным нагрузкам. В состав смеси ПБВ входили: БНД, модификатор СБС, пластификатор и сшивающий агент - гранулированная сера. Наиболее перспективными стали марки СБС Л 30-01 А и СБС Л 30-01 Н (Рис. 1).

Измерение устойчивости к многократным сдвиговым нагрузкам проводилось при использовании прибора Anton Paar MCR 302. Реометр подвергает материал осцилляционным нагрузкам с заданными по времени циклами, где измеряется процент релаксации битумных смесей. Результат показывает среднее значение необратимых деформаций и считается как отношение среднего значения деформации к возлагаемой нагрузке (1) [3].

$$J_{3,2} = \frac{\varepsilon_{1-10}}{3,2 \text{ кПа}} \quad (1),$$

где ε_{1-10} – среднее значение показателя деформации образца в фазе ползучести за 10 циклов; 3,2 кПа – прилагаемая осцилляционная нагрузка.

В ходе данной работы было выявлено существенное увеличение прочностных и транспортно-эксплуатационных показателей образца, модифицированного маркой СБС Л 30-01А в итерации с добавлением пластификатора и сшивающего агента. Образец показал наивысший класс транспортных нагрузок ($J_{3,2} \leq 0,5 \text{ кПа}^{-1}$) и при повышении температуры испытания на 6 °С, образец сохранил уровень устойчивости к многократным

сдвиговым воздействиям, верхнее значение марки составило PG 70E (Рис.1).

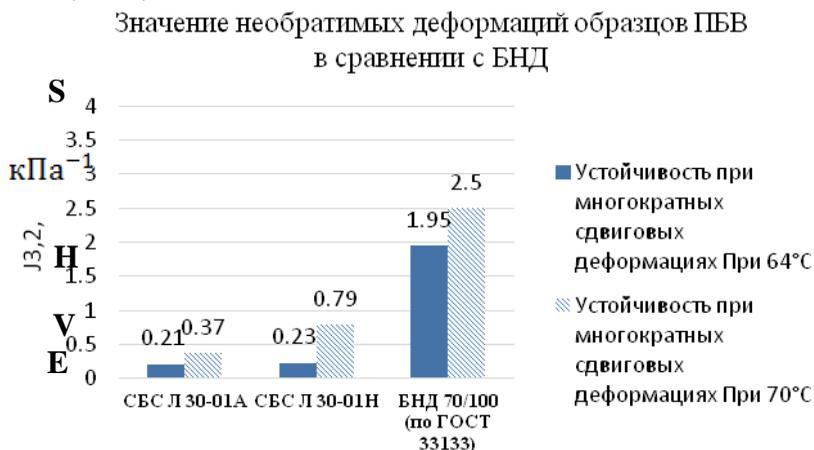


Рис. 1 - Результаты испытаний на устойчивость к многократным сдвиговым нагрузкам.

Данные результаты означают, что вяжущее с использованием серийной марки СВС Л 30-01А производства “Воронежинтезкаучук”, может применяться в строительстве дорог на участках с медленным движением трафика или при строительстве автопарковок, в регионах с повышенной температурой окружающей среды.

Список литературы

1. П. В. Шведский, Д. Н. Клебанюк изыскания и проектирование автомобильных дорог// Учебное пособие – “Инфра-Инженерия”, 2025 г.
2. B. Sengoz, A. Topal, G. Isikyakar Morphology and image analysis of polymer modified bitumens// Construction and Building Materials. – Vol. 23. Issue 5. 2009. P. 1986-1992.
3. ГОСТ Р 58400.2 – 2019 Дороги автомобильные общего пользования, материалы вяжущие нефтяные битумные, технические условия с учетом уровней эксплуатационных транспортных нагрузок. – Взамен ПНСТ 82 – 2016; Введ. с 21.06.20219 – Москва Стандартинформ, 2019 г.

УДК 678

ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАТОНКИХ ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ

*А.А. Ольхов^{1,2,3}, Д.Н. Бемов^{1,4}, А.С. Курносов³, О.И. Хан¹,
А. Л. Иорданский²*

¹РЭУ им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия

²ФИЦ ХФ им. Н. Н. Семенова РАН, Москва, Россия

³ИБХФ им. Н. М. Эмануэля РАН, Москва, Россия

⁴АО «Кимрская фабрика им. Горького», Кимры, Россия

Использование ряда природных полимеров, например, поли-(3-гидроксibuтирата) (ПГБ) или полимолочной кислоты (ПЛА), создает дополнительные преимущества при разработке волоконных и матричных систем для экологических задач и в биомедицине. Они биосовместимы и одновременно проявляют свойства контролируемой биодеструкции без образования токсичных продуктов. [1-2]. Фибриллярные матрицы и маты, образованные полученными нановолокнами, создают благоприятные условия для свободной миграции и пролиферации клеток в трехмерном пространстве каркасных структур, и, соответственно, обеспечивают высокое интеграционное сродство материала к живым тканям организма [3]. Они активно используются при конструировании биосенсоров, наночистот, для раневой терапии, с целью иммобилизации ферментов, при создании пролонгированных и адресных средств доставки низкомолекулярных модификаторов и в других областях современной биологии и медицины [4]. Следует отметить, что в отличие от большого числа публикаций по проблеме применения наночастиц различной природы, разработке биodeградируемых и биорезорбируемых фибриллярных

наноматериалов посвящено не слишком большое число современных исследований, см., например, [5].

Природные ультратонкие волокна на основе полиэфиров, синтезируемых из мономеров природного происхождения, химическим (ПЛА) и микробиологическим (ПГБ) путем, могут быть получены электроформованием из растворов или расплавов. Эти волокна удовлетворяют двум вышеуказанным критериям и поэтому могут использоваться как тонкодисперсные биоразлагаемые абсорбенты. В процессе электроформования ультратонкие волокна образуют 2D структуры в виде плоских фибриллярных мембран (матов) с высокой и разветвленной пористостью и большой удельной поверхностью. Высокая проницаемость воды и абсорбционная селективность этих мембран по отношению к органическим компонентам создают хорошие перспективы для их использования при разделении водно-нефтяных систем при отсутствии значительных энергетических затрат.

Цель настоящей работы – изучение влияния структуры ультратонких волокон ПГБ, ПЛА на морфологию нетканых волокнистых материалов и сорбционные свойства.

В работе использовали поли-(3-гидроксibuтират) (ПГБ) с молекулярной массой 460 кДа и полилактид с молекулярной массой 250 кДа (ПЛА). Электроформование нетканых волокнистых материалов осуществляли на лабораторной установке ЭФВ-1 (Россия) при динамической вязкости раствора 0,9 Па*с, удельной объёмной электропроводности $\sim 10^{-3}$ (Ом*м)⁻¹, объёмном расходе формовочного раствора 10-12·10⁻⁵ г/сек, напряжении электрического поля 15 кВ, расстоянии между электродами 18 см, диаметре капилляра 0,1 мм. Морфологию изучали методами методом атомно-силовой микроскопии (АСМ).

На рис. 1 представлена последовательность АСМ изображений фрагментов волокон, используемых при абсорбции нефти в 2D и 3D форматах. Как видно из рисунка, изменение состава волокон сопровождается появлением существенных различий в

морфологии их поверхности. Если поверхность полилактидных волокон является однородной и характеризуется отсутствием заметного рельефа и шероховатости, то с увеличением содержания ПГБ в композитном волокне поверхность волокна становится более неоднородной. Поперечный размер волокон меняется в интервале от ~8 мкм (ПГБ) до ~12 мкм (ПЛА). Причинами появления неровностей и изгибов волокон могут являться быстрое испарение растворителя из более тонких филаментов, а также высокая кристалличность ПГБ, при которой размеры кристаллических элементов (сферолитов и ламелей) сопоставимы с диаметром исследуемого волокна. Одновременно с изменением морфологии поверхности меняется и плотность упаковки композиционных матов, о чем свидетельствуют АСМ изображения (Рис 1 А-В). Наибольшее межфибрилярное расстояние наблюдается у ПГБ, что в сочетании с неровной поверхностью способствует получению максимально высоких значений абсорбированной нефти (Рис. 1 В).

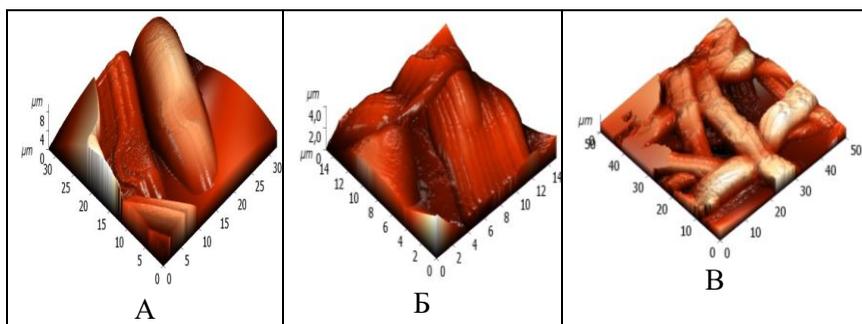


Рис. 1. Микрофотографии поверхностей волокон ПЛА (А), ПЛА-ПГБ (50 :50 мас. %) (Б) и ПГБ (В), полученные методом АСМ.

Следующий рис. 3 демонстрирует абсорбционную емкость нефти фибриллярными матами чистых ПЛА, ПГБ и их компози-

ций различного состава (1:1 и 9:1). Как видно из рисунка, поглощение нефти из модельной водно-нефтяной среды волокнами гомополимеров заметно выше, чем композиционными волокнами. Так абсорбция нефти полилактидом равняется 30,5 г/г, а ПГБ – 44,8 г/г, в то время как нефтепоглощение матами ПГБ-ПЛА (1 : 1 мас. доля) составляет 15,7 г/г и 15,2 г/г матами ПГБ-ПЛА (90 : 10 мас. %), т. е. незначительно зависит от соотношения компонентов. Однако поскольку биоразлагаемость полилактида значительно выше, чем биоразлагаемость ПГБ, то для получения полимерных абсорбентов, предназначенных для абсорбции нефти и способных при этом достаточно легко деструктурировать под действием окружающей среды, а также учитывая более низкую стоимость ПЛА по сравнению с ПГБ, целесообразно использовать именно их смесевые композиции.

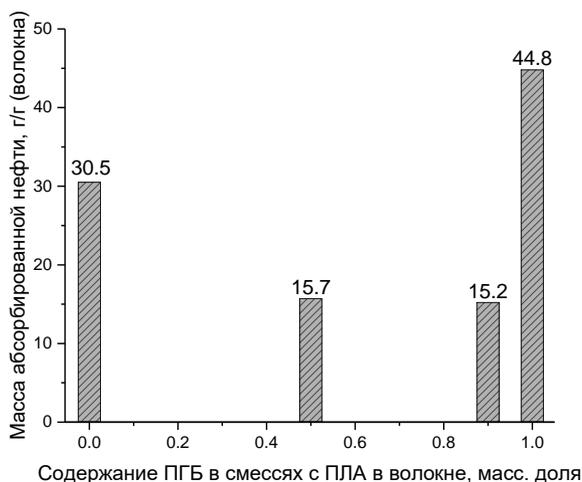


Рис. 2. Селективная абсорбция нефти из воднонефтяной среды волокнами ПГБ, ПЛА и их композиционными волокнами различного состава.

Высокая степень очистки от нефтяных загрязнений, достигаемая полиэфирными волокнами и их композициями, продемонстрирована также данными табл. 1. Из таблицы видно, что конкурентами по абсорбционной эффективности гомополимерных и композиционных систем ПГБ-ПЛА являются Поролон и Синтепон, однако оба этих материала не способны к биоразложению. Кроме того, их водопоглощение в несколько раз выше, чем у предлагаемых ультратонких волокон ПГБ и ПЛА и, следовательно, они характеризуются более низкой селективностью при абсорбции двухкомпонентных систем нефть – вода, моделирующих аварийные разливы нефти на поверхности рек и озер.

Список литературы

1. Ariga K., Vinu A., Miyahara M. // *Current Nanoscience*. – 2006 – 2.- 197.
2. Mann J.L., Yu A.C., Agmon G., Appel E.A. // *Supramolecular polymeric biomaterials*. *Biomaterials Science*. – 2018. – 6. - 10.
3. Streicher R.M., Schmidt M., Fiorito S. // *Nanomedicine*. – 2007. – 2. - 861.
4. Miguel S.P., Figueira D.R., Simões D. et al. // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2018. – 169. - 60.
5. Cao K, Liu Y., Olkhov A.A., Siracusan V., Iordanskii A.L. // *Drug Deliv. And Transl. Res.*. – 2018. – 8. - 291.

УДК 544.773

ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ НА РАЗМЕР КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ СУСПЕНЗИИ ОКСИДА ЦЕРИЯ

*Д.С. Плотников, Е.С. Бокова, Л.И. Золина, К.А. Малкова,
Н.В. Евсюкова*

*Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия
esbokova@ya.ru*

Благодаря своим свойствам церий представляет значительный интерес в качестве основного элемента полирующих суспензий для технологии химико-механической планаризации (ХМП) структур мелкощелевой изоляции транзисторов (ХМП STI (Shallow Trench Isolation)) [1]. При этом STI-процесс применяется для формирования изоляции между транзисторами, а ХМП используется для удаления рельефа, который возникает из-за применения операций селективного травления и осаждения на поверхности полупроводниковых пластин слоев нитрида и оксида кремния.

Функциональные характеристики суспензий, такие как агрегативная устойчивость, и производительность зависят от размера и свойств абразивных частиц. Крупные частицы, а также агломераты частиц могут вызвать появление дефектов на обрабатываемых пластинах в виде микроцарапин, мелкие не позволяют достичь высокой планарности и производительности процесса ХМП.

Обычно дисперсии церия стабилизируются аминокислотами, такими как L-глутаминовая кислота, L-пролиновая, полиметакриловая (ПМАК), полиакриловая (ПАК) и др. Эти соединения являются одновременно защитными коллоидами и пассивирующими агентами, регулирующими скорости удаления оксида и нитрида кремния [2–4].

Целью работы являлось исследование влияния рН суспензии на размер абразивных частиц оксида церия.

В качестве объектов исследования использовали суспензию оксида церия (производства Китай), применяемую на ряде микроэлектронных производств РФ.

Для анализа размера частиц и определения их распределения по размерам применяли метод динамического рассеяния света (Анализатор размеров частиц Photocor Mini). Диапазон изменения размер частиц (диаметр) от 1 нм до 10 мкм. Коэффициент диффузии: $10^{-5} \dots 10^{-10} \text{ см}^2/\text{с}$. Масса образца 4 мл. Углы рассеяния 90° . Анализ сигналов встроенный коррелятор Photocor FC для авто- и кросскорреляционных измерений. Линейная и логарифмическая (мульти-тау) шкала времени. Минимальное время выборки 10 нс. Лазер–полупроводниковый лазер: 638 нм, 15 мВт. Размер частиц определяли у исходной суспензии и суспензий при различных рН. Для регулирования рН применяли 1М КОН и 0,5М HCl.

На рисунке 1а приведена кривая распределения частиц по размерам для суспензии с исходным значением рН 3,7, при котором она представляла собой достаточно устойчивую коллоидную систему, несмотря на средний размер частиц, лежащий в диапазоне от 90–120 нм (более 100 нм).

В более кислой среде (рис. 1б) размер частиц увеличивался до 150–180 нм, что может свидетельствовать об их агрегировании. Проведенный ранее ИК-спектроскопический анализ суспензии позволил установить наличие в ней L-пролина, который как представитель аминокислот в зависимости от рН способен изменять степень ионизации. Известно, что при понижении рН карбоксильная группа пролина остаётся в недиссоциированном состоянии, он становится положительно заряженным, в результате чего происходит снижение электростатического отталкивания между частицами и происходит их агрегация.

При доведении рН суспензии до значений 6 и 9 (рис.2 а, б), что приближает церий к изоэлектрической точке (от рН 5,2 до рН 11 в зависимости от условий получения) [5-7], наблюдается значи-

тельное увеличение среднего размера частиц — до 540 и 730 нм соответственно.

Если при pH 6 на графике имеет место бимодальное распределение частиц по размерам, что говорит о ступенчатом характере укрупнения частиц, то при pH 9 промежуточные размеры частиц отсутствуют, что свидетельствует о быстром переходе частиц в нестабильное состояние, их укрупнении и выпадении в осадок.

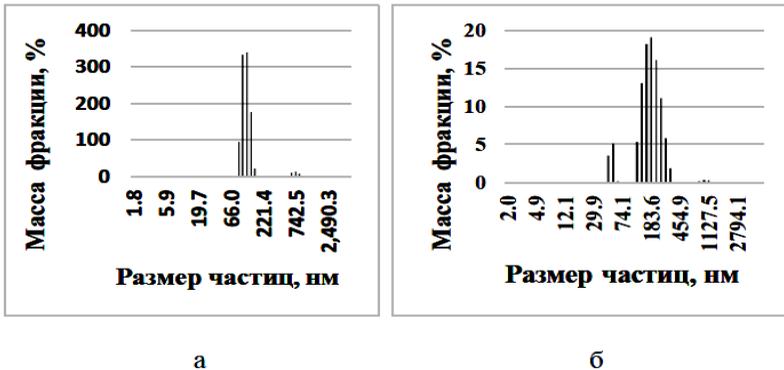


Рисунок 1 – Кривая распределения частиц по размерам суспензии оксида церия при pH 3,7 (а) и pH 3(б)

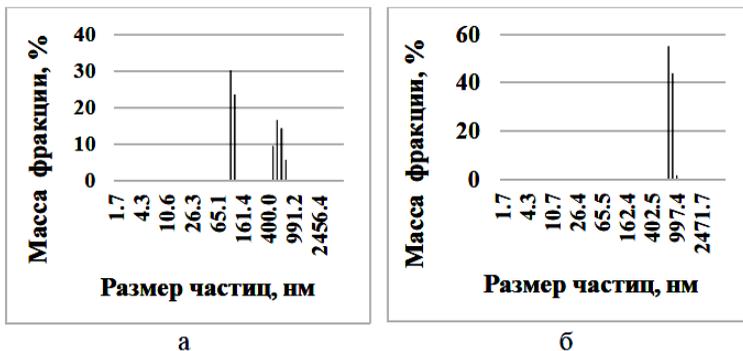


Рисунок 2 – Кривая распределения частиц по размерам суспензии оксида церия при pH 6 (а) и pH 9 (б)

Известно, что поведение суспензий оксида церия зависит от способа получения абразивных частиц. Исходя из полученных результатов, можно исключить их синтез в водной среде, поскольку в противном случае при pH 3 происходило бы растворение коллоидных частиц, а не их укрупнение. При повышении pH ближе к изоэлектрической точке и выше устойчивость суспензии нарушалась, наступала коагуляция частиц с их последующей седиментацией.

Список литературы

1. Feng, X. D.; Sayle, D. C.; Wang, Z. L.; Paras, M. S.; Santora, B.; Sutorik, A. C.; Sayle, T. X. T.; Yang, Y.; Ding, Y.; Wang, X. D.; Her, Y. S. Converting Ceria Polyhedral Nanoparticles into Single-Crystal Nanospheres. *Science*. 2006, №. 312 (5779), pp.1504-1508.

2. Kim, D., Kang, H., Kim, S., Paik, U. and Park, J. Reduction of Large Particles in Ceria Slurry by Aging and Selective Sedimentation and Its Effect on Shallow Trench Isolation Chemical Mechanical Planarization, *Japanese Journal of Applied Physics*. 2006, № 45, 9A, pp.6790-6794.

3. R. Srinivasan, S.V. Babu, W.G. America, Y.-S. Her, US Patent 6,468,910 B1 (2002).

4. R. Manivannan, S. Ramanathan, *Microelectronic Engineering*. 2008, №85, pp.1748–1753.

УДК 544.6.018.47-036.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИОННОЙ
ПРОВОДИМОСТИ ОТ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ
ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА В ТВЁРДЫХ
ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ**

Т. В. Плякин, Т. Б. Чентемиров, И. Д. Иванов, А. Н. Гайдадин

*Волгоградский государственный технический университет,
Волгоград, Россия
timophe18@gmail.com*

В современном мире всё больше возникают проблемы, связанные с использованием литий-ионных аккумуляторов. В таких источниках энергии есть риск образования дендритов лития на катоде, вследствие чего понижается его ёмкость и работоспособность. Данное явление обусловлено применением в качестве электролитов апротонных жидких растворителей. Перспективным решением вышеуказанных проблем является переход на твердотельные электролиты, что позволит также увеличить ёмкость и мощность аккумуляторов.

В роли твердотельного электролита выступает твёрдый полимерный электролит (ТПЭ). Такой подход имеет значительный недостаток в виде пониженной ионной проводимости, для повышения которой предлагается использовать смесь из двух полимеров. Таким образом повышается эффективность сольватации ионов лития благодаря созданию развитой границы раздела фаз.

В большинстве случаев используется растворный метод изготовления плёнок из полимерных композиций. Данный метод включает в себя приготовление раствора, нанесение его на подложку с последующим контролем содержания остаточного растворителя. После налива на подложку из раствора начинает формироваться гель, состоящий из квази-твёрдого электролита.

В эксперименте использовалась смесь полимеров из поливинилиденфторида (ПВДФ) и гидрированного бутадиен-нит-

рильного каучука, причём ПВДФ был взят с разной молекулярной массой, а именно марка Solef 5130 величиной 1 000 000 а.е.м.; опытные образцы: ПВДФ-7 (70 000 а.е.м.) и ПВДФ-3 (30 000 а.е.м.). Соль бис(трифторметансульфонил)имид лития (LiTFSI) служит источником ионов лития. Смесь растворителей ДМФ и ТГФ использовалась для создания растворов.

Потенциостат Smart Stat PS-50, который оснащён с модулем FRA2. С помощью этого прибора проводились измерения ионной проводимости. Полученные результаты записаны в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние молекулярной массы и содержания остаточного растворителя на значениях ионной проводимости

Состав полимерной композиции	Без селективного растворителя
Величина ионной проводимости при содержания остаточного растворителя 30 масс. %	
Solef:ГБНК	$1,43 \times 10^{-3}$
ПВДФ-7:ГБНК	$9,35 \times 10^{-4}$
ПВДФ-3:ГБНК	$2,07 \times 10^{-4}$
Величина ионной проводимости при содержания остаточного растворителя 15 масс. %	
Solef:ГБНК	$1,16 \times 10^{-4}$
ПВДФ-7:ГБНК	$3,00 \times 10^{-4}$
ПВДФ-3:ГБНК	$1,68 \times 10^{-4}$

Из результатов в таблице видно, что повышение молекулярной массы положительно влияет на ионную проводимость при 30% остаточного растворителя. При дальнейшей сушке разница в ионной проводимости между образцами 15% содержанием остаточного растворителя незначительна.

УДК 66.095.64 : 547.431.2

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СИНТЕЗА ЦИКЛОКАРБОНАТОВ ЭПИХЛОРГИДРИНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ

А.Е. Постнова, Г.В. Рыбина, Л.А. Титова

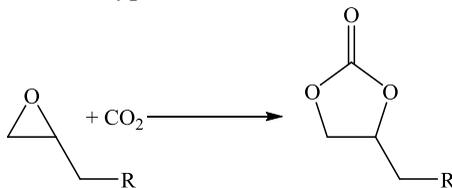
*Ярославский государственный технический университет,
Ярославль, Россия
meshechkinaae@ystu.ru*

Пятичленные циклические органические карбонаты – это сравнительно новый класс соединений, которые активно применяются в качестве активных разбавителей эпоксидных смол, модификаторов, растворителей.

Получить циклокарбонаты возможно из хлоргидриновых эфиров и карбонатов щелочных металлов, из вицинальных диолов и производных угольной и хлоругольной кислот, а также путем циклоприсоединения углекислого газа к соответствующему эпоксиду. Реакция карбоксилирования эпоксидов использует CO_2 в качестве сырья, что соответствует современным тенденциям по снижению воздействия парниковых газов на окружающую среду, и позволяет получить ценные органические продукты без образования большого количества сточных вод.

На основе эпихлоргидрина получают ряд глицидиловых эфиров моно- и полифункциональных спиртов. Замена в них эпоксигруппы на циклокарбонатную позволяет получать новые полимеры различного строения, используемые в производстве неизоцианатных полиуретанов.

Реакция получения циклокарбонатов эпихлоргидрина и его производных описывается уравнением:





Взаимодействие представленных эпоксидов с углекислым газом проводили в среде полярных растворителей, таких как ДМФА или N-метилпирролидон, и в присутствии двойной каталитической системы, состоящей из галогенида металла и четвертичной аммониевой соли, ранее уже использовавшейся для получения циклокарбоната 1,2-эпоксициклопентана [1].

Реакцию вели при температурах от 60 до 120 °С, в металлическом реакторе при непрерывной подаче углекислого газа под давлением от 0,1 до 3,0 МПа. Показано, что именно одновременное наличие обоих компонентов катализатора позволяет получать циклокарбонаты эпихлоргидрина и глицидиловых эфиров с высоким выходом и в мягких условиях.

В зависимости от природы заместителя R требуются различные условия для практически полного превращения исходного эпоксида в циклокарбонат. Так, в одинаковых условиях фенолглицидиловый эфир реагирует с CO₂ легче, чем эпихлоргидрин, а фурфурилглицидиловый эфир – тяжелее. Однако во всех случаях были подобраны параметры синтеза, позволяющие за 3-4 часа достигнуть 98-99 % конверсии исходного вещества при селективности образования циклокарбоната не менее 97 %.

Полученные циклокарбонаты были выделены из реакционной массы с помощью методов перегонки, экстракции и экстрактивной кристаллизации, их строение и чистота были подтверждены методами ИК- и ЯМР 1H-спектроскопии и данными газохроматографического анализа.

Список литературы

1. Тараненко Г.Ю. Каталитические системы на основе галогенида металла и четвертичной аммониевой соли в реакции карбоксилирования 1,2-эпоксициклопентана / Г.Ю. Тараненко, Г.В. Рыбина, С.С. Среднев, А.Е. Мешечкина, А.В. Тарасов // Нефтехимия. - 2019. - Т.59. - № 1. - С. 76-82

УДК:678

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА
СБС-Р В ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ
НА ОСНОВЕ КАУЧУКА БНКС-40АМН**

А.С. Пушница¹, В.В. Власов^{1,2}

*¹ МИРЭА-Российский технологический университет,
Москва, Россия*

*^{1,2} Ярославский государственный технический университет,
Ярославль, Россия
Ganghubas@mail.ru*

Как известно, резины на основе бутадиен-нитрильного каучука с высоким содержанием полярных нитрильных групп характеризуется высокой маслбензостойкостью, прочностью и эластичностью, однако, достаточно низкой морозостойкостью. В качестве вариантов улучшения низкотемпературных характеристик таких композиций могут выступать термоэластопласты [1,2]. В данной работе рассматривалось влияние стирол-бутадиен-стирольного термоэластопласта СБС-Р. Данный материал обладает высокой эластичностью при низких температурах, вплоть до - 60°С, однако, при этом, не устойчив к воздействию углеводородных сред – топлив и масел.

Исследование свойств модельных композиций на основе БНКС-40АМН - СБС-Р начали с изучения технологических режимов смешения, затем выявили влияние состава модельных композиций на кинетику вулканизации, температуру стеклования, температурный предел хрупкости, остаточное удлинение после сжатия, маслбензостойкость, а также упруго-прочностные свойства. Все испытания проводили в соответствии со стандартными методами, распространяющимися на резины и пластики.

Модельные смесевые композиции на основе каучука БНКС-40АМН и термоэластопласта СБС-Р готовили на вальцах и в микрорезиносмесителе Brabender. Учитывая несовместимость

полимерных матриц, введение термоэластопласта затруднялось значительными потерями и длительностью смешения на вальцах поэтому сначала СБС-Р размягчали в пластификаторе до однородного состояния после чего полученную массу вводили в пластицированный каучук. При смешении в резиносмесителе зафиксирован резкий скачок температуры до 120 °С в смесительной камере после добавления термопластичного стирольного блок-сополимера как каучуку. Учитывая положительный опыт предыдущих исследований, в качестве агента вулканизации использовался органический пероксид Luperox F-40 [3,4]

Кинетику вулканизации модельных смесевых составов определяли на реометре MDR 3000 при температуре 160,0 °С. Все образцы были свулканизованы в оптимальном режиме в соответствии с полученными реограммами.

В результате проведенных исследований установлено, что наличие термопластичной фазы стирольного блок-сополимера в количестве от 10 до 30 масс.ч. в вулканизате на основе полярного каучука приводит к снижению температуры стеклования на 6,0...9,0°С, согласно результатам дифференциальной сканирующей калориметрии. Также стоит отметить, что упругопрочностные свойства незначительно уменьшаются при увеличении термопластичной фазы до 20 масс. ч. в составе вулканизатов, что косвенно указывает на неоднородное распределение одной полимерной матрицы в другой, однако, увеличение показателя твердости по Шору А указывает на вероятные процессы совулканизации БНК и СБС, что также подтверждается увеличением плотности вулканизационной сетки содержащей 30 масс. ч СБС на 13% по отношению к вулканизату с нулевым содержанием термоэластопласта, а также незначительным увеличением изменения массы образцов после выдержки в СЖР-3. Значительное влияние стирольный блок-сополимер оказывает на значения ОДС, повышая значение в смесевых композиций в 1,4 раза. Поскольку испытания на определение остаточной деформации сжатия определяли при температуре +100,0 °С в течение 72 ч, фаза термоэластопласта отрицательно повлияла на способность материала к эластическому восстановлению в заданных условиях.

Таким образом, следует отметить, что при разработке композиций, обладающих целевыми свойствами, необходимо проводить комплексные исследования для того, чтобы оценить трудозатраты на технологию изготовления как смесей, так и изделий из таких композиций, а также оценить влияние среды и температуры как основных внешних факторов, оказывающих влияние на эксплуатационных ресурс изделий на основе эластомеров.

Список литературы

1. Пушница, А. С. Перспективы разработки топливостойких эластомерных материалов для применения в регионах с холодным климатом / А. С. Пушница, В. В. Власов, А. С. Москалев // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2025. – Т. 87, № 1(103). – С. 227-234.

2. Пушница, А. С. Исследование совместимости стирольных блок-сополимеров с бутадиен-нитрильными каучуками / А. С. Пушница, В. В. Власов // Новые полимерные композиционные материалы : Материалы XX международной научно-практической конференции, Нальчик, 04–10 июля 2024 года. – Нальчик: КБГУ им. Х.М. Бербекова, 2024. – С. 264.

3. Пушница, А. С. Исследование влияния вулканизирующей группы на технологические свойства и морозостойкость резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков / А. С. Пушница, В. В. Власов, А. И. Иванов // Каучук и Резина - 2024: традиции и новации : Материалы докладов XII Всероссийской конференции, Москва, 16 апреля 2024 года. – Москва: ООО «Издательство «Каучук и резина», 2024. – С. 43-44.

4. Влияние состава агентов вулканизации на свойства эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильных каучуков / А. С. Пушница, А. В. Горшкова, В. В. Власов, А. Н. Черепанов // Резиновая промышленность: сырье, материалы, технологии: доклады XXVIII научно-практической конференции, Москва, 22–26 мая 2023 года. – Москва: ООО «Научно-исследовательский центр «НИИШП», 2023. – С. 124-126.

УДК 678.7

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
РАСТВОРНЫХ ДИВИНИЛ-СТИРОЛЬНЫХ
СИНТЕТИЧЕСКИХ КАУЧУКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ БИОМАСЕЛ**

П.Ю. Пьяникова, С.А. Лагунова

*АО «Воронежсинтезкаучук»,
ПолиЛаб Воронеж, Воронеж, Россия
VSK-Office@vsk.sibur.ru*

Шинная промышленность, являясь неотъемлемой частью глобального транспортного сектора, оказывает значительное воздействие на окружающую среду и общество. В связи с этим, повестка устойчивого развития (ESG) трансформируется для шинных компаний из факультативной инициативы в стратегический императив, напрямую влияющий на конкурентоспособность, доступ к капиталу и долгосрочную жизнеспособность бизнеса [1].

Основной экологический ущерб возникает на этапах эксплуатации и утилизации шин: в процессе износа протектора микрочастицы резины, насыщенные ПАУ, попадают в почву и водные пути, а при сжигании отработанных шин происходит выброс токсичных соединений в атмосферу [2]. Проблемы использования нефтяных пластификаторов носят системный характер и требуют пересмотра традиционных производственных технологий в пользу устойчивых, соответствующих ESG-трансформации шинной отрасли.

На сегодняшний день рынок биоразлагаемых масел-пластификаторов для шин и каучуков считается одним из самых быстрорастущих в мире. Значительной частью этого роста является увеличение спроса на эти масла в странах Азии, что особенно актуально в условиях истощения большинства природных ресурсов [3-6]. В связи с этим, многие мировые шинные компании ставят акценты на внедрение в рецептуры «зеленых» компонентов. Среди возможных решений фигурирует возможность замены

нефтяных масел на растительные, которые являются наиболее доступным и возобновляемым сырьем. Данные пластификаторы характеризуются биоразлагаемостью и отсутствием полиароматических углеводов (ПАУ), которые обладают канцерогенным действием для людей и животных [3-6].

Неканцерогенные масла природного происхождения давно используются в производстве резин, однако, на повестке дня мировых лидеров шинной отрасли стоит вопрос о максимизации внедрения «зеленых» компонентов в рецептуры резин [7].

Руководствуясь целями устойчивого развития и учитывая обозначенные выше тренды и потребности шинных компаний, в ПолиЛаб Воронеж были проведены исследования по замене масла нефтяного происхождения типа TDAE на растительные или получаемые в деревообрабатывающей промышленности (пластификаторы на основе таллового масла) масла в составе маслонаполненного каучука ДССК-2560-М27 производства АО «Воронежсинтезкаучук».

Исследования показали, что каучуки, наполненные био-маслами, показали довольно низкие температуры стеклования (-) 48,5-(-)30,5 °С. Образец с маслом №6 демонстрирует наименьшую температуру стеклования (-) 48,5°С. Данный факт свидетельствует о хорошей морозостойкости и возможности применения биомаслонаполненного ДССК в составе резин для зимних шин.

Стандартная марка каучука производства АО «Воронежсинтезкаучук», где в качестве пластификатора применяется TDAE, используется, в основном, в летнем протекторе шины. В ПолиЛаб Воронеж были проведены испытания каучуков, наполненных био-маслами, в рецептуре не только летнего, но и зимнего протектора шины, чтобы подтвердить или опровергнуть их применимость в данной рецептуре.

Резиновые смеси на основе растворного дивинилстирольного каучука в рецептуре зимнего протектора становятся более пластичными, легче обрабатываются, технологичность процесса переработки улучшается. Кроме того, также снижается расход энергии и общее время переработки, что, в свою очередь, приводит к увеличению производительности оборудования.

В резиновых материалах пластификаторы играют ключевую роль в повышении их эластичности и улучшении динамических характеристик. Так, по результатам проведенных тестов было выявлено, что все образцы, наполненные био-маслами № 2, 3, характеризуются меньшими значениями вязкости по Муни относительно эталона на первой стадии смешения. Благодаря снижению данного показателя улучшается технологичность и облегчается перерабатываемость каучука.

По показателю эластичность по отскоку при 23 °С и 70 °С нефтяной пластификатор значительно уступает био-аналогам; масла № 4, 5, 6 показали наиболее высокие значения при обеих температурах.

По упруго-гистерезисным характеристикам образцы каучуков с маслами №4, 5, 6 в рецептуре протектора, по сравнению с нефтяным пластификатором, улучшают сцепление на обледенелой и заснеженной дороге ($\text{tg } d$ при -20 °С), за счёт сильного снижения температуры стеклования, и сохраняют показатель гистерезисных потерь ($\text{tg } d$ при 60° С), тем самым обеспечивая важное, с точки зрения потребителя, свойство – топливоэкономичность. Также при замене пластификатора на био-масла показатель износостойкости сохраняется на уровне серийного образца ДССК-2560-М27.

Для резин с маслами №2 и 3 отмечено снижение показателя теплообразования. Учитывая данный факт, также наблюдается уменьшение динамического модуля упругости и показателя гистерезисных потерь. что благоприятно влияет на срок службы шины и ее лучшую усталостную выносливость.

По полученным данным можно сделать вывод, что био-масла успешно конкурируют с нефтяным пластификатором и позволяют улучшить ключевые характеристики резины в рецептуре зимнего протектора шины. Кроме того, введение био-масел позволяет расширить ассортимент применения каучуков ДССК-2560 – не только в летних шинах, но и в зимних.

Таким образом, разработки на основе данных устойчивых решений не только поддержит конкурентоспособность на рынке, но и внесут вклад в конструктивные перемены в сфере экологии,

способствуя созданию более гармоничного баланса между производством и природой.

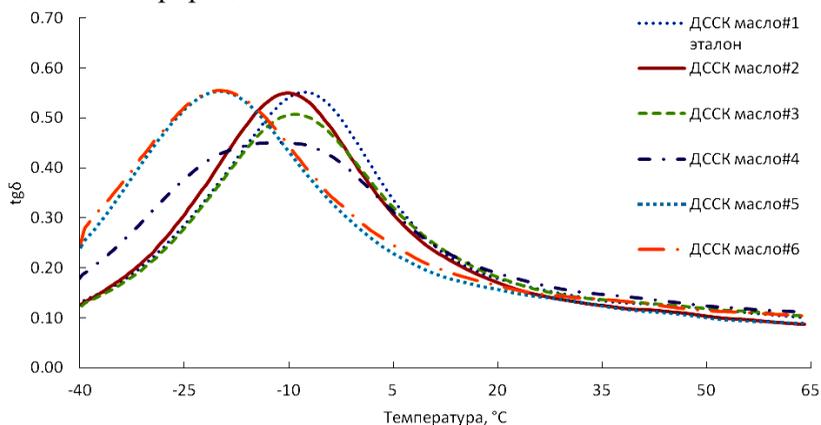


Рисунок 1 – Кривые ДМА для резиновых смесей на основе ДССК с био-маслами

Список литературы

1. Об утверждении критериев устойчивого развития (таксономии) : Постановление Правительства Российской Федерации от 21.09.2021 г. № 1587 [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202109240013> (дата обращения: 17.05.2024).

2. Гиниятуллин, Р.Р. Анализ влияния полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в шинных пластификаторах на окружающую среду / Р.Р. Гиниятуллин, А.С. Львов // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25, № 5. – С. 58–63.

3. Ahmad, N.N.R. A review on the fate of tire wear particles: Emission, transformation, and ecological impact / N.N.R. Ahmad, C.W. Wang // Environmental Pollution. – 2023. – Vol. 316, Part 2. – P. 120626.

4. Патент WO 2014/054846

5. Патент KR20200021129

6. Патент EP3513988

7. Патент EP2657262

УДК 678.71

**ОЦЕНКА СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ
ФЕНОЛОАМИННЫХ ОЛИГОМЕРОВ ВС-1А В ПРОЦЕССЕ
СТАРЕНИЯ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА**

*В.Ю. Репиш¹, А.Н. Юрьев¹, Н.В. Ляпина¹, М.А. Кулигина¹,
Е.В. Чурилина²*

*¹Воронежский филиал ФГБУ «Ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени научно-исследовательский
институт синтетического каучука
имени академика С.В. Лебедева», Воронеж, Россия*

*²Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
repsh.vladislav2016@yandex.ru*

Воронежский филиал ФГБУ «НИИСК» проводит исследования, направленные на совершенствование химико-технологических процессов синтеза эмульсионных каучуков с улучшенной стабильностью к термоокислительной деструкции. В рамках данного направления разрабатываются методы стабилизации каучуков посредством введения неэкстрагируемых антиоксидантов.

В качестве перспективного стабилизатора для эмульсионных каучуков предложен олигомерный фенолоаминный антиоксидант ВС-1А [1], синтезируемый путем конденсации п-алкилфенолов с гексаметилентетрамином в присутствии олеиновой кислоты. Полученный продукт представляет собой стабильную суспензию в растворе олеата калия, что обеспечивает его эффективное диспергирование в полимерном материале [2].

Целью настоящего исследования являлась оценка эффективности стабилизации бутадиен-нитрильного каучука БНК-28 с помощью олигомерного антиоксиданта ВС-1А с различной молекулярной массой – 1300, 2000 и 3800. В качестве сравнительного материала использовался БНК-28, стабилизированный коммерче-

ским фенольным антиоксидантом Агидол-2. Концентрация антиоксидантов в исследуемых образцах составляла 1,5 % масс.

Стабилизирующую эффективность Агидола-2 и образцов ВС-1А с различной молекулярной массой оценивали посредством определения индекса сохранения пластичности каучука по Уоллесу (ИСП), который служит экспресс-индикатором его стойкости к термоокислительной деструкции (ГОСТ ISO 2007-2013). Значения ИСП определяли до и после хранения образцов в течение 6 месяцев при нормальных условиях.

Таблица 1. Значения индекса сохранения пластичности по Уоллесу

Антиоксидант	Агидол-2	ВС-1А М=1300	ВС-1А М=2000	ВС-1А М=3800
ИСП до старения, %	78	86	88	89
ИСП после старения, %	93	90	94	98
Относительное изменение ИСП, %	19,2	4,7	6,8	10,1

Анализ полученных результатов показывает, что олигомерный антиоксидант ВС-1А проявляет более высокую эффективность в ингибировании процессов старения каучука по сравнению с фенольным антиоксидантом Агидол-2. Наблюдается выраженная обратная зависимость между молекулярной массой ВС-1А и его стабилизирующим действием: снижение молекулярной массы ВС-1А коррелирует с усилением ингибирующего эффекта.

Список литературы

1. Хмара В.А. Алкилфеноламинные смолы в качестве полифункциональных компонентов резиновых смесей / В.А. Хмара, А.Г. Лиакумович, Р.С. Ильясов, Р.А. Ахмедьянова, Е.Г. Мохнаткина // Каучук и резина. – 2004. – №2. – С. 42-50.
2. Карташов А. В. и др. модификация алкилфеноламинных смол олеиновой кислотой // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2016. – №. 3. – С. 22-26.

УДК 543.632.542

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНО-ДИАНОВЫХ ОЛИГОМЕРОВ НА ХИМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

А.В. Сафонов¹, В.С. Дутова², А.Р. Валеева², Е.М. Готлиб³

¹*ООО «Полипласт-УралСиб», Россия, knigohranitel@mail.ru*

²*ФГБОУ ВО «КНИТУ -КАИ», Казань, Россия,
vary43791@yandex.ru, alina.valeeva@yandex.ru*

³*ФГБОУ ВО «КНИТУ», Казань, Россия, egotlib@yandex.ru*

Для обеспечения устойчивости эпоксидных материалов к действию химических агрессивных сред, согласно литературным данным [1,2], важную роль играют физико-химические характеристики исходных олигомеров, которые определяют эксплуатационные свойства отвержденных полимеров на их основе [3].

Изучались композиции на основе диановых эпоксидных олигомеров, производства ООО Полипласт-УралСиб (ТУ 20.16.40-175-58042865-2024), -ЭДП и китайской компании Sipores CYD 128, свойства которых описаны в [3].

Они отверждались аминоалкилфенолом АФ-2 (ТУ 2494-052-00205423-2004), при эквимольном соотношении [эпокси-группы]:[амин], 7 суток при комнатной температуре.

Химическая стойкость определялась, согласно ГОСТ 12020-2018.

Установлено, что эпоксидные материалы на основе ЭДП имеют более низкий уровень водостойкости (рис.1), и устойчивости в 5% водном растворе хлористого натрия, чем в случае применения CYD 128.

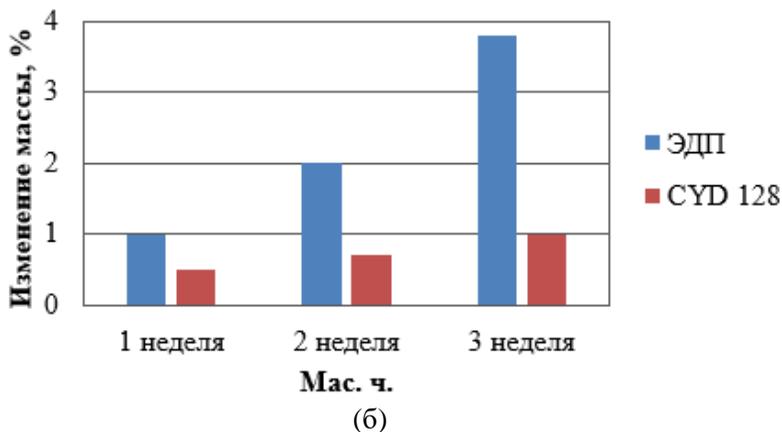
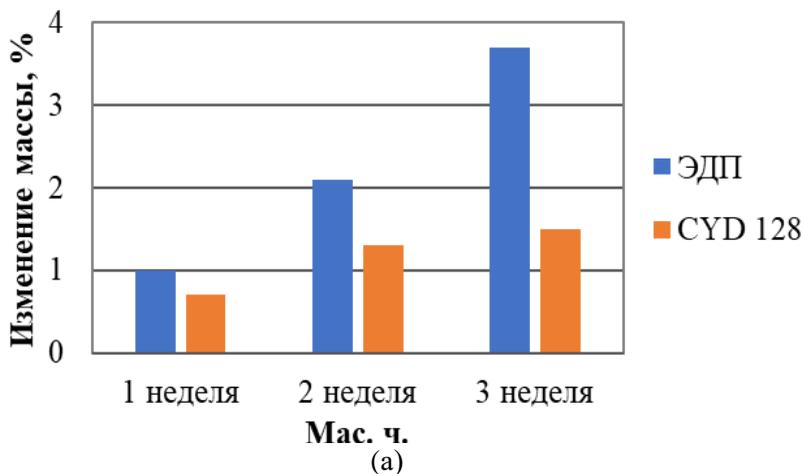


Рис.1 Зависимость водостойкости (а) и набухания в слабо концентрированном солевом растворе (б) эпоксидных материалов от типа диановой смолы

Более высокая степень набухания эпоксидных материалов на основе смолы ЭДП связана, в частности, с наличием в ее составе заметных количеств омыляемого хлора [3], так как непол-

ное завершение реакции дегидрохлорирования при синтезе смол ухудшает, согласно [4], химическую стойкость отвержденных композиций.

Свой вклад вносит и меньшее эпоксидное число ЭДП [3], по сравнению с СУД 128, что влияет на густоту пространственной сетки эпоксидных полимеров.

Таким образом, эпоксидные материалы на основе смолы Китайского производства имеют более высокий уровень химического сопротивления, чем полученные с использованием отечественного эпоксидного олигомера.

Список литературы

1. Низина, Т. А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих / Т. А. Низина. — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та., 2007. — 258 с.

2. Исследование влияния молекулярной массы эпоксидной смолы на адгезионные, физико-механические свойства и эрозионную стойкость покрытий/ Кузнецова В. А., Кузнецов Г. В., Шаповалов Г. Г, Марченко С.А. *Авиационные мат. и технологии*, 2021, №1 (62), с 71-79.

3. Дутова В.С., Сафронов А.В., Готлиб Е.М. Влияние свойств эпоксидных смол на эксплуатационные характеристики отвержденных полимеров на их основе // *Сборник тезисов Всероссийской конференции "Полимеры и композиты на их основе: прикладные и экологические решения"*. - Казань: 2025. - С. 231.

4. Щеглов П.А., Шестаков А.С., Вялов А.И. Содержание хлора в эпоксидных смолах и оценка влияния его на качество продукции на их основе // *Информационно-технологический вестник*. - 2017, № 3 (13). С. 137-145

УДК 678.762.9

ГИБРИДНЫЙ КОАГУЛЯНТ НА ОСНОВЕ ОТХОДА ПИВОВАРЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭМУЛЬСИОННЫХ КАУЧУКОВ

Н.Ю. Санникова, С.С. Никулин, Л.А. Власова, И.А. Писарева

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
cnu@inbox.ru*

Большинство пищевых предприятий сталкиваются с необходимостью утилизации отходов, образующихся на производстве. Одним из направлений их вторичного использования может быть применение в промышленности, производящей каучуки эмульсионной полимеризации, например, инактивированные пивоваренные дрожжи. Они включают в свой состав белковые компоненты, а также азотсодержащие органические соединения. В ранее опубликованных работах была показана возможность применения в технологии синтетического каучука белковых компонентов [1].

Цель работы – применение инактивированных дрожжей в комбинированном коагулянте при производстве эмульсионных каучуков. Объект исследования – латекса бутадиен-стирольного каучука марки СКС-30 АРК.

Эксперимент выполняли по методике, описанной в работе [2]. Для коагуляции готовили дисперсию инактивированных дрожжей в водном растворе с концентрацией 20 % и 20 % раствор хлорида натрия. Подкисляющий агент – серная кислота. Выделение полимера из латекса выполняли при температурах 1-2 °С и 60 °С.

Исследования по влиянию температуры на процесс выделения каучука из латекса показали, что в случае применения индивидуальных компонентов хлорида натрия и инактивированных дрожжей расход их на выделения каучука из латекса составил

150 и 10 кг/т каучука при 1-2 °С. Повышение температуры коагуляции до 60 °С увеличивает расход компонентов до 170 и 15 кг/т каучука соответственно.

Применение гибридного коагулянта позволило снизить расходы коагулирующих агентов как при пониженной, так и при повышенной температуре. При расходе хлорида натрия 30 кг/т каучука полнота выделения каучука из латекса достигалась при дополнительном введении дрожжей в количестве 2 кг/т каучука. Суммарный расход коагулирующей системы составил 32 кг/т каучука. Снижение расхода хлорида натрия до 10 кг/т каучука привело к повышению расхода дрожжевого компонента до 3 кг/т каучука. Таким образом, общий расход коагулирующей системы составил 13 кг/т каучука. Процесс проводили при температуре 1-2 °С.

Повышение температуры до 60 °С способствовало расходу гибридного коагулянта. При расходе хлорида натрия 30 кг/т каучука дополнительно потребовалось ввести 5 кг/т каучука инактивированных дрожжей. При этом общий расход составил 35 кг/т каучука. При расходе хлорида натрия 10 кг/т каучука потребовалось дополнительное введение дрожжевого компонента в количестве 10 кг/т каучука. Общий расход коагулирующего агента составил 20 кг/т каучука.

Таким образом, технологическом в процессе производства эмульсионного каучука может быть использован побочный продукт гибридный коагулянт, включающий в свой состав побочный продукт пивоваренного производства, в сочетании с хлоридом натрия.

Список литературы

1. Н.С. Никулина. Особенности поведения органических солей аммония при выделении каучука из латекса / Н.С.Никулина, Т.М.Булатецкая, В.Н.Вережников, С.С. Никулин; Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2020. Т. 63. № 3: С. 75-81.

2. Т.Н. Пояркова. Практикум по коллоидной химии латексов / Т.Н.Пояркова, С.С.Никулин, И.Н.Пугачева, и др.; М.: Издательский дом Академии Естествознания. 2011. 124 с.

УДК 678

МОДИФИКАЦИЯ АДГЕЗИОННОГО ГРУНТА В КЛЕЕВОМ СОЕДИНЕНИИ РЕЗИНА : МЕТАЛЛ

В.А.Седых, В.А.Крюков

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
cdxva@mail.ru, kryukovvladimir1602@gmail.com*

Современное машиностроение и строительство невозможно представить без применения резинометаллических композиционных материалов. В связи с этим остро стоит вопрос разработки новых клеевых составов для надежного соединения резины с металлом.

В ходе патентного анализа и проведенной работы получена клеевая композиция на основе полихлоропрена обладающая хорошей адгезией при совулканизации различных резиновых смесей содержащих непредельные каучуки.

Исследуемая клеевая композиция показала недостаточные показатели адгезии к поверхности стали.

Для модификации свойств клеевого соединения, с целью применения клеевой композиции для горячего крепления резины к металлу, принято решение применить грунтовый подслои для увеличения прочности связи клеевого соединения с поверхностью стали.

В качестве грунтового слоя применен продукт, коммерчески реализуемый как клей для горячего крепления резины на основе полихлоропрена или натурального каучука к поверхности стали, представляющий собой раствор триизоцианата (ТИЦ) в органическом растворителе.

Применение раствора ТИЦ в качестве грунта позволило значительно повысить прочность соединения резины с металлом. Однако при воспроизведении опыта наблюдалась нестабильность результатов. Это явление, связано с низкой пленкообразующей

способностью ТИЦ, и разрушением целостности грунтового слоя в процессе нанесения покровного слоя.

В связи с этим, принято решение модифицировать пленкообразующие свойства грунта, совместив его с полимерной матрицей.

Предложено использовать в качестве грунта смесь раствора ТИЦ и исследуемой клеевой композиции. В результате удалось добиться воспроизводимых результатов при нанесении свежеприготовленного грунта. Тем не менее, за счет наличия в составе клеевой композиции фенолформальдегидных смол активно реагирующих с триизоцианатом, время жизни такого грунта не превышало 10 мин.

Исключив из состава грунта фенолформальдегидные смолы и некоторые вспомогательные компоненты, прочность при отслаивании незначительно снизилась. Однако, оказалось, что триизоцианат взаимодействует при комнатной температуре не только со смолами, но и с наполнителями и ингредиентами вулканизирующей группы полихлоропрена. Также обнаружена взаимосвязь между составом смеси растворителей применяемых в грунте, прочностью связи грунта с поверхностью стали и временем его жизни.

Для двойной системы растворителей содержащей метилизобутилкетон (МИК) и дихлорэтан определено, что прочность при отслаивании клеевого соединения пропорциональна доле метилизобутилкетона. Увеличение доли МИК привело к снижению продолжительности жизни грунта (содержание МИК в опытах составляло от 0 до 50%).

Существуют работы, подтверждающие на значительное влияние природы растворителя на кинетику реакций изоцианатов [1]. Предположено, что в рассматриваемом случае уменьшение жизнеспособности грунта, как и увеличение клеящей способности может быть связано с изменением в надмолекулярной структуре матрицы полихлоропрена.

Чтобы добиться увеличения времени жизни грунта осуществлена блокировка функциональных групп триизоцианата.

Для блокировки триизоцианата выбран фенол, обладающий достаточно низкой температурой деблокирования по ходу вулканизации клеевого соединения.

При испытании грунта с полностью заблокированным триизоцианатом снизились показатели адгезии резины к металлу.

Осуществив серию опытов с грунтом с частично заблокированным фенолом триизоцианата. Доказано неблагоприятное воздействие высвобождающегося фенола на адгезионные свойства клеевой композиции.

При дополнительном введении в состав грунта, содержащего заблокированный фенолом триизоцианат, крахмала или декстрина прочность клеевого соединения значительно возросла. Предполагается что такой эффект получен преимущественно в результате сорбции фенола введенными соединениями.

В результате проведенной работы получено двухслойное клеевое соединение, с двухкомпонентным грунтом, прочность при отслаивании которого составила 20 кН/м (для типовой резиновой смеси на основе СКС и опескоструеной стали Ст. 3), а также двухслойное клеевое соединение, с однокомпонентным грунтом, прочность при отслаивании которого составила 15 кН/м (для типовой резиновой смеси на основе СКС и опескоструеной стали Ст. 3)

Список литературы

1. Douglas, A. Wicks. Blocked isocyanates III: Part A. Mechanisms and chemistry / A. Wicks Douglas, W. Wicks Zeno // Progress in Organic Coatings – 1999. – P. 148 – 172.

УДК 678

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛАСТИЧНЫХ МЕМБРАН ПИЩЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.А.Седых¹, С.Н.Нархов²

¹ *Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия*

² *ООО «Посейдон Фильтр», Воронеж, Россия
cdxva@mail.ru, s-narhov@yandex.ru*

Импортозамещение - современная широко распространенная тенденция во всех отраслях промышленности РФ. Актуально импортозамещение и в области очистки воды.

Обязательным элементом бытовой системы очистки воды обратным осмосом является эластичная мембрана накопительного бака. С одной стороны мембраны накапливается очищенная питьевая вода, а с другой стороны сжатый воздух. В связи с этим к мембране предъявляются следующие требования: газонепроницаемость, гидрофобность, достаточные упруго-прочностные показатели, отсутствие вредных примесей и посторонних запахов.

В настоящее время эластичные мембраны для системы обратного осмоса закупаются в Китае.

Цель работы заключалась в выборе и обосновании материала эластичной мембраны, технологии ее изготовления с последующим размещением производства на территории РФ.

Оценка газопроницаемости (табл. 1) показала существенное преимущество мембран на основе таких полярных полимеров как бутадин-нитрильный каучук (БНК), полихлоропрен (ПХ), поливинилхлорид (ПВХ) по сравнению с каучуками общего назначения – полиизопрена (ПИ), полибутадиена (СКБ), бутадиенстирольного (БСК) [1].

Таблица 1. Влияние природы полимерных мембран на их газопроницаемость $/(m^2/П*с) * 10^{18}/$

<i>П-р</i> <i>Газ</i>	ПИ	СКБ	БСК	БНК	ПХ	БК	ПВХ
O ₂	154	115	103	26	24	9,6	0,5
N ₂	57	37	38	7	7	2,4	0,2

Наименьшей газопроницаемостью характеризуется бутилкаучук (БК), его галогенсодержащие модификации (ХБК) и (ББК), а также поливинилхлорид (ПВХ).

Поскольку ПВХ приобретает эластичность в присутствии 25-30% пластификатора (ПВХ - пластикат) его газопроницаемость приближается к БК.

Гранулированный ПВХ пластикат представляет интерес по простоте технологии производства мембран с помощью термопласт - автоматов. Однако, такие недостатки (табл. 2) как пониженная прочность, высокая остаточная деформация после разрыва и, в особенности, ползучесть при циклических деформациях, исключает данный полимер из вероятного перечня. Кроме того, пластификатор, содержащийся в пластикате, вымывается питьевой водой и загрязняет ее.

Таблица 2. Влияние природы полимерных мембран на их упруго-прочностные показатели

Полимер основы мембраны, «изготовитель»	Условная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Относительная остаточная деформация после разрыва, %
ПВХ - пластикат «Полигран», РФ	5,5 – 10,3-	280 - 329	16 - 24
ПВХ - пластикат «Ростпласт», РФ	5,4 – 9,2	242-282	16
ПВХ - пластикат "Биохимпласт", РФ	6,8 – 10,1	272 - 332	16 - 24
ПХ, Китай	24-28	880-1000	10-20

Полихлоропрен соответствует требованиям к мембранам, но является дорогостоящим по причине отсутствия производства в РФ.

Бутадиен-нитрильный каучук (марка СКН-18), так же соответствует требованиям к основе мембран (табл. 3), включая малую приведенную остаточную деформацию $\epsilon_{ост}/\epsilon_p$, но сохраняет остаточный запах, который удаляется в результате дополнительной стадии дегазации в среде водяного пара.

Анализ состава эластичной мембраны китайского производства указал на использование галогенированного БК с достаточным уровнем упруго-прочностных показателей, включая $\epsilon_{ост}/\epsilon_p = 0,04$.

Таким образом, доказано, что в качестве каучуковой основы эластичной мембраны пищевого назначения целесообразно использовать как БНК, так и БК (ГБК) производства РФ.

Таблица 3. Упруго-прочностные показатели газонепроницаемых эластичных мембран

Полимер основы мембраны, «изготовитель»	Усл. прочность при растяжении, МПа	Относительные		$\epsilon_{ост} / \epsilon_p$
		удлинение при разрыве, (ϵ_p), %	остаточная деформация после разрыва ($\epsilon_{ост}$), %	
БНК (СКН 18), РФ	23 – 25	500	10-20	0,04
БК, РФ	18	600	60	0,10
ГБК, Китай	7 – 13	400	16	0,04

Список литературы

1. Кошелев, Ф.Ф. Общая технология резины. / Ф.Ф. Кошелев, А.Е. Корнев, А.М. Буканов // Изд 4-е перераб. и доп. -/- М.: Химия, 1978. -528 с.

УДК 678

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ БУТИЛКАУЧУКА И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА

В.А. Седых, С.Г. Тихомиров, А.В. Карманов, М.Н. Холобаев

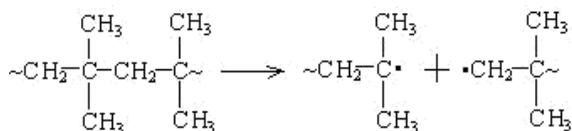
*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия,
kaf-tospp@vsuet.ru*

В технологии полимеров большой интерес представляют процессы деструкции, при регулируемом проведении которых, можно получать материалы с требуемыми техническими свойствами. Для глубокого анализа процесса деструкции под действием различных факторов необходимо создание математического аппарата для предсказания кинетических особенностей и закономерностей процесса. Разработка программного обеспечения позволит не только сократить затраты на проведение сложных и энергоемких натуральных экспериментов по радиационной и термомеханической обработке полимеров, но и получить данные с требуемой точностью.

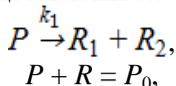
Целью исследования явилась математическое моделирование кинетики радиационной и термомеханической деструкции бутилкаучука и получение исходных данных для разработки программного обеспечения процесса.

В качестве объектов исследования использовали образцы смоляных вулканизатов бутилкаучука, которые подвергали радиационной обработке и механообработке, в том числе при их сочетании. Параметрами, характеризующими внешнее воздействие, являлись поглощенная доза и/или время, температура механообработки).

За основу реакций процесса радиационной деструкции бутилкаучука принята схема, предложенная авторами [1]:



Итоговые реакции представлены схемой:



где P – массовая концентрация полимера; R_1 и R_2 – концентрации радикалов, где P_0 – начальная массовая концентрация полимера.

Скорость образования радикалов описывается уравнением:

$$\begin{cases} \frac{dR}{d\theta} = k_1(P_0 - R), \\ R(0) = 0 \end{cases}$$

где θ – доза облучения (кГр); k_1 – константа скорости деструкции полимера (кГр)⁻¹.

Под действием механических сил и температуры деструкция макромолекул протекает по схемам

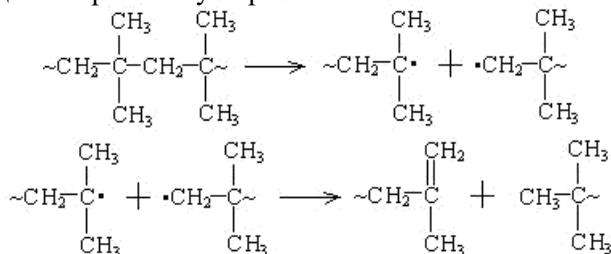
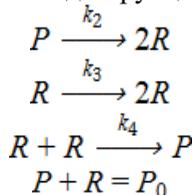


Схема термомеханической деструкции:



При этом скорость образования радикалов описывается уравнением:

$$\begin{cases} \frac{dR(t)}{dt} = k_2[P_0 - R(t)] + k_3R(t) - k_4R^2(t) \\ R(0) = 0 \end{cases}$$

Для описания процесса использовали показатель вязкости по Муни ($M(\theta)$), связь которого с концентрацией радикалов описана в работе [2]. Анализ результатов расчетов вязкости по Муни исследуемых образцов показал, что точность модели радиационной деструкции составила ~8% отн., точность модели термомеханической обработки – ~9 % отн.

При разработке прикладной программы, реализующей эмуляцию процессов радиационной и термомеханической деструкции полимера, применяли метод декомпозиции математического обеспечения АСУ на ряд взаимосвязанных модулей, каждый из которых выполнен на базе отдельной подпрограммы. Использован пакет прикладных программ Matlab, интегрированная графическая среда Simulink.

Архитектура программного обеспечения представляет собой набор взаимосвязанных функциональных модулей. Некоторые блоки являются подсистемами, например,; программный модуль расчета системы дифференциальных уравнений процесса деструкции программный модуль расчета констант скоростей процесса деструкции, программный модуль расчета текущего значения вязкости по Муни обрабатываемого образца. Заложенные в пакет Matlab функциональные и инструментальные возможности позволяют настроить обмен данными между блоками в соответствии с разработанным алгоритмом расчета и управления температурным режимом стадии термомеханической обработки резин.

Список литературы

1. Хакимуллин, Ю. Н. Структура, свойства и применение радиационных регенераторов резин на основе бутилкаучука: Монография. – Казань: КНИТУ. – 2011. – 187 с.
2. Research into Kinetics of Radiation Destruction of Elastomers / S. G. Tikhomirov, O. V. Karmanova, S. L. Podvalny [et al.] // Advanced Materials and Technologies. – 2018. – No. 2. – P. 9-17.

УДК 678.762.9

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ АГЕНТОВ СОЧЕТАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА ИСТ-30

*А.И. Семеняченко, С.С. Никулин, Н.Ю. Санникова,
Н.С. Никулина*

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
artemsemenyachenko@yandex.ru*

Термоэластопласты (ТЭП) - современный и динамично развивающийся класс эластомеров. Они способны к обратимым высокоэластичным деформациям и перерабатываются методами, применимыми для пластмассам. Важную роль среди термопластичных эластомеров имеют блок-сополимеры, которые характеризуются лучшими эксплуатационными характеристиками по сравнению со смесевыми ТЭП. Наиболее распространёнными и экономически оправданными являются блок-сополимеры, получаемые на основе диеновых и винилароматических мономеров - таких как 1,3-бутадиен, изопрен, стирол и α -метилстирол [1-3].

Молекула термоэластопласта ИСТ-30 состоит из центрального эластомерного блока полиизопрена, обеспечивающего гибкость, высокую упругость и морозостойкость материала, а также из жёстких полистирольных блоков на концах, которые играют роль узлов физической сетки и наполнителя, придающих материалу прочность, твёрдость и термопластичность [1,4].

Ключевым этапом получения блок-сополимерных ТЭП является процесс сочетания — реакция объединения двухблочных «живых» макромолекул в более сложный трёхблочный полимер. В качестве агента сочетания в промышленности чаще всего применяется тетрагидрид кремния [1-4].

В ходе исследования были проведены синтезы со следующими агентами сочетания: хлорид кремния IV, тераэтоксисилан, метилтриэтоксисилан и метилтриметоксисилан.

Определены характеристическая вязкость (ХВ) и молекулярно-массовое распределение полученных полимеров (табл.1).

Таблица 1. Характеристическая вязкость и средневязкостные молекулярные массы синтезированного ИСТ-30Р.

Используемый агент сочетания	ХВ 1 блока, дл/г	ММ 1 блока	ХВ 2 блока, дл/г	ММ 2 блока	ХВ разветвленного, дл/г	ММ разветвленного
Хлорид кремния IV	0,18 1	19 892	0,74 4	60 919	1,210	237 914
Тетраэтоксисилан	0,18 5	20 378	0,73 9	60 261	1,221	246 311
Метилтриэтоксисилан	0,18 2	19 977	0,73 7	59 789	1,079	185 912
Метилтриметоксисилан	0,17 9	19 683	0,74 8	61 312	1,061	179 981

Образцы, полученные с использованием хлорида кремния IV и тетраэтоксисилана, продемонстрировали более высокие значения, что обусловлено максимальным числом заместителей, способных взаимодействовать с активным литием, в молекулах этих агентов сочетания. Наименьшая вязкость была получена у полимеров, разветвлённых метилтриметоксисиланом и метилтриэтоксисиланом, обладающими меньшим количеством реакционно-способных атомов.

Увеличение молекулярной массы разветвленного полимера по сравнению с двублочным сополимером коррелирует с количеством реакционно-способных атомов хлора в составе каждого агента сочетания. Узкая полидисперсность положительно влияет на физико-механические показатели образцов.

Определено содержание гомополимера и двублочника в сополимере (табл. 2). Анализ фракционного состава ИСТ-30Р показал, что большее количество непрореагировавшего активного

двублочного сополимера наблюдается в образцах, полученных с применением «четырёхлучевых» агентов сочетания – хлоридом кремния и тетроэтоксисиланом. Для «трёхлучевых» значение этого показателя ниже, что может говорить о пространственных ограничениях при замещении «двублочником» четвёртой функциональной группы.

Таблица 2. Фракционный состав ИСТ-30Р

Используемый агент сочетания	1 блок, %	2 блок, %	Разветвленный, %
Хлорид кремния IV	6,12	23,37	70,51
Тераэтоксисилан	4,37	24,87	70,77
Метилтриэтоксисилан	5,87	14,64	79,49
Метилтриметоксисилан	7,43	11,81	80,76

Таким образом, применение указанных агентов сочетания в промышленности является перспективным. Особое внимание следует уделить изучению метилтриэтоксисилана и метилтриметоксисилана, как обуславливающих более высокое качество полимера.

Список литературы

1. Корчагин, В. И. Инновационные методы и технологии переработки эластомеров [Текст] / В. И. Корчагин, Л. А. Власова, А. В. Протасов. — Воронеж: ВГУИТ, 2020. — 103с.
2. Канаузова, А. А. Термоэластопласты [Текст] / А. А. Канаузова, С. В. Резниченко, С. В. Емельянов. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 62 с.
3. Хакимуллин, Ю. Н. Термоэластопластичные материалы на основе блок-сополимеров [Текст] / Ю. Н. Хакимуллин, Н. А. Охотина. - Казань : КНИТУ, 2017. - 84 с.
4. Подкопаева С.В. Обоснование выбора технологического режима синтеза дивинил-стирольных термоэластопластов [Текст] / С.В. Подкопаева, Ё.А. Хромых // Промышленное производство и использование эластомеров. - 2024. - N 2. - С. 28–30.

УДК 678

**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ
БИНАРНЫХ КОМПОЗИТОВ СОСТАВА
«ПОЛИВИНИЛОВЫЙ СПИРТ : ПОЛИСАХАРИДЫ»**

Л.Н. Студеникина, А.А. Мельников

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
lubov-churkina@yandex.ru*

Компаундирование поливинилового спирта (ПВС) и полисахаридов (ПС) при получении функциональных материалов, в частности, для упаковочной индустрии, позволяет снизить их себестоимость и регулировать свойства [1,2]. Влияние природы наполнителя и марки ПВС на свойства композита требует изучения для прогнозирования поведения материала при эксплуатации и утилизации.

Цель работы – исследование эксплуатационных свойств бинарных композитов на основе ПВС с различным содержанием ВА-групп и наполнителей различной природы.

Объектами исследования были 16 образцов композитных материалов на основе ПВС марок 17-88 и 17-99 (содержание остаточных винил-ацетатных групп соответственно 12 и 1 мас.%), содержащих 25 и 50 мас.% органического наполнителя - полисахарида (ПС) различной природы: крахмала (КР), микроцеллюлозы (МЦ), декстрина (ДЕК) и клетчатки кофейного зерна (КОФ), пластифицированные глицерином - 10 мас.%.

В задачи исследования входило определение прочностных показателей в сухом и паронасыщенном / водонасыщенном состоянии материала (ГОСТ 11262-2017).

При наполнении ПВС марки 17-99 наблюдаются дефекты при обезвоживании (нижний ряд образцов на рис.1), очевидно связанные с кристаллизацией полимерной матрицы, которые отсутствуют у образцов на основе ПВС 17-88 (верхний ряд образцов на рис. 1).

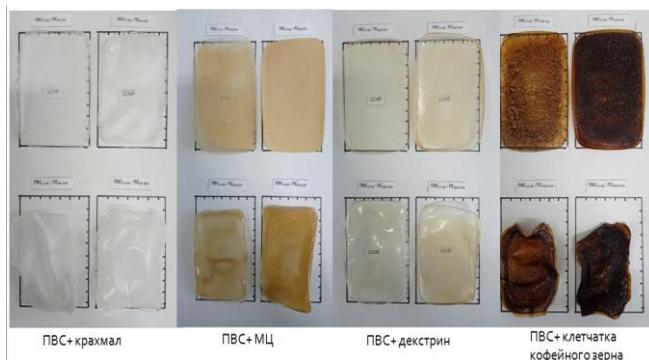


Рис. 1. Экспериментальные образцы композитов ПВХ : ПС

Установлено, максимальной прочностью как в сухом, так и во влагонасыщенном состоянии обладают композиты, наполненные декстрином, минимальной – композиты, наполненные крупнодисперсной клетчаткой кофейного зерна и микроцеллюлозой, промежуточное значение занимает композит ПВХ – КР (рис.2).

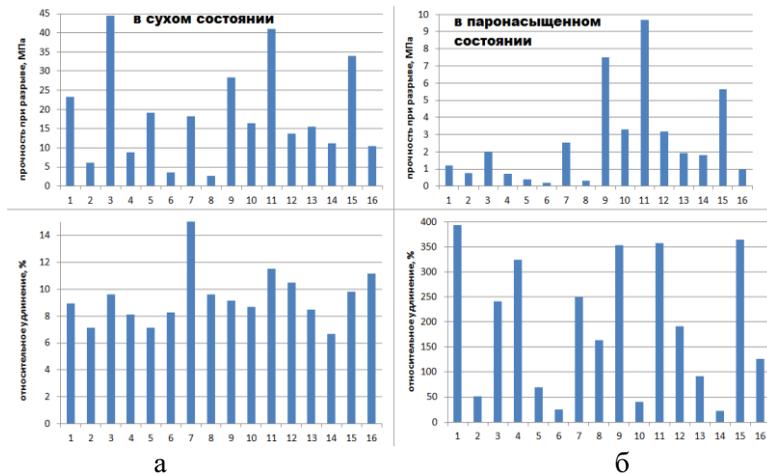


Рис. 2. Прочностные показатели исследуемых материалов (верхний ряд – прочность при разрыве, МПа; нижний ряд – относительное удлинение при разрыве, %): а) в сухом состоянии, б) в паронасыщенном состоянии.

Номера образцов на рис.2 соответствуют рецептурам: №1-№8 – на основе ПВС 17-88, №9-№16 – на основе ПВС 17-99, №1-4 и №9-12 – степень наполнения ПВС 25 мас.%, №5-8 и №13-16 – степень наполнения ПВС 50 мас.%, №1, 5, 9, 13 – ПС- крахмал, №2, 6, 10, 14 – ПС – микроцеллюлоза, №3, 7, 11, 15 – ПС - декстрин, №4, 8, 12, 16 – ПС – клетчатка кофе.

Основным фактором, оказывающим влияние на прочность и поведение композитов в водной среде, является размер частиц наполнителя и его взаимодействие с водой. Среди исследуемых ПС размер частиц убывает в ряду КОФ – МЦ – КР – ДЕК, при этом параметры прочности в сухом и влагонасыщенном состоянии имеют схожие значения для группы наполнителей с частицами размером более 10 мкм (КОФ, МЦ) и группы наполнителей с частицами менее 10 мкм (КР, ДЕК).

Список литературы

1. Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В. Особенности высоконаполненных композитов на основе различных марок поливинилового спирта // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83. № 1 (87). С. 316-322

2. Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Репин П.С., Зуева Н.В., Матвеева А.В., Мельников А.А. Особенности гидролитической и ферментативной деструкции материалов на основе поливинилового спирта. Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2022. № 4 (86). С. 34-44.

УДК 691.17

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ
ВСПЕНИВАЮЩЕЙ И ВУЛКАНИЗУЮЩИХ СИСТЕМ
ПОРИСТЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ СКЭПТ
В УСЛОВИЯХ СИНЕРГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ**

А.М. Толстов¹, Ю.А. Наумова², А.С. Трусов¹

*¹ ООО «ГавариГрупп» - международный промышленный
технологический холдинг, Москва, Россия¹
contracts@gavarygroup.com*

*² «МИРЭА - Российский технологический университет»,
Москва, Россия, rector@mirea.ru*

Введение. В рецептуростроении пористых эластомерных материалов, в состав которых входит до двадцати различных ингредиентов, особое место занимают синергические системы [1]. Такие системы в первую очередь касаются вспенивающих агентов с кикерами разложения порофора и вулканизирующей группой с активаторами [2]. Зачастую кикерами порофора и активаторами вулканизации выступают одни и те же вещества – оксиды металлов и жирные кислоты. Основываясь на опыте авторов [3,4], которые подробно описали методы исследования синергического эффекта с помощью математического моделирования, в данной работе научно обоснованы результаты выбора концентраций поробразователя и активационной группы, участвующей также и в процессе вулканизации губчатых резин на основе СКЭПТ.

Объекты исследования. Изучались модельные композиции, включающие каучук СКЭПТ, порофор азодикарбонамид с активаторами оксидом цинка и стеариновой кислотой в различных соотношениях, при наличии вулканизирующей группы (молотая сера – 1 % мас. и ускорители диметилдитокарбамат – 1,5% мас. и дибутилдителиокарбамат – 1,5 % мас.) и без. Модельные композиции подвергали нагреву в лабораторном влагомере ML50.

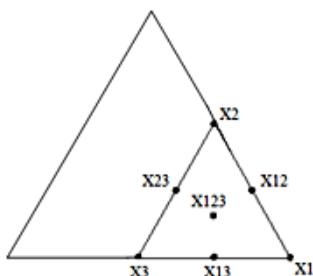


Рис. 1. Симплекс-решетчатый план Шеффе {3,3*}

Симплекс-решетчатый план Шеффе {3,3*} (рис. 1) позволяет графически при помощи диаграмм, в данном случае тройной, оценить сотни комбинаций трех ингредиентов синергической системы [5]. Массив данных был обработан на программных продуктах TableCurve и MathLab.

Результаты. Оценивали такие характеристики как максимальная скорость процесса разложения порофора и степень завершенности процесса разложения порофора, что наглядно проиллюстрировано на диаграммах (рис. 2).

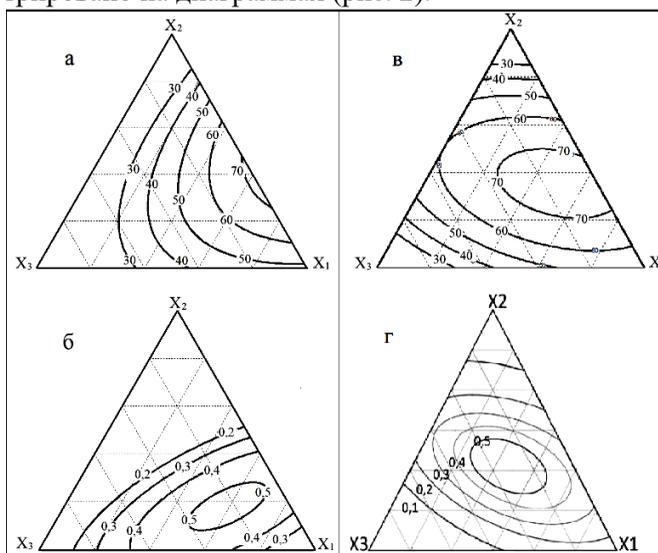


Рис. 2. Диаграммы Шеффе: степень разложения порофора, % (а,в); максимальная скорость разложения порофора (мин^{-1}) (б,г) в зависимости от соотношения компонентов в системе порообразователь X1 – активатор X2 – активатор X3 в сочетании с вулканизирующей системой (в,г) и без (а,б).

Заключение. Благодаря математической обработке данных удалось сократить практический эксперимент сохранив высокую степень адекватности результатов. Всего 8 модельных эластомерных композиций позволили оценить действия кикеров на процесс терморазложения азодикарбонамида для систем с вулканизирующей группой и без. В процессе вспенивания эластомерной матрицы возможно снизить долю вспенивателя от 16 до 12 %, что позволит существенно снизить себестоимость рецептуры, при соотношении активаторов в рецептуре: оксид цинка – стеариновая кислота как 3% и 2 %, соответственно, при этом обеспечив высокую степень терморазложения порофора и скорость реакции.

Список литературы

1. Джона С. Дик. Технология резины: рецептуростроение и испытания [Текст] / под ред. Джона С. Дика; пер. с англ. под ред. Шершнева В. А. – М.: Научные основы и технологии (НОТ), 2010.

2. Марков А.В. «Влияние технологических добавок на вспенивание жестких поливинилхлоридных композиций азодикарбонамидом» [Текст] / Марков А.В., Тахсин А. Саки // Вестник МИТХТ. 2014– Т.9, № 3 – С. 79-80.

3. Агаянц И.М. Идентификация, анализ и формирование технологических ситуаций в резиновой промышленности [Текст]: дис. док. тех. наук: 05.17.08 защищена 6.02.1990. утв. 6.02.1991 / Агаянц Иван Михайлович. – М., 1991. – 554 с.

4. Наумова Ю.А. Синергические системы в многокомпонентных эластомерных материалах: идентификация, анализ, формирование [Текст]: дис. док. тех. наук: 05.17.06 защищена 23.12.2013, утв. 10.07.2014 / Наумова Юлия Анатольевна. – М., 2014. – 43 с. – Библиогр.: с. 14- 16 с.

5. Роль технологических факторов в формировании структуры открытопористых вспененных материалов на основе этиленпропилен-диеновых сополимеров путем компрессионного формирования [Текст] / А. М. Толстов [и др.] // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2024. – Т. 9, №29. – С. 42-50.

УДК 678.049

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ СИЛАНОВОГО СВЯЗУЮЩЕГО АГЕНТА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Е. В. Федулова¹, Ж. С. Шашок², Е. П. Усс²

*¹ОАО «Белшина», Бобруйск, Республика Беларусь
belshina@belshina.by*

²УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь

Для повышения эксплуатационных характеристик легковых шин, таких как сопротивление качению и сцепление с мокрой дорожной поверхностью необходимо применение резин с высоким содержанием кремнекислотных наполнителей. Оптимальное усиление может быть достигнуто только в том случае, если наполнитель хорошо диспергирован в полимерной матрице. Однако применение кремнекислотных наполнителей влечет много трудностей из-за большого различия полярности между каучуком и силикой [1]. С целью улучшения совместимости каучука и кремнекислотного наполнителя используются органосиланы в качестве сшивающего агента [2]. Существенное преимущество органосиланов состоит в том, что их молекулы бифункциональны, т.е. способны химически реагировать как с кремнекислотным наполнителем, так и с полимером [3].

Цель работы – исследование влияния силановых связующих агентов на изменение технологических свойств модельных наполненных резиновых смесей.

Объектами исследования являлись наполненные эластомерные композиции на основе комбинации растворного бутадиен-стирольного каучука марки ДССК-621В и натурального каучука TSR-20 (в соотношении 75 : 25). В состав резиновой смеси вводился высокоусиливающий кремнекислотный наполнитель марки LKHD165MP и органосиланы марок:

– Crosile-69 – бис-(3-триэтоксисилилпропил) тетрасульфидсилан;

- Crosile-75 – бис-(3-триэтоксисилилпропил)-дисульфидсилан;
- Crosile-963 – 3-меркаптопропил-ди-(три-декан-1-окси-13-пента(этиленоксид))этоксисилан;
- Crosile-966 – 3-октаноил-тио-1-пропилтри-этоксисилан.

Определено, что использование органосиланов различного строения в составе эластомерных композиций на основе ДССК-621В оказывает незначительное влияние на вязкость по Муни резиновых смесей (изменение вязкости составляет не более 4 усл. ед. Муни). Результаты исследования когезионной прочности эластомерных композиций показали, что наибольшие значения показателя прочности невулканизированной смеси имеют композиции с органосиланами марок Crosile-69 и Crosile-75. Наиболее существенное влияние природы силанового связующего агента установлено при определении стойкостью к подвулканизации. Установлено, что, чем больше фрагментов серы содержится в составе органосилана, тем быстрее начинается процесс подвулканизации.

Установленный характер изменения основных пластоэластических свойств резиновых смесей ссилановыми связующими различного строения обусловлен, прежде всего, полнотой протекания реакции гидрофобизирования поверхности наполнителя в процессе смешения, что способствует уменьшению взаимодействия наполнитель-наполнитель и увеличению взаимодействия наполнитель-полимер. Характер изменения стойкости к подвулканизации смесей подвулканизации может быть связан с действием органосилана как ускорителя вулканизации или донора серы, что и уменьшает стойкость смесей к преждевременной вулканизации.

Список литературы

1. Пичугин, А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин / А. М. Пичугин. – М. : Научное издание, 2008. – 383 с.
2. Гришин, Б. С. Теория и практика усиления эластомеров. Состояние и направления развития / Б. С. Гришин. – Казань : КНИТУ, 2016. – 420 с.
3. Comparison of reinforcing efficiency between Si-69 and Si-264 in an efficient vulcanization system / P. Sae-oui [et al.] // Polymer Testing., Vol. 24, no. 4. – 2005. – P. 439–446.

УДК 681.51

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СТРУКТУРИРОВАНИЯ МАКРОМОЛЕКУЛ В ПРОЦЕССАХ
СИНТЕЗА ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ**

И.А. Хаустов, А.А. Хвостов, К.А. Батурин

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
haustov_ia@mail.ru*

Термоэластопласты представляют собой уникальные полимерные материалы, сочетающие свойства пластиков и эластомеров. Их широко применяют в автомобильной, дорожно-строительной промышленности, медицинской сфере, товарах массового производства и др.

На сегодняшний день в Российской Федерации производство термоэластопластов ведется на АО «Воронежсинтезкаучук» начиная с 80-90-х годов. Мощность производства постоянно возрастает с 50 тыс. тонн в год в 2013 г до 135 тыс. тонн в год в настоящее время.

Несмотря на высокий технический уровень современного производства, существует потребность получения продукции более высокого качества и комплексный переход на цифровое производство. В этой связи разработка системного подхода и методов моделирования этапов производств ТЭП позволит создать их цифровые двойники и использовать их как минимум в системах поддержки принятия решений по управлению качеством или полностью перейти на автоматические системы цифрового управления.

Для моделирования первых этапов синтеза — инициации и сополимеризации — получения двублочного сополимера — был использован кинетический подход, который подробно описан в работах. [1-3]. В исследованиях получены оценки кинетических констант скорости инициирования и роста полимерных молекул. Итогом математического моделирования стало получение фрак-

ционного состава в динамике на всех этапах синтеза двублочника (рис. 1). С другой стороны одним из ключевых факторов, определяющих свойства термоэластопластов и других эластомеров, является молекулярно-массовое распределение (ММР), которое комплексно характеризует их качество и фракционный состав.

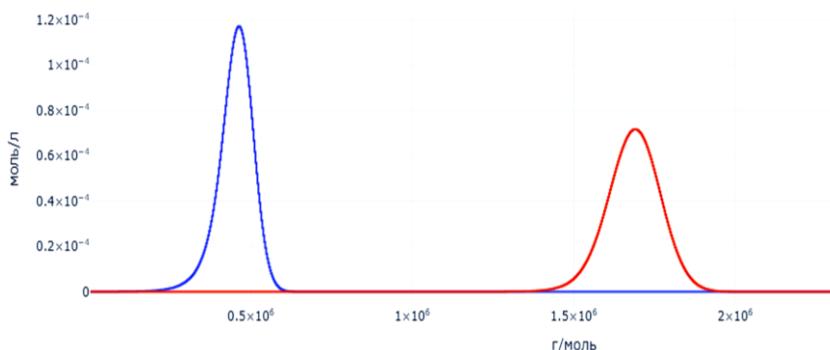


Рис. 1. Результаты моделирования при получении двублочника

На рисунке 1 представлены фракционные составы полистироллития (первый блок – выделен синим цветом) и полистиролполибутадиенлития – двублочного сополимера (выделен красным).

При получении ТЭП звездообразной структуры завершающей стадией синтеза является этап структурирования макромолекул. В качестве сшивающего агента в промышленном производстве используется тетрахлорид кремния. В результате химической реакции получают высокомолекулярный полимер звездообразной формы, которая имеет в идеале четырехлучевую структуру. Процесс структурирования до сих пор глубоко не изучен. Особый интерес для изучения представляет случайный характер протекания химических реакций. Кроме того процесс образования сшитых макромолекул (получение молекул с 2, 3, 1 концевой группой в результате частичной дезактивации сшивающего агента также представляет научный интерес.

В этой связи разработан алгоритм имитационного моделирования, который в отличие от ранее полученных [4] позволяет производить компьютерное моделирование процесса структури-

рования двухблочного полимера при различных концентрациях сшивающего агента: при недостатке сшивающего агента преобладают несшитые структуры, при стехиометрическом соотношении формируются макромолекулы с топологией четырехлучевой звезды, при избытке — преимущественно фракции макромолекул с 1–3 непрореагировавшими ионами хлора. Отличительной особенностью полученного алгоритма моделирования является получение результатов независимо от соотношения концентрации сшивающего агента и двухблочного сополимера. Имитация процесса сшивки реализуется с использованием стохастического подхода, при котором случайным образом из всей совокупности макромолекул двублочника и сшивающего агента формируется выборка, состоящая из пары: макромолекулы и агента сшивки. В начале процесса каждая молекула сшивающего агента имеет 4 иона хлора, способных вступать в реакцию, и с каждым шагом итерации моделирования отслеживается количество прореагировавших атомов. После формирования всех возможных комбинаций сшивки макромолекула сшитого полимера считается неактивной, а остальные продолжают участие в реакции. Итоговое распределение формируется путём агрегации полученных структур, что позволяет учитывать как массу, так и топологию каждой макромолекулы. На рисунке 2 показаны варианты фракционного состава сшитых макромолекул при соотношении концентрации сшивающего агента и двублочника соответственно 0, 25 (рис. 2, красным цветом) и 0,3 (рис. 2, синим цветом). В последнем эксперименте наблюдается расширение ММР т.е. присутствуют фракции с непрореагировавшими ионами хлора. Это соответствует физическому представлению фракционного состава при условии избытка концентрации сшивающего агента.

Представленный подход к имитационному моделированию при наличии достаточного набора экспериментальных данных в виде ММР полимера на всех этапах его синтеза позволяет оценить вероятность образования макромолекул различных структур при различном соотношении компонентов химической реакции, что, несомненно, будет полезным при управлении данным процессом.

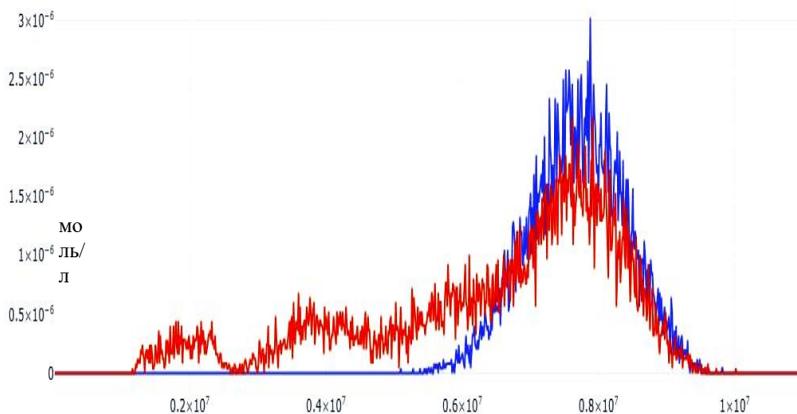


Рис. 2. Результаты компьютерного моделирования процесса структурирования двублочника

Список литературы

1. Тихомиров, С.Г. Использование математической модели для оценки концентрации активных центров полимеризации в начале процесса синтеза термоэластопластов / С.Г. Тихомиров, И.А. Хаустов, М.Л. Моторин // Вестник ВГТА – 2011. – №6(48). – С.38-41.

2. Математическое моделирование синтеза термоэластопластов с учетом реакции иницирования и влияния вязкости среды на порядок реакции/ В.К. Битюков, С.Г. Тихомиров, И. А. Хаустов, М.Л. Моторин // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – № 3.2 (45).– С. 216-220.

3. Оптимизация процесса синтеза термоэластопластов с использованием методик определения начальной температуры полимеризации/ В.К. Битюков, С.Г. Тихомиров, И.А. Хаустов, М.Л. Моторин // Вестник ВГУИТ. — 2010. №2(44). – С. 64-68.

4. Система управления анионной полимеризацией с контролем качества по ММР/ В.К. Битюков, С.Г. Тихомиров, И.А. Хаустов, М.Л. Моторин // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – №4(46). – С. 73-78.

УДК 620.179.13

СИНТЕЗ ТЕПЛОВЫХ ПОРТРЕТОВ НАЗЕМНЫХ МИН НА ОСНОВЕ ИХ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

И.А. Хаустов¹, А.В. Иванов¹, В.А. Хвостов²

*¹Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
haustov_ia@mail.ru*

*²Воронежский государственный университет,
Воронеж, Россия, vitkhv2007@gmail.com*

Развитие беспилотной авиации привело к расширению сфер применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Одним из примеров является дистанционный мониторинг состояния земной поверхности на наличие опасных объектов (мин, остатков БЛА и др.) [1]. Ввиду большой доли композитных материалов, используемых при изготовлении мин, реализация методов электромагнитного зондирования затруднена, а запылённость или задымление воздуха, перекрытие мин растительностью снижает эффективность оптических методов обнаружения. Одним из способов обнаружения является тепловизионный метод, основанный на оценке температурного контраста объекта при изменении температуры окружающей среды [2,3]. Для обучения систем распознавания объектов необходима представительная выборка тепловых портретов мин. Для ускорения и удешевления процесса синтеза тепловых портретов можно использовать цифровой 3D двойник объекта и математические модели, описывающие основные процессы теплопереноса в объекте и механизмы теплообмена с окружающей средой.

Цель работы разработать цифровой двойник для получения теплового портрета наземной мины. Расчётная схема представлена на рис. 1а. D_1 – домен, соответствующий грунту, D_2 – домен элементов мины, Γ_1 – теплоизолированные поверхности, Γ_2 – поверхности конвективного охлаждения (нагрева), Γ_3 – границы контакта компонентов модели.

Система допущений: грунт – несжимаемая пористая среда без течения флюида; флюид является двухфазной системой «жидкость-газ» без фазовых переходов; межфазный теплоперенос, теплоперенос между фазами и твердым каркасом отсутствует; боковые и нижняя поверхности фрагмента грунта теплоизолированы; теплообмен верхней поверхности с окружающей средой происходит по конвективному механизму.

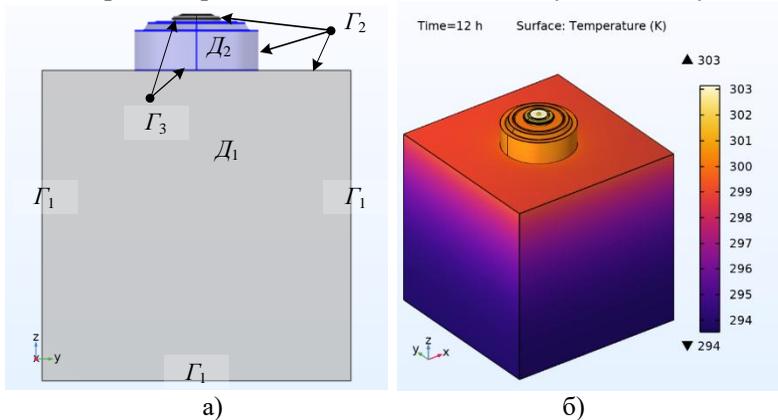


Рис. 1 Расчетная схема (а), температурное поле поверхности (б)

Уравнения сохранения энергии имеют вид

$$\begin{cases} (\rho c_p)_{eff} \frac{\partial T_g}{\partial t} = \nabla \lambda_{eff} T_g, \\ \rho_{o,i} c_{po,i} \frac{\partial T_{o,i}}{\partial t} = \nabla \lambda_{o,i} T_{o,i}, i = \overline{1..N}, \end{cases}$$

где t – время, с; $T_g, T_{o,i}$ – температуры пористой среды и составных элементов мины, К; i – номер элемента; N – число элементов;

$(\rho c_p)_{eff}, \rho_{o,i}$ – эффективные плотность и теплоемкость пористой среды и составных элементов мины, Дж/(кг·К), кг/м³; $c_{o,j}$ – изобарная удельная массовая теплоемкость и составных элементов мины, Дж/(кг·К); $\lambda_{eff}, \lambda_{o,j}$ – теплопроводности пористой среды и составных элементов мины, Вт/(м·К).

$$(\rho c_p)_{eff} = \varepsilon_p \rho_f c_{pf} + \theta \rho_s c_{ps} = \varepsilon_p (\theta_w \rho_w c_{pw} + \theta_a \rho_a c_{pa}) + \theta \rho_s c_{ps}$$

$$\lambda_{eff} = \varepsilon_p \lambda_f + \theta \lambda_s = \varepsilon_p (\theta_w \lambda_w + \theta_a \lambda_a) + \theta \rho_s c_{ps}$$

где ε_p - порозность; ρ_f - плотность флюида, кг/м³; c_{pf} - изобарная удельная массовая теплоемкость флюида, Дж/(кг·К); $\theta = 1 - \varepsilon_p$ – объемная доля твердого каркаса пористой среды; ρ_s – плотность твердого каркаса пористой среды, кг/м³; θ_w, θ_a – объемные доли фаз w и a в пористой среде; ρ_w, ρ_a – плотности фаз w и a , кг/м³; c_{pw}, c_{pa} – изобарные удельные массовые теплоемкости фаз w и a , Дж/(кг·К), λ_w, λ_a – теплопроводности фаз w и a , кг/м³, Вт/(м·К).

Начальные условия $T_g|_{t=0} = T_{o,i}|_{t=0} = T_{st}$, где T_{st} - начальная температура сопряженной системы, К. Граничные условия на Γ_1 :

$$\left. \frac{\partial T_g}{\partial \bar{n}} \right|_{\Gamma_1} = 0, \text{ на } \Gamma_2: -\lambda_{eff} \left. \frac{\partial T_g}{\partial \bar{n}} \right|_{\Gamma_2} = \alpha (T_g|_{\Gamma_2} - T_\infty), \text{ где } \bar{n} - \text{единичный}$$

нормальный к поверхности вектор, α – коэффициент теплоотдачи от поверхности изделия к окружающей среде, Вт/(м²·К), T_∞ –

температура окружающей среды, на Γ_3 : $T_g = T_{o,i}, \lambda_{eff} \frac{\partial T_g}{\partial \bar{n}} = \lambda_{o,i} \frac{\partial T_{o,i}}{\partial \bar{n}}$.

Разработанный цифровой двойник мины позволит синтезировать тепловые портреты (рис. 1б) расположенных на поверхности мин в нестационарных условиях теплообмена с окружающей средой.

Список литературы

1. Dr. Javad Haddadnia, Hossein Ghayoumi Zadeh The new trends in the application of thermography science for diagnostic purposes / Supreme Cen-tury; Reseda, CA, USA 2016.

2. Baur, Jasper; Steinberg, Gabriel; Nikulin, Alex; Chiu, Kenneth; de Smet, Timothy S. (2020). Applying Deep Learning to Automate UAV-Based Detection of Scatterable Landmines. Remote Sensing, 12(5), 859–. doi:10.3390/rs12050859.

3. Deans J., Gerhard J., Carter L.J. Analysis of a thermal imaging method for landmine detection, using infrared heating of the sand surface Infrared Physics & Technology Vol. 48, Issue 3, 2006, p. 202–216.

УДК 678.7

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНОГО СОПОЛИМЕРА ИЗОПРЕНА СО СТИРОЛОМ

Е. Д. Хлабыстов^{1,2}, А. В. Фирсова¹, В. А. Седых²

*¹Воронежский филиал ФГБУ «Научно-исследовательский институт синтетического каучука имени академика С.В. Лебедева», Воронеж, Россия
e.hlabystov@ya.ru*

²Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

Низкомолекулярные полимеры (НМП) нашли своё широкое применение в промышленности в качестве присадок для масел, модифицирующих добавок, пластификаторов, компонентов клеевых составов [1]. Среди данного вида полимерных продуктов особенно выделяются низкомолекулярные продукты полимеризации диенов и сополимеризации диенов со стиролом. Анионной полимеризацией могут быть получены полимеры с различной макроструктурой (статистические, блок-сополимеры, градиентные сополимеры, разветвлённые, линейные и т.д.) и микроструктурой (низковинильные, высоковинильные), что даёт возможность использовать данный метод для получения широко ассортимента НМП. При этом практическое значение имеет определение реологического поведения жидких полимеров для расчёта параметров технологического оборудования.

Объектом исследования является сополимер изопрена со стиролом с содержанием последнего 17,5 % в виде статистически распределённых звеньев (отсутствие блочности подтверждено методом ЯМР), полученные анионной полимеризацией в растворе с применением *n*-бутиллития и электронодонорной добавки. Молекулярная масса сополимера (M_w) составляет 30500 г/моль, $M_w/M_n = 1,15$, содержание 1,2- и 3,4- звеньев в сумме равно 14,3%.

Данный полимер получен на опытном заводе Воронежского филиала НИИСК.

Исследование реологических характеристик проводили на вискозиметре Гепплера с надавливающим шариком, подключённым к термостату. Конструкцией прибора предусмотрена возможность измерять вязкость при различном сдвиговом напряжении. Расчет вязкости проводили по формулам, приведённым Никулиной и Влодавец [2].

При изучении вязкости установлена слабая зависимость вязкости от скорости сдвига, что указывает на слабо выраженный эффект псевдопластичности, характерный для полимеров как неньютоновской жидкости. Явление псевдопластичности более выражено при низкой температуре искажает результаты в пределах 1-2 % от расчётного значения. Однако однозначной зависимости вязкости от скорости сдвига не установлено.

Также не отмечалось изменение показателя динамической вязкости при повторных измерениях, что говорит об отсутствии образования надмолекулярных структур (тиксотропности).

Таким образом конечное уравнение для расчета вязкости изученного сополимера в интервале от 20 до 100 °С имеет следующий вид:

$$\eta = 180,13 \cdot e^{\frac{7885}{RT}} \cdot e^{-0,067 \cdot (T-273,15)} [\text{Па} \cdot \text{с}],$$

где 7202 – энергия активации вязкого течения Дж/моль, R – универсальная газовая постоянная Дж/моль·К, T – абсолютная температура, К.

Список литературы

1. Аксёнов В.И. Получение низкомолекулярных синтетических каучуков: восстановление утерянного и современные возможные направления развития // Промышленное производство и использование эластомеров. – 2023. - № 2. - С. 3-15.

2. Об измерении эффективной вязкости аномально-вязких жидкостей с помощью вискозиметров, основанных на скольжении или качении шарика вдоль стенки цилиндра / Т.Ф. Никулина, И.Н. Влодавец // Коллоидный журнал. - 1971. - Т.31. №3. - С.424-428.

УДК 678.04(043.3)

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ВУЛКАНИЗАТОВНА ОСНОВЕ ГАЛОГЕНИРОВАННЫХ КАУЧУКОВ

*Ж.С. Шашок¹, Е.П. Усс¹, О.А. Кротова¹, А.В. Лешкевич¹,
Ю.В. Грабко², С.Н. Каюшников²*

*¹УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь, root@belstu.by
²ОАО «Белшина», Бобруйск, Республика Беларусь
belshina@belshina.by*

Применение галогенированных бутилкаучуков в составе герметизирующего слоя является наиболее целесообразным для удовлетворения основных эксплуатационных требований к данному элементу шины. Галобутилы, по сравнению с каучуками общего назначения, имеют в 7–8 раз меньшую воздухопроницаемость и в 11–13 раз – меньшую влагопроницаемость. Низкую проницаемость галобутилов объясняют наличием большого количества метильных групп, перекрывающих друг друга, а также линейным строением молекулярной цепи, обеспечивающим плотную молекулярную упаковку, которая препятствует диффузии газов [1]. Хлорбутилкаучук и бромбутилкаучук характеризуются рядом достоинств и недостатков, при этом выбор конкретного полимера должен основываться не только на экономических расчетах, но и на конкретных требованиях к переработке резиновых смесей и изготовлению изделия.

Целью работы являлось определение влияния природы галогенированных бутилкаучуков на пространственную структуру вулканизатов.

В качестве объектов исследования использовались резиновые смеси на основе хлорбутилкаучука ХБК-139 и бромбутилкаучука ББК-232. Эластомерные композиции различались содержанием оксида магния, дозировка которого составляла 0,15; 0,30 и 0,50 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. Вулканизация резиновых смесей проводилась при температурах 143, 153 и 163 °С. Опреде-

ление показателей пространственной структуры вулканизатов проводилось методом равновесного набухания [2].

В результате исследований установлено, что структура резин на основе различных марок галогенированных бутилкаучуков несколько различается. Для резин, полученных при температуре вулканизации 143 °С, определено, что средняя молекулярная масса длины отрезка больше для вулканизатов на основе хлорбутилкаучука по сравнению с вулканизатами на основе бромбутилкаучука. В соответствии с этим плотность сшивания выше у резин на основе бромбутилкаучука по сравнению с резинами на основе хлорбутилкаучука. В данном случае увеличение дозировки оксида магния приводит к получению более плотной структуры вулканизационной сетки. Определено, что с увеличением дозировки оксида магния плотность сшивания для композиций на основе хлорированного бутилкаучука увеличивается с $2,03 \cdot 10^{-4}$ до $2,29 \cdot 10^{-4}$ моль/см³, а для резин на основе бромированного бутилкаучука плотность поперечного сшивания увеличивается с $2,29 \cdot 10^{-4}$ до $2,49 \cdot 10^{-4}$ моль/см³.

Установлено, что резины на основе галогенированных бутилкаучуков, полученных при вулканизации при температуре 153°С, имеют несколько большие значения молекулярной массы отрезка цепи, чем резины, полученные при температуре 143 °С. При этом значения указанного показателя для резин из хлорбутилкаучука больше, чем для резин из бромбутилкаучука. Так, величина средней молекулярной массы для хлорированного каучука находится в пределах 5382,0–6014,2 кг/моль, а для бромированного – 4829,0–5309,0 кг/моль. Выявлено, что вулканизаты на основе бромбутилкаучука характеризуются большим количеством поперечных связей по сравнению с вулканизатами на основе хлорбутилкаучука. Следует отметить, что для резин на основе галогенированных бутилкаучуков значение указанного показателя увеличивается при повышении дозировки оксида магния. При этом для хлорбутилкаучука данный показатель изменяется на 10,5 %, а для бромбутилкаучука – на 9,0 %.

Результаты исследования показали, что наибольшие значения средней молекулярной массы отрезка цепи характерны для вулкани-

затов, полученных при температуре вулканизации 163 °С (6168,0 кг/моль – для хлорбутилкаучука и 5503,8 кг/моль – для бромбутилкаучука). В соответствии с этим для исследуемых марок галогенированных бутилкаучуков при указанной температуре вулканизации наблюдаются наименьшие значения показателя количества поперечных связей ($0,908 \cdot 1020 \text{ см}^3$ – для резин на основе хлорбутилкаучука с дозировкой оксида магния 0,15 мас. ч. и $1,018 \cdot 1020 \text{ см}^3$ – для резин на основе бромбутилкаучука с минимальной дозировкой оксида магния). При увеличении содержания оксида магния повышается количество поперечных связей. Соответственно, значения показателя плотности сшивания увеличиваются с повышением дозировки указанного ингредиента. В данном случае при увеличении дозировки оксида магния с 0,15 до 0,50 мас. ч. плотность сшивания для композиций на основе хлорбутилкаучука повышается на 16,6 %, а для бромбутилкаучука – на 10,9 %.

Характер изменения прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве обусловлен длиной и природой поперечных связей, а именно способностью к термическому распаду слабых полисульфидных связей, что может инициировать термоокислительную деструкцию [3], и возможностью к перераспределению напряжений внутри эластомерной матрицы под воздействием приложенной нагрузки.

Полученные данные свидетельствуют о причинах различия упруго-прочностных свойств резин на основе галогенированных бутилкаучуков, обусловленных формированием пространственной сетки резин различной структуры и плотности.

Список литературы

1. Пичугин А.М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин. – М.: Машиностроение, 2008. – 383 с.
2. Аверко-Антонович, И. Ю. Методы исследования структуры и свойств полимеров / И. Ю. Аверко-Антонович, Р. Т. Бикмуллин. – Казань : КГТУ, 2002. – 604 с.
3. Жовнер, Н. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров: учебн. пособие / Н. А. Жовнер, Н. В. Чиркова, Г. А. Хлебов. – Омск: Филиал Рос-ЗИТЛП, 2003. – 276 с.

УДК 678.046.1

ВОЗМОЖНОСТЬ ЗАМЕНЫ БУТИЛКАУЧУКА НА БУТИЛОВЫЙ РЕГЕНЕРАТ

Чен Ян, С.В. Фомин, Е.С. Широкова

*Вятский государственный университет,
Киров, Россия
rubber@vyatsu.ru*

Первичные каучуки (натуральный и синтетические), применяемые в качестве полимерной основы резин являются весьма дорогим сырьем. Но, как известно без каучуковой фазы невозможно представить себе получение резин – уникальных материалов, обладающих высокоэластическими свойствами в диапазоне температур эксплуатации. Для того, чтобы оценить объемы мирового потребления резин можно воспользоваться объемом производства синтетических (порядка 30 миллионов тонн) и натурального (порядка 6 миллионов тонн) каучуков. С учетом того, что в резинах каучуковая фаза может варьироваться в достаточно широких пределах, для оценочных цифр можно принять эту величину примерно за 50% от общей массы резины. Тогда с учетом этих примерных оценок мировое потребление различных резин составит более 70 миллионов тонн в год. Такие громадные объемы производимой продукции требуют серьезных усилий по их утилизации и/или вторичной переработке.

Методы переработки вулканизатов резин в пластичный вторичный материал – резиновый регенерат – давно разработаны, имеют широкое разнообразие и активно применяются в промышленности [1-9]. В настоящей работе были проведены исследования по возможности замены части первичных каучуков на вторичный регенерат. Данный подход, в случае успеха, позволит снизить потребление первичного каучука, утилизировать уже существующие накопленные запасы резиновых отходов и снизить стоимость конечной продукции.

В качестве объектов исследования в работе использовали стандартные составы на основе бутилкаучука (марки БК-1675).

Бутилкаучук, относящийся к каучукам специального назначения, содержит от 0,6 до 2,5 % непредельных звеньев, что требует применения активных вулканизирующих систем, длительного времени и высокой температуры вулканизации. В свою очередь, малая непредельность способствует более высокой стойкости бутилкаучука к тепловому, озонному и другим видам старения. Составы стандартных резиновых смесей, использованных в настоящей работе, соответствовали рекомендованным в литературе [10].

Для замены первичного каучука в работе использовали регенерат производства индийской компании GRP, получаемый из резин основе бутилкаучука GRP BR175.

Вулканизацию образцов резин проводили в условиях, соответствующих оптимуму, для чего предварительно оценивали кинетику вулканизации и стойкость к преждевременной вулканизации.

Зависимость свойств резин на основе бутилкаучука от количества регенерата, вводимого для замены первичного каучука, приведены в таблице.

На основании полученных экспериментальных данных были сделаны следующие выводы об изменении свойств резиновых смесей и вулканизатов при замене первичного каучука БК-1675 на регенерат GRP BR175:

1. Технологические свойства, связанные с вязкостью резиновых смесей, увеличиваются с увеличением содержания GRP BR175.

2. Технологические свойства, связанные с кинетикой вулканизации, такие как время достижения 10, 90% степени вулканизации, уменьшаются с увеличением содержания GRP BR175.

3. Эксплуатационные свойства резин, характеризующие работоспособность в статических условиях, такие как напряжение при 100% удлинении, твердость по Шору А, сопротивление раздиру, улучшаются с увеличением содержания GRP BR175.

4. Эксплуатационные свойства резин, характеризующие работоспособность в условиях многократного нагружения, такие как динамическая выносливость, уменьшаются с увеличением содержания GRP BR175; эластичность, практически, не изменяется.

5. Стойкость к термическому старению улучшается с увеличением содержания GRP BR175.

Указанные изменения свойств связаны, по-видимому, с тем, что при замене первичного каучука на регенерат увеличивается суммарное содержание наполнителей, серы, ускорителей и противостарителей в композиции, а также повышается дефектность каучуковой фазы.

Таблица. Свойства резин, содержащих регенерат, получаемый из резин основе бутилкаучука GRP BR175 для замены бутилкаучука марки БК-1675

Свойства резиновых смесей и резин	Содержание GRP BR 175, мас.ч.			
	0	20	30	50
Технологические свойства				
Вязкость по Муни	82,99	90,34	90,25	100,33
S':TS10	9,17	7,28	7,47	6,1
S':T90%	20,26	17,15	19,16	19,01
S':Delta Cure	14,93	16,13	16,52	18,22
Эксплуатационные свойства до старения				
Напряжение при 100% удлинении, МПа	3,7	4,3	4,9	5,8
Прочность при растяжении, МПа	9,6	10,2	9,6	9,0
Относительное удлинение при разрыве, %	300	300	250	190
Эластичность, %	7,30	7,00	7,00	7,00
Твердость по Шору А	68	72	73	77
Сопротивление раздиру, кгс/см	25	33	41	39
Динамическая выносливость, тыс. циклов	14,50	23,25	1,25	0,00*
Эксплуатационные свойства после старения (160°C)				
Напряжение при 100% удлинении, МПа	1,1	1,7	2,1	2,6
Прочность при растяжении, МПа	5,2	6	6,3	5
Относительное удлинение при разрыве, %	650	470	250	250

Список литературы

1. Zeng Haiquan and others. The latest progress in the application of ultrasound in rubber regeneration // *Applied Acoustics*, 2002, 21 (2): 35-49
2. Luo Peng, Lian Yongxiang, Experimental Study on Microwave Regeneration of Waste Rubber // *Rubber Industry*, 1996, 43 (12) 733~736
3. Zhang Jingquan, Wang Jinggang, Research on Grinding Degree of Old Tires at Room Temperature, *Environmental Engineering Cheng*, 2003, 21 (1) 53~55
4. Dong Chengchun Microwave desulfurization method for producing regenerated rubber // *Special Rubber Products*, 2003, 24 (5): 10~17
5. L. Moulton-patterson, C. Peace, and M. Leary, Contractor's Report to the Board Evaluation of Waste Tire Devulcanization Technologies, no. 1. 2004.
6. Y. Li, A. Shen, Z. Lyu, S. Wang, K. Formela, and G. Zhang, Ground tire rubber thermo-mechanically devulcanized in the presence of waste engine oil as asphalt modifier // *Constr. Build. Mater.*, vol. 222, pp. 588–600, 2019.
7. O. Marchut-Mikołajczyk, P. Drożdżyński, B. Januszewicz, J. Domański, and K. Wrześniewska-Tosik, Degradation of ozonized tire rubber by aniline – Degrading *Candida methanosorbosa* BP6 strain // *Hazard. Mater.*, vol. 367, no. August 2018, pp. 8–14, 2019.
8. V. Tatangelo et al., Microbial desulfurization of ground tire rubber (GTR): Characterization of microbial communities and rheological and mechanical properties of GTR and natural rubber composites (GTR/NR) // *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 160, no. 2019, pp. 102–109, 2019.
9. J. Canãvate, X. Colom, M. R. Saeb, M. Przybysz, L. Zedler, and K. Formela, Influence of microwave treatment conditions of GTR on physico-mechanical and structural properties of NBR/NR/GTR Composites // *Afinidad*, vol. 76, no. 587, pp. 171–179, 2019.
10. Кошелев Ф.Ф., Корнев А.Е., Буканов А.М. Общая технология резины. – Изд. 4-е, перераб. И доп. – М.: Химия, 1978. – 528 с.

Секция 3.

«Экологическая безопасность и ресурсосбережение в химической технологии»

УДК 544.723

**АДСОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ САФРАНИНА
ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ
МОДИФИЦИРОВАННЫМИ БЕНТОНИТАМИ**

О.В. Атаманова, А.С. Абрамова, Н.Д. Проказов

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия
O_V_Atamanova@mail.ru*

Производственные технологии в разных областях индустрий способствуют загрязнению сточных вод предприятий всевозможными поллютантами. Одним из загрязнителей стоков фармацевтических, химических, текстильных и др. производств является основной диазиновый краситель сафранин ($C_{20}H_{19}N_4Cl$).

Одним из наиболее эффективных методов извлечения органических соединений из водных сред считается метод адсорбции [1], а к числу наиболее перспективных сорбционных материалов следует отнести бентонит, модифицированный в соответствии с разными технологиями.

Учеными Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. были реализованы исследования процесса адсорбции из модельных растворов сафранина несколькими модификациями бентонита: 1) бентонитом, модифицированным углеродными нанотрубками, гранулированным и обожженным при температуре $550^{\circ}C$ (БМУНТ); 2) бентонитом, гранулированным, обожженным при температуре $550^{\circ}C$ и гидрофобизированным (БГ). Исходные концентрации сафранина в модельных растворах принимались $C_0=10, 20, 40, 60, 80, 100, 200 \dots 1000$ мг/дм³.

Лабораторными исследованиями в статических условиях были получены адсорбционные характеристики процесса извлечения органического красителя из модельных водных растворов. Изотермы адсорбции сафранина приведены на рисунке.

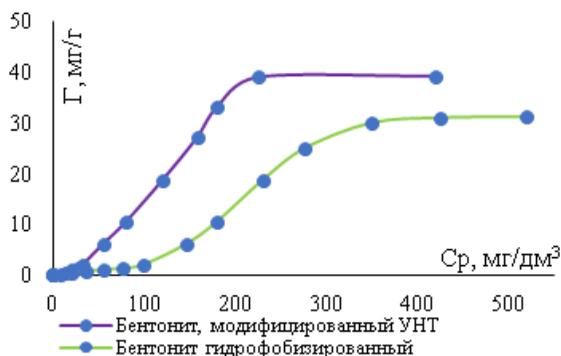


Рисунок. Изотермы адсорбции сафранина на разных сорбционных материалах в статических условиях

Полученные значения статической обменной ёмкости, коэффициента межфазного распределения и степени адсорбционно-го извлечения сафранина указанными модификациями бентонита приведены в таблице.

Таблица. Адсорбционные характеристики

Вещество	Сорбент	COE , мг/г	K_d , дм ³ /мг	S , %
Сафранин	БМУНТ	$39,2 \pm 1,96$	$0,09 \pm 0,005$	$90,5 \pm 4,52$
	БГ	$31,2 \pm 1,56$	$0,06 \pm 0,003$	$60,1 \pm 3,01$

Выводы. Сафранин более эффективно (в 2 раза лучше) адсорбируется сорбентом БМУНТ, чем БГ, что можно объяснить высоким сродством сафранина к адсорбционным центрам, распределенным как в УНТ, так и на алюмосиликате.

Список литературы

1. Истрашкина М.В., Атаманова О.В., Тихомирова Е.И. Особенности адсорбции ароматических аминокислот на различных вариантах модифицированного бентонита // Изв. Самарского науч. центра Российской академии наук. 2016. Т. 18, № 2-2. С. 381-384.

УДК 66.067.8.081.3

ВОЗМОЖНОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА СМЕСИ ИОНООБМЕННИКОВ

Л.П. Бондарева, Т.Ю. Потапова, А.А. Санникова

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
larbon@mail.ru*

Минеральные примеси, содержащиеся в воде, с одной стороны мешают работе химических аппаратов, с другой стороны пагубно влияют на здоровье человека. Существуют различные методы очистки воды, в том числе ионообменный способ, используемый для умягчения, деминерализации, обескремнивания воды, выделения из водных растворов отдельных веществ. При ионообменной деминерализации, а именно деионизации воды обычно используют как минимум двухстадийную очистку с последовательным удалением растворенных катионов на катионообменниках, анионов – на анионообменниках. В настоящее время расширяется рынок ионообменных материалов смешанного типа, способных удалять ионы в одну стадию фильтрования и использоваться как на стадии первичной обработки, так и при получении сверхчистой воды. В ходе этого процесса вода обрабатывается в ионообменном слое, содержащем ионы водорода и гидроксил-ионы. Смесь катионообменной и анионообменной смол полностью заменяет катионы и анионы очищаемой воды на H^+ и OH^- , которые затем объединяются в молекулы воды и происходит полное обессоливание воды. Применение смол смешанного типа позволяет избежать двухступенчатой, то есть последовательной очистки воды от катионов и анионов.

В связи с вышесказанным целью настоящего исследования стало установление взаимного влияния катионов и анионов на характеристики ионного обмена смолы смешанного типа и установление глубины и качества деионизации воды при различном исходном ионном составе.

В работе использован ионит ядерного класса, состоящий из смеси сильноосновного анионита и сильнокислотного катионита

в регенерированной форме в соотношении 1:1. Изучали обмен катионов кальция, меди (II), железа (III) и хлорид-, нитрат-, сульфат-ионов из водных растворов. Изотермы ионного обмена получали методом переменных концентраций из растворов с концентрацией от $1 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³, описывали уравнением Ленгмюра и рассчитывали равновесные характеристики ионного обмена – сорбционную обменную емкость и коэффициент сорбционного равновесия. Поглощение ионов изучали в динамических условиях на стеклянной колонке диаметром 8 мм и высотой ионообменного слоя от 25 до 35 см. Концентрацию ионов в фильтрате и элюате определяли потенциометрическим и титриметрическим методами.

Изучен ионный обмен из однокомпонентных водных растворов солей сульфата железа (III), нитрата меди (II) и хлорида кальция. Полученные изотермы характеризуют локализованную мономолекулярную сорбцию. Установлено, что значения сорбционной емкости сравнимы для всех изученных анионов или катионов, коэффициенты ионного обмена для катионов железа и сульфат-ионов имеют наибольшие значения, для катионов кальция и хлорид-ионов – наименьшие.

Для выявления взаимного влияния ионов получены изотермы обмена катионов кальция, меди (II), железа (III) и хлорид-, нитрат-, сульфат-анионов из бинарных и тройных водных растворов солей. Изотермы ионного обмена из бинарных растворов характеризуют сорбцию на активных центрах. Определено, что ионный обмен из сложных растворов протекает в порядке соответствующем равновесным характеристикам, а именно коэффициентам ионного обмена каждого иона. Установлено, что концентрация ионов кальция и хлорид-ионов после сорбции соответствует их концентрации в исходном растворе, то есть ионный обмен в присутствие других ионов практически не происходит. Емкость смешенного ионообменника в первую очередь заполняется ионами железа (III) и сульфат-ионами, затем обмениваются ионы меди и нитрат-ионы. Данный порядок соответствует ряду селективности ионов к сильноосновным анионитам и сильнокислотным катионитам. Однако коэффициенты равновесия снижаются для сорбции из многокомпонентных растворов. Таким образом, можно предположить, что высокая концентрация, в первую очередь, катионов железа (III) и сульфат-ионов мешает глубокой де-

минерализации водных растворов, в том числе удалению катионов кальция.

Поскольку ионообменную деминерализацию проводят в динамических условиях и эффективность выделения ионов зависит не только от равновесных характеристик, но и от кинетических свойств системы, в работе изучен обмена катионов кальция, меди (II), железа (III) и хлорид-, нитрат-, сульфат-ионов из индивидуальных и тройных водных растворов солей. Выходные кривые индивидуальных ионов имеют классическую s-образную форму, без существенного влияния диффузионных сопротивлений, что свидетельствует о хороших гидродинамических характеристиках очищающего слоя. Из многокомпонентных растворов емкость ионообменника в первую очередь заполняется железом (III) и сульфат-ионами, затем обмениваются ионы кальция и нитрат-ионы, что соответствует ряду селективности ионов. Значения динамической обменной емкости для меди (II) почти в полтора раза выше, чем для кальция, и в 1,2 ниже, чем для катионов железа (III). Времена проскока отличаются более чем на 10 минут для катионов и более чем на 15 минут для анионов. Степень извлечения всех ионов превышает 98 %, что обеспечивает высокую деминерализацию очищаемой воды.

Результаты проведенных исследований могут найти практическое применение, поскольку суммарное содержание ионов в водных растворах относительно невысокое (концентрация нитрата меди (II) 0,10-0,12 мг/дм³, сульфата железа (III) 0,035 – 0,20 мг/дм³, хлорида кальция – 0,06-0,5 мг/дм³). В случаях высокого содержания примесей в исходном растворе требуются большие объемы ионообменного материала, следовательно, дополнительные объемы аппаратов для расширения загрузки. Все это приводит к тому, что эффективность работы ионообменного материала ниже теоретически возможной. Кроме того необходимо учитывать, что ионообменные материалы смешенного типа не могут использоваться многократно из-за не возможности их регенерации.

УДК 661.183.3

**КЛАСТЕРНАЯ АДСОРБЦИЯ CO₂ НА АКТИВИРОВАННОМ
УГЛЕ NORIT RB2 И МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ
КАРКАСАХ MOF-177 И MOF-505**

Е. В. Бутырская, А. А. Пащенко

*Воронежский государственный университет
Воронеж, Россия
bev5105@yandex.ru*

Понимание механизма адсорбции углекислого газа различными сорбентами является значимым для разработки методов улавливания и хранения газа, поиска эффективных сорбционных материалов, оценки энергетической эффективности сорбционных технологий. Информация о механизме адсорбции может быть получена из анализа изотерм, который также позволяет определить удельную поверхность, пористость и другие характеристики сорбента.

Цель работы: применение модели кластерной адсорбции для интерпретации изотерм адсорбции CO₂ на АУ Norit RB2, металлорганических каркасах MOF-177 и MOF-505, доказательство монослойного характера адсорбции, определение параметров изотерм и структуры сорбата на данных сорбентах.

Методы: Модель монослойной кластерной адсорбции. Графический метод, МНК для определения параметров изотерм адсорбции по экспериментальным данным.

Результаты и обсуждение: Для доказательства однослойного характера адсорбции показано, что площадь поверхности исследуемых сорбентов достаточна для монослойного покрытия (табл. 1).

Для графического определения параметров изотерм построены графики зависимости функции $Y = \lg\left(\frac{q}{q_m - q} \frac{1}{P} - K_1\right)$ от $\lg P$ на основе средней части изотермы адсорбции, показанной

вертикальными прямыми на рис. 1. Данные зависимости $Y(P)$ представлены на рис. 2.

Параметры изотерм, найденные графическим методом представлены в табл.2. В этой же таблице представлены параметры исследуемых изотерм, найденные методом наименьших квадратов (МНК).

Выводы. На основе применения модели кластерной адсорбции к интерпретации исследуемых изотерм показано, что молекулы CO_2 сорбируются в первый слой сорбента в виде мономеров и кластеров из ~4 молекул на Norit RB2 и MOF-177, мономеров и кластеров из ~ 6 молекул на MOF-505. Параметры изотерм определены графически и МНК. Хорошее соответствие параметров, полученных двумя способами, свидетельствует о применимости графического метода к определению параметров исследованных изотерм.

Таблица 1. Характеристики исследуемых адсорбентов

Адсорбент	Поглощение CO_2 (ммоль/г) при 42 бар [14]	Площадь поверхности S, (m^2/g) [22]	q_{mono} , ммоль/г
MOF-177	33.9	4508	34.34
MOF-505	10.4	1547	11.79
Norit RB2	9.6	1184	9.02

Таблица 2. Параметры изотерм адсорбции для кластерной модели

	q_m , ммоль/г	n	K_1	K_n	R^2
Norit RB2					
граф	9.60	3.908	0.260	5.33e-5	0.9966
МНК	9.65	4.506	0.289	6.72e-6	0.9984
MOF-177					
граф	33.90	4.198	0.02	1.52e-5	0.9993
МНК	34.17	4.270	0.03	1.13e-5	0.9997
MOF-505					
граф	10.35	6.745	0.426	2.57e-9	0.9944
МНК	10.37	6.139	0.375	2.16e-8	0.9981

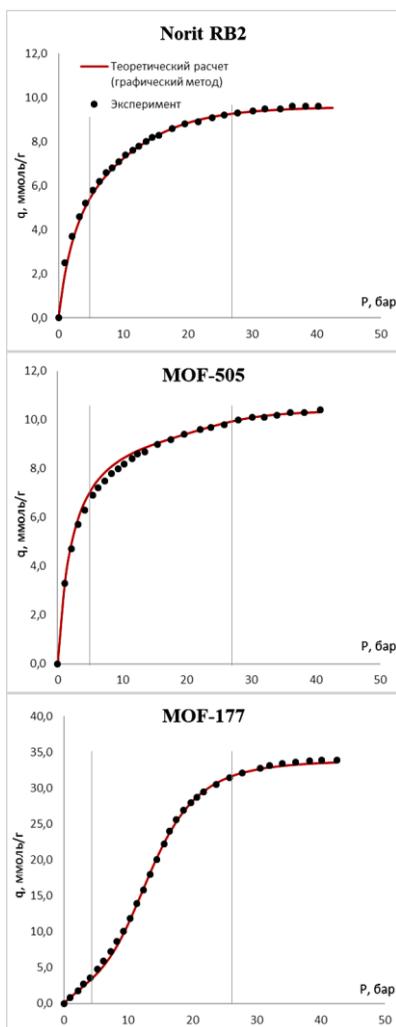


Рис. 1. Экспериментальная (точки) [14] и рассчитанная (сплошная линия) изотермы адсорбции углекислого газа на пористых адсорбентах Norit RB2, MOF-177, MOF-505.

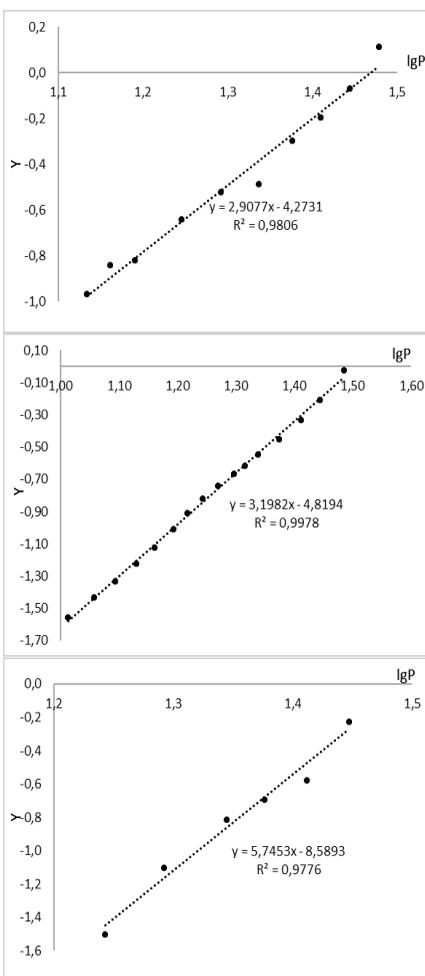


Рис. 2. Изотермы адсорбции в координатах линейной формы для Norit RB2, MOF-177, MOF-505 соответственно.

Список литературы

1. Shimizu, S., Matubayasi, N.: Cooperative Sorption on Porous materials. *Langmuir*, 2021, 37, 10279 – 10290.
2. Wang, J., Guo, X.: Adsorption isotherm models: Classification. Physical meaning. Application and solving method. *Chemosphere*, 2020, V/ 258. 127279.
3. Foo, K.Y., Hameed, B.H.: Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chem. Eng. J.*, V. 156, Issue 1, 2010, P. 2-10.
4. Al-Ghouti, M.A., Da'ana, D.A.: Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review. *J. Hazard. Mater.* V. 393. 2020. 122383.
5. Langmuir, I.: The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *J. Am. Chem. Soc.* 1918. V. 40(9), 1361–1403.
6. Brunauer, S., Emmett, P., Teller, H.: Adsorption of gases in Multimolecular Layers. *J. Am. Chem. Soc.* 1938. V. 60, 309–319.
7. Butyrskaya, E.V.: Single-layer cluster adsorption model and its application for the estimation of the CO₂ structure on metalorganic frameworks. *Mater. Today Commun.* 2022. V. 33, 104327.
8. Butyrskaya, E.V., Zapryagaev, S.A., Izmailova, E.A.: Cooperative model of the histidine and alanine adsorption on singlewalled carbon nanotubes. *Carbon*. 2019. V. 143, P. 276–287.
9. S.A. Zapryagaev, Cluster model of the step-shaped adsorption isotherm in metal–organic frameworks, *Microporous and Mesoporous Materials*, 322 (2021) 111146.
10. Д. Т. Ле, Е. В. Бутырская, Т. В. Елисеева. Сорбционные взаимодействия углеродных нанотрубок с энантиомерами гистидина в водных растворах, *ЖФХ* Т. 95, № 11, 2021, С. 1716-1723
11. Д. Т. Ле, Е. В. Бутырская, Т. В. Елисеева. Кластерная адсорбция L-гистидина на углеродных нанотрубках в водных растворах при различных температурах, *ЖФХ*, 2022, Т. 96, № 8, стр. 1170-1175.
12. E.V. Butyrskaya, E.A. Izmailova, D.T. Le, Understanding structure of alanine enantiomers on carbon nanotubes in aqueous solutions, *Journal of Molecular Structure*, 2022. V. 1259. 132616.

13. D.T. Le, E. V. Butyrskaya, A.A. Volkov, A.S. Gneushev, Study of adsorption of histidine enantiomers on carbon nanotubes in aqueous solution based on different adsorption models, *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2022. V. 22(3). P. 235-242.

14. Millward, A.R., Yaghi, O.M.: Metal-Organic frameworks with exceptionally high capacity for Storage of Carbon Dioxide at Room temperature. *J. Am. Chem. Soc.* 2005. V. 127, P. 17998–17999.

УДК 661.0048:628.168.2:661.56

УТИЛИЗАЦИЯ НИТРАТ-ИОНОВ ПРИ ОСАЖДЕНИИ КАРБОНАТОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ

А.В. Вальков, В.Е. Лантух, А.А. Юрлицкий

*Национальный Исследовательский
Ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия*

В последние годы редкоземельные элементы несут всё большее значение в промышленности [1]. При разделении редкоземельных элементов важной операцией является перевод РЗЭ из фазы раствора в фазу осадка, например, перевод в оксалаты или карбонаты РЗЭ [2,3]. Осаждение может проводиться как из хлоридных, так и нитратных растворов. При осаждении из нитратных растворов в маточных растворах концентрируются нитрат натрия. Если учесть, что основные операции по разделению РЗЭ в РФ ведут с использованием нитратных растворов, вопрос утилизации нитрат-ионов становится одним из главных с экологической точки зрения. Сброс в сточные воды нитрат-иона строго ограничен предельно-допустимыми концентрациями. Так предельно-допустимая концентрация по нитрат-иону для хозяйственно-бытовых водоёмов составляют 45 мг/л. В связи с этим, является актуальной разработка экономичного процесса для утилизации нитрат-ионов.

В работе проведено осаждение карбонатов РЗЭ и проверена новая схема утилизации нитрат-ионов в виде нитрата натрия, который выводится из процесса, выпаривается до кристаллов с получением товарной продукции. Карбонаты выпадают в виде кристаллического осадка, хорошо фильтрующегося. Для контроля процесс осаждения проводился при потенциометрическом измерении рН пульпы. Отмечено, что наибольшее изменение водородного показателя происходит при мольном отношении количества соды и РЗЭ, равном 3 к 2, что соответствует стехиометрическому соотношению. Установлено, что при недостатке карбоната натрия рН пульпы 4,5-6, при стехиометрическом соотношении 6,5-7,0, при избытке карбоната натрия рН 9 и более. Для осаждения основной массы РЗЭ вводился избыток карбоната натрия 10-15% для достижения полноты осаждения.

Список литературы

1. Юшина Т. И., Петров И. М., Гришаев С. И., Черный С. А. Обзор рынка РЗМ и технологий переработки редкоземельного сырья. Часть 2 // Горный журнал. – 2015. – № 3. – С. 76–81.
2. Как извлечь редкоземельные металлы из техногенных растворов урановой промышленности / И. О. Аймбетова, А. М. Устимов, Ж. К. Бахов [и др.]. – Текст : электронный // Редкие земли : электрон., журн. - 2014. – URL: <https://rareearth.ru/ru/pub/20140829/01538.html> (дата обращения: 29.03.2025).
3. Исследование процесса осаждения карбонатов РЗЭ / М. Г. Штуца, А. В. Кардаполов, Б. В. Филиппов, Н. А. Сысина // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. – № 5 – С. 72-74.

УДК:620.91

**СНИЖЕНИЕ ДОЛИ НЕВОЗВРАТНЫХ ОТХОДОВ
ПРИ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ
ОТРАБОТАННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ**

М.А. Варнаков, О.Э. Шубабко, М.А. Вартанян

*Российский химико-технологический
университет имени Д.И. Менделеева, Москва, Россия
vfq456@gmail.com*

Данная работа нацелена на исследование альтернативного применения отходов, образующихся в процессе переработки свинцовых аккумуляторов, с целью получения более ценных химических соединений. Описан метод переработки сульфата натрия после нейтрализации электролита из аккумуляторов и оксидной пасты, а также способы его коммерциализации. Метод позволит не только сократить выбросы в атмосферу, но и обеспечит дополнительный доход за счет производства ценного продукта [1-3].

В настоящее время одним из значимых экологических вызовов для отечественной промышленности остаётся неэффективное использование отходов, образующихся в ходе различных технологических процессов. Значительная часть этих отходов содержит полезные и технологически ценные компоненты, однако в силу несовершенства существующих схем переработки они нередко утилизируются без предварительного извлечения ценных веществ, что приводит к необоснованным потерям ресурсов и экологическим рискам [4,5].

Развитие современных технологий, а также расширение промышленного производства в ряде отраслей сопровождаются образованием всё более токсичных и труднообрабатываемых отходов, которые представляют серьёзную угрозу для окружающей среды. В этих условиях особенно актуальным становится принцип ресурсосбережения и повторного вовлечения отходов в хо-

зяйственный оборот. Максимальное извлечение полезных компонентов из вторичного сырья позволяет не только сократить экологическую нагрузку, но и повысить экономическую эффективность производства [4-6].

Одним из наглядных примеров данной проблемы является переработка свинцово-кислотных аккумуляторов, повсеместно используемых в энергетике, транспорте и телекоммуникациях. Рост их применения приводит к увеличению объёмов отходов, образующихся как на этапе эксплуатации, так и в процессе рециклинга. Отходы, возникающие при переработке аккумуляторов, представляют собой потенциально опасные материалы, способные вызывать загрязнение почвы, подземных и поверхностных вод тяжёлыми металлами и кислотными остатками. Надёжное их хранение требует значительных затрат на соблюдение санитарных норм и природоохранных требований [2-5].

В данной работе рассматривается подход к совершенствованию схемы утилизации свинцовых аккумуляторов путём её модификации с целью извлечения дополнительных ценных компонентов. Предложенное решение направлено на повышение экологической и ресурсной эффективности перерабатывающих процессов, снижение объёма остаточных опасных отходов и экономическую целесообразность повторного использования извлечённых соединений в промышленном производстве. За цель проведения исследований принимаем возможность протекания химической цепочки реакций, позволяющей получить кристаллический сульфат аммония в ходе химического процесса. На начальном этапе в реактор помещают свинцовую пасту с электролитом и вместо сульфата натрия, карбонат аммония, в ходе чего образуется жидкий сульфат аммония и свинцовая паста. После прохождения раствора через пресс-фильтр, свинцовая паста выделяется как твердое вещество, оставляя раствор с сульфатом аммония с различными примесями.

Основной решаемой проблемой является способ преобразования раствора сульфата аммония в чистое кристаллическое вещество, которое имеет спрос на международном рынке. Для этого предлагается поместить оставшийся раствор сульфата ам-

мония в реактор. С целью осаждения ненужных примесей добавляется раствор серной кислоты, едкий натр, перекись водорода и сульфит натрия. Далее раствор необходимо охладить и дать ему отстояться. Полученный сульфат аммония отделяют от раствора с помощью пресс-фильтра и высушивают в сушильном шкафу при низкой температуре [5, 7,8].

Конечным продуктом исследования является кристаллический сульфат аммония - крайне ценное соединение, применяемое в производстве минеральных удобрений. Синтез минерального продукта из отхода производства аккумуляторных батарей позволит значительно сократить количество выбросов свинца и мышьяка, параллельно синтезируя ценный материал.

Дополнительное производство сульфата аммония принесет прибыль не только предприятиям по переработке свинцовых аккумуляторов, но и позволит увеличить общий объем производства минеральных удобрений - одним из немногих отечественных химических продуктов, который активно экспортируется на зарубежные рынки.

Была доказана выгода производства сульфата аммония с целью сокращения захороняемых отходов и увеличения прибыли. Метод позволяет одновременно сократить количество утилизируемого грязного сульфата натрия, изначально используемого в производственной схеме, минимизировать негативное воздействие токсичных соединений на окружающую среду и перенести затраты компании с уплаты захоронений отходов на их непосредственную переработку с целью получения дополнительной прибыли.

Список литературы

1. Li, Y., Yang, S., Taskinen, P., Chen, Y., Tang, C., Jokilaakso, A. Cleaner Recycling of Spent Lead-Acid Battery Paste and Co-Treatment of Pyrite Cinder via a Reductive Sulfur-Fixing Method for Valuable Metal Recovery and Sulfur Conservation [Текст] / Y. Li, S. Yang, P. Taskinen, Y. Chen, C. Tang, A. Jokilaakso // *Metals*. — 2019. — Т. 9, № 8. — С. 911.

2. Zheng, Shengquan. Novel method for directly regenerating waste lead-acid battery into lead powders: CN105858716A [Патент] / Zheng Shengquan ; заявитель и патентообладатель Zheng Shengquan. — Заявл. 01.06.2016 ; опубл. 17.08.2016. — 11 с.

3. SSK Group. Утилизация сливаемого электролита. Нейтрализация электролита [Электронный ресурс] / SSK Group // SSK Group: [сайт]. — URL: <https://www.sskgroup.ru/tree/?lang=rus&id=87> (дата обращения: 08.04.2025).

4. Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (с изм. и доп.) [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: [сайт]. — URL: <https://base.garant.ru/12112084/> (дата обращения: 08.04.2025).

5. Тихомирова, В. В. Загрязнение поверхностных и сточных вод Российской Федерации тяжёлыми металлами [Текст] / В. В. Тихомирова, П. С. Смирнова // Международный научно-исследовательский журнал. — 2023. — № 4. — С. 1–5.

6. Кручинина, В. М. Рынок удобрений в России: состояние и направления развития [Текст] / В. М. Кручинина, С. М. Рыжкова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. — 2022. — № 1. — С. 375–384.

7. Бичашвили, Г. Минпромторг предложил продлить квоты на экспорт удобрений еще на полгода [Электронный ресурс] / Г. Бичашвили // Ведомости: [сайт]. — URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2024/09/12/1061917-minpromtorg-predlozhit-prodlit#140737497311542> (дата обращения: 08.10.2024).

8. Тихонов, А. Экономист указал на заинтересованность ЕС в удобрениях из РФ из-за выгодной цены [Электронный ресурс] / А. Тихонов // Известия : [сайт]. — URL: <https://iz.ru/1731573/2024-07-23/ekonomist-ukazal-na-zainteresovannost-es-v-udobreniiakh-iz-rf-iz-za-vygodnoi-tseny> (дата обращения: 08.10.2024)

УДК 66.0

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ПЕРЕРАБОТАННОГО ФОСФОГИПСА В КАЧЕСТВЕ
НАПОЛНИТЕЛЯ ТЕРМОРЕАКТИВНОЙ МАТРИЦЫ**

П.Д. Горячкин¹, Н.А. Щербина¹, Е.В. Бычкова²

*¹Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ», Москва, Россия*

*²Энгельский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А.», Энгельс, Россия*

В данной работе рассматривалась возможность использования фосфогипса, крупнотоннажного отхода производства фосфорных удобрений, из которого предварительно выщелачиванием минеральными кислотами были извлечены редкоземельные металлы (РЗМ), в качестве наполнителя полимерных композиционных материалов на основе эпоксидной смол.

Предварительное извлечение РЗМ из ФГ проводилось по стадиям: введение ФГ в минеральную кислоту (концентрация раствора 10-30 г/л); выдержка смеси при температуре $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ в течение 60 мин с целью перевода РЗМ в раствор; разделение компонентов.

Оставшийся после извлечения РЗМ остаток (переработанный ФГ) исследовался на дисперсность, так как известно, что размеры частиц компонентов, используемых в качестве наполнителя, оказывают существенное влияние на прочностные свойства композитов. По результатам энергодисперсионного рентгеновского анализа установлено значительное снижение дисперсности освобожденного от РЗМ ФГ, большая часть которого имеет частицы размером 22,5 мкм и менее, что может свидетельствовать о

стабильности свойств получаемых композитов при использовании такого ФГ в качестве наполнителя полимеров.

Переработанный ФГ вводили в термореактивную отверждаемую смолу ЭД-20 в количестве от 5 до 20% масс. (составы ПКМ-1, ПКМ-2). В качестве отвердителя был выбран полиэтиленполиамин.

Возможность взаимодействия наполнителя с термореактивной матрицей исследована методом ИК спектроскопии. В спектре композита обнаружены пики колебаний, относящихся к колебаниям групп отвержденной смолы (колебаний бензольных и эпоксидных колец, метиленовых, метельных групп, связи С-О) и освобожденного от РЗМ ФГ (колебаний гидроксильных групп, связи S-O сульфогруппы). При этом выявлено существенное уменьшение интенсивности пиков колебаний эпоксидных колец и сульфогрупп, в сравнении с данными ИК спектроскопии отвержденной ненаполненной смолы и наполнителя.

С использованием термогравиметрического метода анализа установлено, что отвержденная ненаполненная смола при воздействии температур до 1000°C разлагается практически полностью, с наибольшими потерями массы (75%) в интервале температур 200—400°C. Предлагаемый в качестве наполнителя переработанный ФГ (ФГВ) термостоек: его основные потери массы, составляющие 18% масс., наблюдаются в интервале температур 100-200°C и в дальнейшем с повышением температуры практически не изменяются (таблица). Введение такого компонента в термореактивную матрицу сдвигает начальную температуру основной стадии деструкции отвержденного полимера с 190 до 230°C, сужается температурный диапазон наблюдаемого процесса на 30-40°C, практически в 2 раза снижается скорость течения термодеструкции, увеличивается выход коксового остатка и затем сохраняется постоянным при нагреве с 700°C до температур окончания исследования (таблица) [1].

Таблица.
Данные термогравиметрического анализа объектов исследования

Объекты исследования	Потери массы, %, при температурах, °С							
	100	200	300	400	500	600	700	800
ФГВ	0,0	18,0	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
Отвержденная смола	0,4	0,7	2,7	75,0	84,6	87,7	88,7	90,3
ПКМ-1	0,0	4,0	12,0	30,0	46,0	67,0	80,0	80,0
ПКМ-2	0,0	4,0	12,0	30,0	44,0	64,0	74,0	80,0

Изучение физико-механических свойств полученных композитов показало, что наполнение снижает прочность и относительное удлинение при разрыве образцов, в среднем на 20%.

Результаты работы позволили сделать вывод о перспективности введения фосфогипса, после выщелачивания из него редкоземельных металлов, в качестве наполнителя термореактивной матрицы. Это, безусловно, уменьшит масштабы экологических проблем, связанных с данным отходом производств фосфорной промышленности.

Список литературы

1. Крипак, В.Р. Термогравиметрическое исследование композиционного материала на основе термореактивной матрицы и фосфогипса после выщелачивания / Крипак В.Р. Щербина Н.А., Бычкова Е.В. // Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании : сборник трудов V Международной научно-практической конференции. Т. II. - Москва : НИЯУ МИФИ ; Балаково : БИТИ НИЯУ МИФИ, 2023. - С. 32-35.

УДК 544.723.23

**СТРАТЕГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АДСОРБЦИОННОГО
РАЗДЕЛЕНИЯ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

*Д.С. Дворецкий, С.И. Дворецкий, Е.И. Акулинин,
Г.И. Варников, А.Д. Мальцев*

*Тамбовский государственный технический университет,
Тамбов, Россия*

Методология интегрированного проектирования циклических адсорбционных процессов и установок разделения и очистки многокомпонентных газовых смесей предусматривает разработку проблемно-ориентированного аппаратно-программного комплекса для оперативного и детального изучения системных свойств, закономерностей и режимов функционирования проектируемых газоразделительных систем (методами физического и математического моделирования) с целью получения исходных данных для проектирования циклических адсорбционных процессов, аппаратов и систем управления ими [1-4]; оптимизации технологических режимов функционирования установок короткоциклового безнагревной адсорбции (КЦА) [5,6]; масштабирования результатов предпроектных научных исследований и принятия проектно-конструкторских решений по аппаратурно-технологическому оформлению циклических адсорбционных процессов (при разделении многокомпонентных газовых смесей) [3, 7].

Представлен новый подход к разработке методологии интегрированного проектирования циклических адсорбционных процессов и установок для разделения многокомпонентных газовых смесей (при наличии неопределенности части исходных данных для проектирования). Сформулированы постановки задач одно- и двухэтапного оптимального проектирования гибких многоадсорберных установок КЦА и разработаны инженерные алгоритмы, позволяющие принимать оптимальные проектно-

конструкторские решения, обеспечивающие достижение безопасного и оптимального (в смысле минимума приведенных затрат, себестоимости выпускаемой продукции и других показателей эффективности) функционирования короткоцикловых адсорбционных установок.

Оптимальные конструктивные параметры аппаратурно-технологического оформления циклического процесса и установки КЦА, режимы функционирования и оптимальные управляющие переменные САУ выбираются из условия гибкости и экономичности функционирования проектируемой установки КЦА. Математическое, информационное и алгоритмическое обеспечение аппаратно-программного комплекса может быть использовано при разработке и проектировании новых автоматизированных процессов и адсорбционных технологических установок с циклически изменяющимся давлением для разделения и очистки многокомпонентных газовых смесей.

Подготовка предварительных исходных данных и расчетного инструментария для разработки и проектирования установок КЦА для разделения многокомпонентных газовых смесей включает: 1) разработку технического задания на проектирование установки КЦА для разделения многокомпонентных газовых смесей (воздуха, водородсодержащих смесей и др.) и концентрирование продуктового газа (кислорода, азота, водорода и др.); 2) выбор серийно производимых или подготовку специально модифицированных адсорбентов, наиболее эффективных для адсорбции примесных компонентов адсорбтива водородсодержащей газовой смеси на основе анализа свойств разделяемых газовых смесей и систем “адсорбтив-адсорбент”; 3) получение модельных аппроксимирующих зависимостей на основе экспериментальных изотерм компонентов адсорбтива разделяемых газовых смесей (полученных на аналитических приборах либо специализированных лабораторных установках [3]), позволяющих рассчитывать равновесные величины адсорбции компонентов адсорбтива в рабочем диапазоне давлений и температур; 4) получение модельных аппроксимирующих зависимостей, позволяющих рассчитывать кинетические параметры (коэффициенты) уравнений

кинетики сорбции по соответствующему компоненту адсорбтива в рабочем диапазоне температур, концентраций и объемных скоростей газовой смеси; 5) разработку математического описания циклического технологического процесса адсорбционного разделения газовых смесей с учетом аэродинамических, массо- и теплообменных процессов на стадиях адсорбции и десорбции в установке КЦА.

Список литературы

1. Акулинин Е.И., Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И. Экспериментальное исследование кинетики циклического адсорбционного процесса обогащения воздуха кислородом // Вестник ТГТУ. 2021. Т. 27. № 3. С. 387-400.

2. Дворецкий, С.И. Моделирование и оптимизация циклических адсорбционных процессов для разделения и очистки газовых смесей: монография/ С.И. Дворецкий, Д.С. Дворецкий Д.С., Е.И. Акулинин. [и др.] Тамбов: изд-во ФГБОУ ВО“ТГТУ”, 2021. 212 с.

3. Голубятников О.О., Акулинин Е.И., Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И. Аппаратно-программный комплекс для получения исходных данных на проектирование промышленных циклических адсорбционных установок // Сб. тр. Конференции Китайско-российского конкурса инноваций и предпринимательства. Воронеж: ВГУИТ, 2021. С. 82 – 86.

4. Дворецкий С.И. и др. Моделирование динамики сорбции в циклических адсорбционных процессах разделения газовых смесей // Вестник ТГТУ. 2023. Т. 29. № 3. С. С. 425-443.

5. Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Островский Г.М. Новые подходы к проектированию химико-технологических процессов, аппаратов и систем в условиях интервальной неопределенности: монография. М.: Спектр, 2012. 344с.

6. Дворецкий, С.И. Современные подходы к разработке гибких короткоцикловых адсорбционных установок для разделения водородсодержащих газовых смесей/ С.И.Дворецкий, Д.С. Дворецкий, Е.И. Акулинин [и др.] // Теорет. основы хим. технологии. 2024. Т.58, №6. С. 703-726.

7. Akulinin, E.I. Methodology for creating and stadying units for adsorption separation and purification of gasmixtures/ Akulinin, E.I., Golubyatnikov O.O., Dvoretzky D.S., Dvoretzky S.I. // Journal of Advanced Materials and Technologies. 2021. V. 6. № 3. P. 179-203.

УДК 519.633.6, 544.723.232

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СОРБЦИОННОГО
РАВНОВЕСИЯ И КИНЕТИКИ ОЧИСТКИ
ВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ
ОТ ПРИМЕСНЫХ ГАЗОВ**

*Д.С. Дворецкий, С.И. Дворецкий, Е.И. Акулинин,
Г.И. Варников, А.Д. Мальцев*

*Тамбовский государственный технический университет,
Тамбов, Россия*

В докладе рекомендуются некоторые подходы к расчету равновесия и кинетики процесса сорбции примесных газов (CO , CO_2 , CH_4) из водородсодержащей газовой смеси микропористыми адсорбентами при концентрировании водорода по способу короткоциклового безнагревной адсорбции (КЦА).

Для расчета равновесной величины адсорбции a_k^* k -го компонента газовой смеси в зависимости от температуры T и давления P процесса КЦА использовали уравнение Дубинина-Астахова:

$$a_k^* = a_{0,k} \exp \left[- \left(\frac{RT \lg(P_{S,k}/P)}{\phi_k E_0} \right)^{n_k} \right], \quad (1)$$

где $a_{0,k}$ - величина предельной адсорбции k -го компонента газовой смеси, моль/кг; $P_{S,k}$, P - величины давления насыщенного пара k -го компонента газовой смеси и процесса адсорбции, соответственно, Па(ат); ϕ_k - коэффициент афинности, характеризующий сродство k -го примесного газа к модельному газу (азоту); E_0 - характеристическая энергия активации, Дж(кал)/моль; n_k - порядок изотермы адсорбции по k -му компоненту.

Значения предельной адсорбции $a_{0,k}$ и порядок изотермы адсорбции n_k определяли по экспериментальным изотермам адсорбции, полученным для модельного газа (азота) с использованием анализатора Autosorb IQ Nova 1200e при 77,35 К. В резуль-

тате были определены значения предельного адсорбционного объема W_0 , характеристической энергии адсорбции E_0 модельного газа (N_2) и порядка изотермы адсорбции по k -му компоненту на цеолите NaX: $W_0=0,265 \text{ см}^3/\text{г}$, $E_0 = 12834 \text{ Дж/моль}$, $n(N_2)=2$ и активном угле СКТ-4: $W_0=0,293 \text{ см}^3/\text{г}$, $E_0=6731 \text{ Дж/моль}$, $n(N_2)=2$.

Коэффициенты афинности ϕ_k определяли по экспериментальным изотермам адсорбции, полученным с использованием анализатора ISorb HP1 в рабочем диапазоне изменения температуры (293-333 К) и давления (до $30 \cdot 10^5$ Па) процесса очистки водородсодержащей смеси от примесей (CO , CO_2 , CH_4) на микропористых адсорбентах: цеолите NaX и активном угле СКТ-4. Коэффициенты афинности для каждого примесного газа находили из решения задачи минимизации "невязки" между экспериментальными и расчетными (по уравнению (1)) значениями равновесной величины адсорбции a_k^* ; при этом средняя квадратическая ошибка невязки составила для цеолита NaX $\sim 8,3 \%$, для активного угля СКТ-4 $\sim 6,8 \%$.

При описании кинетики процесса адсорбции примесных газов исходили из того, что кривая кинетики сорбции в системе с твердой фазой, как правило, содержит два периода: первый (I) период, в котором процесс адсорбции лимитируется внешней диффузией (массоотдачей), и второй (II) период, в котором процесс адсорбции лимитируется внутренней диффузией адсорбтива в пористой среде адсорбента.

Уравнение массоотдачи для I периода кинетики имеет вид:

$$\left(\frac{d\bar{a}_{k,j}}{d\tau}\right)_I = \beta_{ex,k}^V (c_{k,j} - c_{k,j}^n) = N = const, \tau \in [0, t_{ads}]; \quad (1)$$

где $\frac{d\bar{a}_{k,j}}{d\tau}$ – скорость процесса адсорбции примесных газов j -м единичным слоем гранулированного адсорбента, $1/\text{с}$; $\beta_{ex,k}^V$ – коэффициент массоотдачи, м/с ; $c_{k,j}$, $c_{k,j}^n$ – концентрации распределяемого k -го компонента газовой смеси в ядре потока и на границе раздела фаз, моль/м^3 или кг/м^3 ; t_{ads} – продолжительность стадии адсорбции, с .

В I-м периоде кинетики процесс адсорбции лимитируется внешней диффузией, причем на поверхности j -го единичного

слоя слоя адсорбента поддерживаются постоянные концентрации $c_{k,j}^n$ примесных газов, которые в случае адсорбции равны концентрациям $c_{k,j}^*$, равновесным текущим величинам адсорбции $\bar{a}_{k,j}$ примесных газов.

Во II-м периоде кинетики процесс адсорбции лимитируется процессом внутренней диффузии (массопереноса) адсорбата в пористой среде адсорбента. Внутридиффузионная кинетика может быть удовлетворительно описана так называемой "linear driving force" (LDF) моделью, в которой движущая сила процесса адсорбции записывается как разность концентраций адсорбата: равновесной $\bar{a}_{k,j}^* = \theta(c_{k,j}^*)$ и текущей средней концентрации $\bar{a}_{k,j}$ (среднеобъемного массосодержания монослоя адсорбента толщиной в одну гранулу) k-го компонента адсорбата:

$$\frac{d\bar{a}_{k,j}}{d\tau} = \beta_{int,k}(\bar{a}_{k,j})(a_k^* - \bar{a}_{k,j}), \quad (2)$$

где $\bar{a}_{k,j}$ – среднеобъемное массосодержание j-го единичного слоя адсорбента (монослоя адсорбента толщиной в одну гранулу) в момент времени τ ; $\beta_{int,k}$ - коэффициент внутренней диффузии адсорбата в пористой среде адсорбента, м²/с.

При смешанно-диффузионном переносе адсорбата в пористой среде адсорбента в уравнении кинетики (2) используют общий коэффициент массопередачи $\beta_{gn,k}(\bar{a}_{k,j})$, который также зависит от концентрации адсорбата в пористой среде адсорбента.

В докладе обсуждаются постановки задач и предлагаются алгоритмы определения коэффициентов массоотдачи, концентрационных зависимостей коэффициента внутренней диффузии и общего коэффициента массопередачи из экспериментальных кривых кинетики адсорбции примесных газов (СО, СО₂, СН₄) из водородсодержащей газовой смеси микропористыми адсорбентами. Полученные данные по коэффициентам массопереноса могут быть использованы в кинетических расчетах процессов производства высокочистых газов (кислорода, азота, водорода и др.) по способу КЦА.

УДК 543.613

ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗА ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ БЕЗ РАЗРУШЕНИЯ

Е.В. Дроздова, Т.А. Кучменко

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
devrn13@mail.ru*

За последние 20 лет, в связи с большим распространением полимерных материалов в жизни человека, увеличилось содержание антропогенных загрязнителей в воздухе помещений и экологическая нагрузка как на человека, так и на окружающую среду в целом [1]. В связи с этим необходим быстрый контроль готовой продукции без отбора проб и подготовки её к анализу, что возможно осуществить за счет совершенствования методов детектирования целевых аналитов, по содержанию которых проводят оценку качества и безопасности изделий из полимеров.

Актуально расширение обязательных параметров мониторинга для оценки состояния воздуха в замкнутых помещениях, повышение экспрессности получения информации о качестве и безопасности изделий. Необходима разработка новых способов, средств экологического мониторинга универсального назначения, предназначенных как для специалистов, так и для широких слоев населения. Перспективными в этом направлении являются измерительные средства на основе сенсоров различных видов от датчиков до приборов периодического действия и использования [2].

Цель работы – разработка мобильного комплекса на основе разноселективных пьезосенсоров для определения как единичных легколетучих соединений, выделяемых полимерами, композитами и материалами на их основе, так и оцифровки потребительского свойства этих изделий – запаха. Аналитические характеристики пьезосенсоров позволят без пробоотбора и пробоподготовки селективно, быстро и просто получить информацию об экологической безопасности,

механизме, степени деструкции и изменении при конструировании свойств новых материалов.

На сегодняшний день разработаны и апробированы способы оценки уровня эмиссии токсичных соединений из полимерных материалов с применением системы «Электронный нос» на основе пьезосенсоров с различными сорбционными покрытиями [2]. Данные способы позволяют проводить анализ как с разрушением образца в лабораторных условиях, так и в режиме «на месте», с производительностью анализа 4 пробы/час при кратности повторения $n = 3$. Так для оценки безопасности изделий из различного пластика (на основе поливинилхлорида и полистирола, с добавлением фенолформальдегидных смол в качестве связующих компонентов), листовых композиционных материалов (МДФ, ДВП, ДСП) и воздуха в жилых и офисных помещениях применяется массив сенсоров со стандартными хроматографическими фазами в качестве чувствительных покрытий (ПЭГС, ПЭГСб, ПЭГФ, ТОФО), а также с специфическими пленками (ПВ, ПК, ПК с FeCl_3 , ПФЭ).

Качественный анализ веществ, которые эмиссируют из изделий на основе полимерных композиций, проводится по идентификационным параметрам: параметр эффективности сорбции A_j и кинетический коэффициент сорбции V_i . С помощью данных параметров возможно надежно идентифицировать в смеси пары ацетона, фенола, суммарное содержание толуола и бензола на уровне до 10 ПДК. Для количественного анализа применяются площади суммарного кинетического «визуального отпечатка», $\sum S_{\text{во}}$ и площади под кривой для отдельных пьезосенсоров S_i , Гц·с.

Для данного массива сенсоров проведена оценка срока службы пьезосенсоров и установлено, что количественный анализ возможен в течение 2-х месяцев эксплуатации при нагрузке высокими концентрациями легколетучих соединений и 1-го года при сорбции разбавленных паров. Идентификация веществ по параметрам A_j и V_i возможна в течение 1 года при сорбции микроколичеств паров веществ [2].

Одним из основных недостатков данного массива сенсоров является небольшие аналитические сигналы, что затрудняет анализ в режиме «на месте», так как возможен большой дрейф базовой линии.

На сегодняшний день ведутся работы по изучению новых фаз, на основе модифицированных квантовых точек (КТ) сульфида кадмия в хитозановой оболочке переменного состава, полученных в условиях «зеленого» быстрого синтеза. Данные фазы характеризуются большей емкостью, что отражается в значительно больших сигналах сенсоров к парам легколетучих соединений малых концентраций с сохранением воспроизводимости и высоких эксплуатационных характеристик [3]. Изучен характер сорбции органических соединений, которые контролируются в изделиях на основе полимерных композиций, на массиве из КТ, модифицированных как стандартными хроматографическими фазами, так и природными БАВ (экстракты растений, камедь и т.д.). Установлены высокие аналитические сигналы сенсоров, по сравнению с ранее рассмотренными фазами, при этом сохраняется их воспроизводимость.

Новые возможности сенсорных систем связаны с уменьшением размера и применением более чувствительных и селективных сенсоров. Каркасные наноструктурированные модификаторы высокочувствительных пьезовесов на основе квантовых точек показали перспективность создания новых быстрых детекторов для анализа полимеров.

Список литературы

1. Евтюгин Г.А. Проблемы безопасности среды обитания человека. Часть 1 – безопасность жилища: учеб. пособие / Г.А. Евтюгин, Г.К. Будников, Е.Е. Стойкова – Казань, Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина, 2007. – 51 с.
2. Дроздова Е.В. Определение органических легколетучих токсикантов массивом пьезосенсоров для оценки безопасности полимерных материалов: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.02. Воронеж, 2016. 263 с.
3. Кучменко Т.А. Направленное изменение сорбционных свойств квантовых точек CDS в хитозане по отношению к летучим соединениям / Кучменко Т.А., Хмелевская Т.Н., Умарханов Р.У. // В сборнике: Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. материалы IX Международной научной конференции. Донецк, 2024. С. 191-194.

УДК 628.316:66.097

**КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ
ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В СТОЧНЫХ ВОДАХ
ПЕРСУЛЬФАТ РАДИКАЛОМ**

Н.В. Конюк, В.А. Лебедь, Т.В. Конькова, А.М. Гайдукова

*Российский химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия
kontat@list.ru*

Проблема загрязнения водоемов различными органическими веществами на сегодняшний день стоит крайне остро. Каталитическое окисление токсичных органических примесей до диоксида углерода и воды или менее опасных полупродуктов один из эффективных методов обезвреживания и очистки сточных вод. В передовых окислительных технологиях в последнее время в качестве окислителя наряду с пероксидом водорода используются персульфатные соединения, и если в первом случае непосредственно окислителем выступает ОН-радикал, то во втором случае персульфатный радикал $SO_4^{\cdot-}$. Это объясняется некоторыми эксплуатационными преимуществами персульфатов, к которым относятся снижение затрат на хранение и транспортировку, а также меньшая зависимость эффективности процесса от эксплуатационных параметров [1]. Катализаторами для этих процессов служат кислородсодержащие соединения переходных металлов: монофазные, либо смешанные оксиды, твердые растворы, ферриты, перовскиты [2, 3]. Особый интерес вызывает переработка металлосодержащих техногенных отходов и использование их как катализаторов. Например, оксид железа, полученный из красного шлама (отхода производства оксида алюминия) показал высокую активность в окислении азокрасителя кармуазина [4].

В данной работе исследованы перспективы использования в качестве катализаторов следующие отходы промышленности и сельского хозяйства: трубопрокатная железная окалина, состоя-

шая из смеси оксидов железа; шлам, образующийся в результате окислирования алюминиевых, состоящий из оксида алюминия; зола, полученная при сжигании рисовой шелухи, состоящая преимущественно из оксида кремния. В двух последних случаях отходы использовались как носители катализаторов, на которые пропиткой по влагоемкости из растворов нитратом с последующей термообработкой были нанесены активные компоненты: оксиды железа и кобальта. Активность материалов была испытана в процессе окислительной деструкции фармацевтического препарата фурацилина.

В результате проведенных исследований установлено, что все катализаторы проявили активность в кислой среде, кобальт-содержащие материалы активны также в нейтральной среде. С точки зрения минимальной обработки (измельчения крупных кусков до более мелкой фракции) и максимально легкого отделения от жидкой фазы наиболее перспективным материалов для использования в технологии очистки сточных вод является железная окалина, что обусловлено ее магнитными свойствами.

Список литературы

1. Kiejza D., Kotowska U., Polińska W., Karpińska J. Peracids - New oxidants in advanced oxidation processes: The use of peracetic acid, peroxymonosulfate, and persulfate salts in the removal of organic micropollutants of emerging concern – A review // J. Science of the Total Environment 2021. 790. 148195.
2. Zagaynov I.V., Liberman E.Yu., Prikhodko O.P., Kon'kova T.V. Catalytic activity of CeO₂@TiO₂ for environmental protection // New J. Chemistry. 2024. 48. 2842.
3. Kon'kova T.V., Belkina I.S., Stoyanova A.D., Kolesnikov V. A. Catalytic oxidative degradation of the azorubine dye in wastewater // Theoretical and Applied Ecology. 2021. V. 2021, I. 4, P. 154 – 159.
4. Kon'kova T.V., Gaydukova A., Liberman E., Seytkasymova A.A. Recycling of red mud in iron-containing catalyst for oxidizing organic impurities in waste water // CIS Iron and Steel Review. 2024. V.27. P. 113–117.

УДК 543.64.08

СЕНСОРНЫЙ АНАЛИЗ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Т.А. Кучменко, Р.У. Умарханов

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
ООО «Сенсорика – Новые Технологии», Воронеж, Россия
Tak1907@mail.ru*

Современные тенденции развития средств внелабораторного анализа связаны с разработкой мультисенсорных газовых систем, мобильных хроматографов, тест-устройств, простых портативных приборов с *n*-мерными аналитическими сигналами. Традиционно активно применяются оптические, электрохимические, масс-чувствительные сенсоры, изменяющие регистрируемые с них сигналы в зависимости от свойств окружающей среды. При этом актуальны системы, реагирующие на совокупность свойств жидкостей, газовых и твердых сред. Все более актуальны разработки, быстро сканирующие состав без детальной расшифровки качественного и количественного состава или определения содержания конкретного аналита.

В городской среде и вблизи перерабатывающих комплексов все более популярны жалобы и запросы населения на экологическую оценку запаха воды открытых водоемов, из центрального водоснабжения; воздуха в квартирах и на местности с установлением природы и места источника неприятных запаховых нагрузок. Для решения таких задач применяются ольфактометрическая оценка, стандартизация по определенному компоненту, но также могут быть перспективны поли- или мультисенсорные устройства на основе газовых высокочувствительных измерительных элементов. Пьезосенсоры в таких системах имеют ряд преимуществ, по сравнению с другими преобразователями: высокая чувствительность по массе, что позволяет улавливать незначительные

изменения в составе смеси одороопределяющих веществ; быстрое время реакции и восстановления системы после взаимодействия с компонентами среды; возможность регулирования селективности детектирования. К недостаткам относится зависимость фонового сигнала от изменений температуры, флуктуаций воздуха, движения людей рядом.

Но, с другой стороны, именно присутствие людей в офисах становится новым источником экологического напряжения. В последнее время внимание к экологии человека стало более многофакторным, в связи с этим увеличивается интерес к разным источникам, влияющим на изменение качества воздуха. Люди относятся к не менее заметным из них, особенно для закрытых помещений. В научной печати появляются публикации о рассмотрении вопросов загрязнения воздуха аудиторий, офисных и других помещений, школьных классов при нахождении в них определенное время (рабочий день, лекция, на конкретном мероприятии) разных по численности, возрасту, особенностям деятельности категорий. И эти эксперименты интерпретируются именно как экологические.

Сенсорные устройства периодического или непрерывного действия могут контролировать уровень накопления выделяемых людьми газов и паров. Такие технические решения тесно связаны с новыми объемными и емкими сорбентами, которые позволяют управлять аналитическими характеристиками газочувствительных систем. Особыми свойствами, по нашему мнению, характеризуются комплексные материалы со встроенными квантовыми точками сульфидов металлов, углерода, жидкие кристаллы с низкими температурами фазового перехода. Новые возможности сенсорных систем связаны с уменьшением размера и применением мультиплатформ. Нами разработаны и предложены новые алгоритмы обработки и визуализации многомерных данных, которые легко программируются и воспринимаются необученным пользователем, что позволяет положительно оценить их применение при разработке новых экологических систем.

УДК 666.189.241

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ДЛЯ ОКРАШИВАНИЯ СТЕКЛОМАССЫ

А.В. Латыпова, М.А. Малютина, А. Букреев, С.Д. Пожидаева

*Юго-Западный государственный университет, Курск, Россия
pozhideva_kursk@mail.ru*

Одним из эффективных направлений применения стекловидных покрытий является облицовка зданий и сооружений, путем совмещения декоративных, защитных и теплоизоляционных функций [1]. Полученные фритты измельчают, дозируют с пигментом и используют для декорирования поверхностей, улучшая эстетический вид красок при снижении расхода пигмента, увеличивая термическую устойчивость поверхности [2]. Идея использования отходов гальванического производства, металлургической промышленности, электросталеплавильных цехов и некоторых шламов, содержащих тяжелые металлы, уже используется для получения пигментов для строительных материалов (цветных бетонов, плитки для тротуаров) [3 - 6].

В работе изучена возможность использования смесей, содержащих соединения переходных металлов для окрашивания стекломассы. Для изготовления использовали стеклобой, основу которого составляют композиции тройной системы $\text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})\text{-CaO-SiO}_2$ [7]. Для получения продукции стеклобой оконного или тарного стекла подвергали дроблению до полного прохождения через сито 0,5 и 0,315 мм, смешивали с пигментирующим веществом, роль которого выполняли продукты переработки металлов и оксидов [8 - 10]. (таблица 1), изготавливали образцы с использованием пресс-формы круглого сечения, помещали в муфельную печь и нагревали до полного перехода стекла в расплавленное состояние.

Примеры полученных результатов представлены в таблице 2.

Таблица 1. Составы, используемых в работе соединений,
выполняющих роль пигмента

№	Металл в составе	Вид	Происхождение	Содержание соединений в исходном сырье, моль/кг
1	Co	осадок	Продукт неполного растворения Co_3O_4	Co^{2+} 0,05
2		суспензия		$Co^{2+} : Co^{3+} = 0,008:0,04$
3	Cu	осадок	стеарат меди (II)	1,50
4	Cu	осадок	Продукт щелочного гидролиза соли меди (II)	0,85
5	Cu	осадок	Смесь твердых продуктов химической переработки латуни	Голубого цвета, не определяли
6	Cu	осадок	Смесь твердых продуктов химической переработки бронзы	Темно-коричневого цвета, не определяли
7	Pb	осадок		

Таблица 2. Полученные цвета фритт

№	1	3	4	6
до				
после				

Технологический процесс варки фритт включает сушку, дробление и просев сырьевых материалов, расчет и взвешивание компонентов, и сам процесс варки при контроле и регулировании технологических параметров процесса варки. Грануляция стекла (фриттование) проводилась при естественном охлаждении. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. Полученные результаты

Продукт	Масса, г			Объем, мм ³	
	до	после	Δm , %	до	после
Размер фракции 0,5 мм					
Продукт неполного растворения Co_3O_4	1,980	1,825	7,83	1077	5319
Продукт щелочного гидролиза соли меди (II)	1,985	1,865	6,05	1231	796
Нитрат свинца (II)	1,980	1,870	5,56	1385	796
стеарат меди (II)	1,97	1,775	9,90	1231	678
Размер фракции 0,315 мм					
Продукт неполного растворения Co_3O_4	1,925	1,795	6,75	1385	2100
Продукт щелочного гидролиза соли меди (II)	1,930	1,845	4,40	1077	700
Нитрат свинца	2,085	1,995	4,32	1231	700
Стеарат меди (II)	1,970	1,560	20,81	1385	650
Продукт окисления бронзы	1,840	1,660	9,78	1231	300

Список литературы

1. Фанда, А. Ю. Изучение особенностей стеклообразования эмалевых фритт для стальных облицовочных панелей / А. Ю. Фанда // Техника и технология силикатов. – 2024. – Т. 31, № 3. – С. 204-212.

2. Авторское свидетельство № 1609755 А1 СССР, МПК С03С 8/08. Фритта для керамических красок : № 4639574 : заявл. 19.01.1989 : опубл. 30.11.1990 / А. М. Карапетян, М. А. Погосян, В. И. Херунцян, А. Л. Абелян ; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я В-2268.

3. Герасимова, В. Г. Обзор технологий получения пигментов из отходов металлов для окрашивания фритт / В. Г. Герасимова // Наука молодых - будущее России : Сборник научных статей 9-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 5-ти томах, Курск, 12–13 декабря 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 334-336.

4. Использование дисперсных отсевов строительных песков для получения пеностеклокристаллических материалов / О. В. Казьмина, М. А. Душкина, В. И. Верещагин, С. Н. Волланд // Строительные материалы. – 2014. – № 1-2. – С. 93-97.

5. Патент № 2409526 С2 Российская Федерация, МПК С03С 3/064. Способ получения окислительно-восстановительной стеклообразной фритты : № 2008105738/03 : заявл. 11.07.2006 : опубл. 20.01.2011 / О. Пине, Т. Блиссон, А. Гранжан, С. Шуллер ; заявитель КОММИССАРИАТ А Л' ЭНЕРЖИ АТОМИК.

6. Патент № 2782750 С1 Российская Федерация, МПК С03С 3/21, С03С 8/24. Обжигаемая при низкой температуре бессвинцовая стеклянная фритта, паста и узел вакуумного стекла с ее применением : № 2021125319 : заявл. 07.02.2019 : опубл. 02.11.2022 / В. Чои, Й. С. Ким, Б. К. Риу [и др.] ; заявитель ЭлДжи ЭЛЕКТРОНИКС ИНК., ПУСАН НЭШНЛ УНИВЕРСИТИ ИНДАСТРИ-УНИВЕРСИТИ КООПЕРЕЙШН ФАУНДЕЙШН.

7. Применение полимерных и стекольных отходов для получения самоглазурующей облицовочной керамики / И. А. Виткалова, А. С. Торлова, Е. С. Пикалов, О. Г. Селиванов // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23, № 11. – С. 38-42.

8. Патент № 2331629 С1 Российская Федерация, МПК С07С 51/41, С07С 65/10. Способ получения салицилата марганца (II) : № 2007100453/04 : заявл. 09.01.2007 : опубл. 20.08.2008 / С. Д. Пожидаева, А. М. Иванов, Т. А. Маякова ; заявитель Курский государственный технический университет (КГТУ).

9. Pozhidaeva, S. D. Peculiarities of Oxidation of Metals and Alloys by Hydrogen Peroxide in the Presence of Stimulating Additive of Iodine / S. D. Pozhidaeva, A. M. Ivanov // Steel in Translation. – 2023. – Vol. 53, No. 7. – P. 605-613.

10. Пожидаева, С. Д. Особенности получения солей из металлов и их оксидов в подкисленных органических средах в присутствии каталитических количеств молекулярного йода / С. Д. Пожидаева // Цветные металлы. – 2025. – № 2. – С. 48-56.

УДК 543.5:543.33

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВИНЦА В ВОДНЫХ СРЕДАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ХИМИЧЕСКОГО СЕНСОРА

Р.П. Лисицкая¹, Т.А. Кучменко²

*¹ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф.
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия*

*²Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия*

Соединения свинца являются токсикантами 2 класса опасности с низким уровнем значения ПДК в питьевой воде и водоемах 0,03 мг/дм³. Свинец – тяжелый металл, способен перемещаться на большие расстояния, смешиваясь с пылью, попадает в водоемы с грунтовыми водами. Всемирная организация здравоохранения относит его к 10 химическим веществам, вызывающим основную обеспокоенность в области общественного здравоохранения.

Все методики определения содержания свинца в воде (атомно-абсорбционная спектроскопия, спектрофотометрия, фотокolorиметрия, фототурбидиметрия, комплексонометрия, электрогравиметрия, вольтамперометрия) являются трудоемкими, требуют специфических или селективных реактивов, и сложного дорогостоящего оборудования и неприемлемы для анализа в полевых условиях или в режиме «на месте».

Актуальным является разработка объективных экспресс-способов и портативных приборов, позволяющих по результатам анализа сделать вывод о наличии и содержании металлов-токсикантов в воде. Сенсорные методы анализа в высокой степени способны решать такие задачи.

Цель работы – разработка способа определения свинца в водных растворах с применением портативного биосканера.

В исследовании реализована возможность применения портативного биосканера «BioScan» для анализа равновесной газовой фазы над пробой. Биосканер представляет собой газовый анализатор на основе одного пьезокварцевого резонатора с базо-

вой частотой колебаний 10,0 МГц, на электроды которого нанесена тонкая пленка гидроксиапатита. Данное покрытие является чувствительным к парам воды.

Сигнал сенсора получен по интегральному алгоритму обработки в виде кинетических «визуальных отпечатков» – зависимости изменения частоты колебания сенсора в каждый момент времени относительно базовой частоты от времени измерения: $\Delta F = f(\tau, c)$. Они позволяют установить схожесть состава паров над анализируемыми образцами. Отклик сигнала сенсора и результаты измерения биосканером регистрируются в программном обеспечении (ООО «Сенсорика – Новые Технологии»).

Установлено, что при сорбции паров воды из чистого растворителя и растворов, содержащих ионы Pb^{2+} , наблюдаются различия как в относительной величине максимального отклика сенсора ΔF , так и в кинетике сорбции.

Значения максимального отклика сенсора зависят от концентрации ионов свинца в пробе. Проведен сравнительный анализ растворов, содержащих Pb^{2+} , в широком диапазоне концентраций аналита $1 \cdot 10^{-5} - 1 \text{ мг/см}^3$. Получены «визуальные отпечатки» отклика сенсора в парах воды для этих проб, рассчитан интегральный параметр сорбции воды – площадь «визуального отпечатка». По результатам измерений построена градуировочная кривая зависимости максимального сигнала сенсора ΔF от $lg C(Pb^{2+})$, линейная в области концентраций $1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-1} \text{ мг/см}^3$.

Линейность градуировочного графика позволяет определять содержание свинца в диапазоне указанных концентраций в водных растворах. Расчет концентрации выполняли по формуле:

$$lg C(Pb^{2+}) = \frac{\Delta F - 1807,7}{174,56}.$$

Результаты сенсорометрического определения содержания свинца в водных растворах коррелируют с данными турбидиметрического анализа, однако применения метода пьезокварцевого микровзвешивания позволяет расширить диапазон определяемых концентраций свинца в воде. Метод сенсорного анализа отличается высокой точностью (погрешность измерения не превышает 5 %), воспроизводимостью, простотой эксперимента, экспрессностью, время одного анализа составляет не более 20 мин.

УДК 661.0048:628.168.2:661.56.

СХЕМА УТИЛИЗАЦИИ ОКСАЛАТ-ИОНОВ ПРИ ОСАЖДЕНИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Е.А. Мананкова, И.В. Никифоров, П.А. Рублев

*Национальный Исследовательский Ядерный
университет «МИФИ», Москва, Россия*

В технологии редкоземельных элементов широко используется операция осаждения редкоземельных элементов (РЗЭ) из водных растворов для последующего разделения или использования с целью получения целевых продуктов, например, оксидов для получения люминофоров или оксидов для получения металлов, необходимых для производства магнитов [1,2].

В данной работе рассматривается осаждение оксалатов РЗЭ из нитратных растворов. Эта операция применяется для получения оксида индивидуального редкоземельного элемента, например, иттрия, неодима, празеодима, очищенного от других элементов. Осаждение оксалатов привлекательно также тем, что одновременно происходит очистка редких земель от нередкоземельных примесей, таких как кальций, алюминий, железо и других. После отделения оксалатов РЗЭ фильтрацией, сбросные растворы содержат остаточное количество оксалат-ионов в форме щавелевой кислоты, на которые имеются весьма жёсткие требования с точки зрения экологического воздействия. Допустимая концентрация для сброса в сточные воды оксалат-ионов составляет 0.5мг/л [6].

В данной работе предлагается новый вариант утилизации щавелевой кислоты в маточном растворе путем добавления карбонатов РЗЭ к маточному раствору:



Процесс проводили при постоянном контроле рН потенциометрическим методом. Точка стехеометричности фиксируется путем резкого изменения рН из кислого в нейтральную (рН = 6,5-7.5). Реакцию проводили при интенсивном перемешивании с нагреванием, т.к. на поверхности кристаллов карбонатов РЗЭ образуется пленка оксалатов РЗЭ, препятствующая проникновению молекул щавелевой кислоты в центр кристалла карбонатов РЗЭ, т.е. реакция лимитируется диффузией щавелевой кислоты. Как можно видеть, в конечной реакции не остается токсичных веществ, которые нельзя было бы использовать, в чем и заключается основное преимущество методики.

Проведенные эксперименты показали, что полнота осаждения достигается при введении избыточного количества щавелевой кислоты (табл.1)

Таблица 1. Влияние количества щавелевой кислоты (в %) на степень извлечения РЗЭ в осадок.

Показатель	Недостаток, 20%	По стехиометрии	Избыток 20%
Степень извлечения	67,62%	94,38%	99,99%

Список литературы

1. Юшина, Т. И. Обзор рынка РЗМ и технологий переработки редкоземельного сырья. / Юшина Т. И., Петров И. М., Гришаев С. И., Черный С. А. Обзор Часть 2 // Горный журнал. – 2015. – № 3. – С. 76–81.

2. Аймбетова, И. О. Как извлечь редкоземельные металлы из техногенных растворов урановой промышленности / И. О. Аймбетова, А. М. Устимов, Ж. К. Бахов [и др.]. – Текст : электронный // Редкие земли : электрон., журн. - 2014. – URL: <https://rareearth.ru/ru/pub/20140829/01538.html> (дата обращения: 29.03.2025).

3. Штуца, М.Г. Исследование процесса осаждения карбонатов РЗЭ / М. Г. Штуца, А. В. Кардаполов, Б. В. Филиппов, Н. А. Сысина // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. – № 5 – С. 72-74.

УДК 658.567.1

УЛАВЛИВАНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ГАЗОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭНЕРГИИ ИЗ БИОМАССЫ

А.Ю. Марнов¹, С.Ю. Панов¹, А.С. Аксенов¹, М.Ю. Балабанова²

*¹ Воронежский государственный технический университет,
Воронеж, Россия,
su-panov@yandex.ru*

*² Воронежский государственный университет инженерных
технологий, Воронеж, Россия,
mariya_balabanova@mail.ru*

Ожидается, что в будущем производители возобновляемой энергии смогут вносить более значительный вклад в удовлетворение потребностей в энергии. Энергетическое использование биомассы, такой как древесина, солома, отходы сельскохозяйственных производств, характеризуется нейтральностью в углеродном балансе. Кроме того, использование возобновляемой биомассы для производства энергии позволяет сохранить запасы ископаемого топлива и одновременно повысить надежность поставок готовой энергии.

Процедуры получения энергии из биомассы должны соответствовать нормативным требованиям в отношении экологичности и общепризнанным стандартам использования ископаемых источников энергии, чтобы быть конкурентоспособными с ними. В этой области появляются перспективные разработки [1], причем аспект газовых выбросов и, в частности, органических соединений часто еще не получает должного внимания.

Для энергетического использования биомассы в основном используются процессы сжигания, дегазации, газификации и тления [2]. Энергетическое использование биомассы в основном осуществляется на небольших установках, что обусловлено близостью к потребителю, например, фермерские хозяйства.

Для термической переработки биомассы, как и для всех установок, связанных с выбросами, важно соблюдать правила по

ограничению выбросов. При проектировании системы сжигания необходимо стремиться к тому, чтобы предельные значения выбросов как можно ниже, чтобы повысить общее признание технологий и установок, использующих биомассу в качестве источника энергии.

Очистка газа на энергетических установках, работающих на биомассе, сопряжена со специфическими проблемами. Из-за низкого расхода топлива неоднородного состава процесс сгорания затруднен и приводит к образованию отходящих газов с сильно колеблющимися характеристиками по запыленности, температуре и химическому составу газа.

В данных условиях предлагается применение комбинированного аппарата, представляющего собой циклон, у которого внутренняя отводящая труба выполнена в виде металлокерамического фильтровального элемента. Такая компоновка увеличивает степень очистки от твердых частиц[3].

Кроме того, изготовление металлокерамического элемента с добавлением легирующих каталитически активных добавок создаст условия для более полного окисления органических компонентов дымовых газов (алифатические, бензольные, карбонильные соединения).

Список литературы

1. Балабанова М.Ю., Панов С.Ю., Марнов А.Ю. Исследование технического решения экологических и энергетических проблем при пиролизной переработке крупнотоннажных твердых органических отходов // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 243–249.

2. Сафин Р.Г., Сотников В.Г., Зиатдинова Д.Ф. Термическая переработка твердых растительных отходов методом медленного кондуктивного пиролиза // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 11. С. 9–14.

3. Расчет и выбор пылеулавливающего оборудования : Учеб. пособие / В. А. Горемыкин, С. Ю. Панов, М. К. Аль-Кудат [и др.]; М-во образования Рос. Федерации. Воронеж. гос. архитектур.-строит. акад.. — Воронеж: Воронеж. гос. архитектур.-строит. акад., 2000. — 326 с.

УДК 504.05:543:547.233

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДУКТОВ ДЕГРАДАЦИИ
1,1-ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА В РАСТИТЕЛЬНЫХ ПРОБАХ
И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ
ПО ИХ СОДЕРЖАНИЮ**

Н.В. Маслова¹, А.С. Сатуров², П.Т. Суханов¹

*¹Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия*

*²Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

При оценке экологических рисков при эксплуатации жидкостных ракетных двигателей в ракетно-космической отрасли учитывают химическую токсичность применяемых соединений (в основном по содержанию 1,1-диметилгидразина и его производных); загрязнение воздуха и вод продуктами сгорания; долговременное загрязнение почв; физические и шумовые воздействия; радиационные риски; накопление твердых отходов.

Несимметричный диметилгидразин (НДМГ) применяется в качестве ракетного топлива и относится к веществам I класса опасности. НДМГ химически нестабилен, в воде и почве деградирует до более токсичных продуктов: диметиламин (ДМА), нитрозодиметиламин (НДМА), тетраметилтетразен (ТМТ), формальдегид (ФМД), которые способны к накоплению во флоре, фауне, почвах.

Нами разработан способ определения массовой концентрации 1,1- диметилгидразина и продуктов его деградации в пробах растений. Сущность способа определения состоит в следующем. В зонах оценки экологических рисков собирали листья с четырех сторон деревьев и кустарников так, чтобы общая площадь составляла 0,5 м². С поверхности листовых пластин аналиты смывали 50-200 см³ дистиллированной воды. Осветление растворов проводили добавлением щелочи и сульфата цинка. Образовав-

шиеся осадки отделяли фильтрованием. Аналиты определяли фотометрически методом градуировочного графика. Окрашенные растворы получали с применением специфических реакций:

Аналит	Фотометрический реагент	Условия фотометрирования
НДМГ	<i>n</i> -Нитробензальдегид, в щелочной среде	$l=20$ мм, $\lambda = 400$ нм
ДМА	Натриевая соль 1,2-нафтохинон-4-сульфокислоты	$l=20$ мм, $\lambda = 440$ нм
Нитриты	Реактив Грисса	$l=10$ мм, $\lambda = 540$ нм
Нитраты	Щелочной раствор сегнетовой соли	$l=20$ мм, $\lambda = 410$ нм
ФМД	Ацетилацетон	$l=5$ мм, $\lambda = 412$ нм
ТМТ	Спиртовой раствор биндона	$l=30$ мм, $\lambda = 490$ нм

По сравнению с известными способами определения аналитов предложенный способ позволяет сократить время пробоподготовки и снизить погрешности определений.

Правильность и точность определения аналитов в пробах растений проверяли методом «введено-найдено».

Способ рекомендуется для мониторинга промышленных площадок, санитарно-защитных и селитебных зон опасных объектов и может быть рекомендован для оценки экологических рисков по результатам определения НДМГ и продуктов его деградации на каждом этапе негативного воздействия на окружающую среду.

Экологический риск (R) оценивали как высокий из-за токсичности НДМГ, вероятности его попадания в окружающую среду и рассчитывали по формуле:

$$R = C \cdot E \cdot T,$$

где C – концентрация вещества; E – экспозиция (влияние на организм/экосистему, значение предельно-допустимой концентрации (ПДК)); T – класс опасности вещества.

Для снижения рисков необходимо постоянное проведение мониторинга в санитарно-защитных и селитебных зонах содержания НДМГ и продуктов его разложения в почвах, воде и растительности.

УДК 661.15; 631.8

**КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО
КАУЧУКА И ОТРАБОТАННОГО КИЗЕЛЬГУРА**

Л.В. Молоканова, А.В. Протасов, И.Н. Пугачева

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
laramol@mail.ru*

В современных условиях развития промышленности и технологий повышенное внимание уделяется использованию экологически безопасных и возобновляемых ресурсов. Целью данной работы является исследование возможности получения композита на основе натурального каучука и отработанного после фильтрации пива кизельгура. Актуальность исследования обусловлена необходимостью поиска эффективных способов утилизации промышленных отходов и расширения областей применения натуральных каучуковых композитов, в частности возможность их применения в сельском хозяйстве.

Композит получали коагуляцией натурального каучука и кизельгура, отработанного при фильтрации пива. Рецепт композита: натуральный каучук – 6,25 мл, кизельгур, отработанный при фильтрации пива, высушенный – 7 г, вода – 13 мл, коагулянт ВПК-402 – 0,1 мл. Выход композита составил 83,9 %. Исследование набухания полученного композита в воде показало увеличение степени набухания до 120 % в первые три часа, затем степень набухания не увеличивалась.

Реологические исследования полученного образца проводились с использованием автоматического капиллярного реометра «Smart RHEO 1000» (таблица 1). Результаты свидетельствуют о низкой текучести материала, что требует дальнейших исследований по оптимизации рецептуры (возможно введение в рецептуру композита масел).

Таблица 1. Реология композита

Скорость поршня, мм/мин	Положение, мм	Скорость, мм/с	Сила, Н	Давление, МПа
5	65,0	0,08296	7332,5	40,941
7,5	62,2	0,11688	7130,0	40,970
10	57,6	0,16663	9187,5	53,490

Для оценки эмиссии органических веществ из композита было проведено определение химического потребления кислорода в воде после экспонирования в ней полученных образцов композита. По полученным данным, можно сделать вывод, что композит медленнее отдает органические вещества в воду, чем высушенный отработанный кизельгур. Это объясняется тем, что входящий в состав композита латекс на основе натурального каучука имеет наружный слой, состоящий из белков и липидов, обеспечивающих гидрофобные свойства, которые препятствуют эмиссии органических веществ из отработанного кизельгура в воду.

Исследовано влияние полученного композита на свойства почвы. Отмечено увеличение гигроскопической влаги в почве при внесении в нее полученного композита, а также повышение содержания гумуса. Несмотря на высокую эффективность, отмечены нюансы применения: необходимость строгого контроля дозировок (избыток каучука снижает плотность гранул и усложняет механизированное внесение) и гранулометрического состава. Результаты эксперимента подтверждают перспективность применения композитов на основе натурального каучука и отработанного кизельгура для восстановления деградированных почв и перехода к экономике замкнутого цикла.

УДК 678.762.2

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Е.А. Моргачева, И.Н. Пугачева, С.С. Никулин

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия*

Одной из важнейших задач промышленной экологии является решение проблемы утилизации отходов. Это позволит не только уменьшить нагрузку на биосферу, но и получить дополнительный источник продукции или энергии. Существует определенная группа отходов производства и потребления, которые создают типовые экологические проблемы в каждом регионе России. К числу таких отходов следует отнести макулатуру, древесные, текстильные и полимерные отходы, изношенные шины и некоторые другие отходы. Существуют производства по переработке указанных отходов. Однако, значительная часть отходов не собирается и не перерабатывается. В настоящее время в связи с увеличением объемов захоронения отходов на свалках и полигонах, все более остро ставится вопрос об увеличении доли утилизации отходов. В общем виде все текстильные отходы могут быть распределены на четыре основные группы. К первой группе могут быть отнесены волокнистые отходы производства, характеризующиеся высоким качеством, которые перерабатываются на том же предприятии, где и образуются. Ко второй группе относят текстильные отходы производства, которые не могут быть переработаны на тех предприятиях, где они образуются, а подлежат отправке на специальные фабрики по переработке вторичного сырья. К третьей группе относятся текстильные отходы производства и потребления, состоящие из химических, хлопковых и смешанных волокон, которые вследствие отсутствия специфического оборудования для их переработки, чаще всего используются как обтирочный материал или просто выбрасываются на свал-

ки. К четвертой группе текстильных материалов относятся низкосортные отходы производства, такие как подметь и пух из пыльных камер и т.п., которые практически непригодны для производства вторичной текстильной продукции. Одним из перспективных направлений переработки и применения текстильных отходов, может быть, производство резинотехнических изделий, в котором они могут использоваться в виде волокнистых добавок для полимерных материалов [1].

В качестве объектов исследования был выбран: латекс эмульсионного каучука марки СКМС-30 АРК; подкисляющий агент – водный раствор серной кислоты. Волокнистая добавка была получена из текстильных отходов, путем разволокнения и измельчения (длина льняного волокна составляла 2-5 мм, дозировка 3; 5; 7; 10 % мас. на каучук). Процесс коагуляции проводили по общепринятой методике. Анализ полученных данных показал, что введение волокнистой добавки в эластомерную композицию на стадии ее получения совместно с коагулирующим агентом, приводит к увеличению выхода образующейся крошки каучука, при небольшом сокращении расхода подкисляющего агента. Введение волокнистого наполнителя на стадии латекса способствует равномерному его распределению в объеме получаемой полимерной матрицы. В дальнейшем из полученного наполненного волокнистой добавкой каучука, могут быть изготовлены резины, с целью получения резинотехнических изделий.

Таким образом, переработка отходов производства и потребления, образующихся в больших количествах на предприятиях текстильной промышленности, позволит не только снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, но и получить целевой продукт для промышленности синтетического каучука. В тоже время применение таких волокнистых добавок в технологии получения эластомерных композиций позволит повысить экологичность всего процесса.

Список литературы

1. Пугачева И., Никулин С. Композиционные материалы: получение, свойства и применение. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2017. 219 с.

УДК 678.046

РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ КАУЧУКОВ

*Е.А. Моргачева, И.Н. Пугачева, Н.Ю. Санникова,
С.С. Никулин, Н.И. Репников*

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
lena_morgacheva@mail.ru*

Актуальной проблемой современной промышленности является утилизация отходов, в том числе текстильных, годовой объем которых в России составляет 9-10 тыс. тонн [1]. Одним из перспективных направлений их переработки является применение в качестве модифицирующих добавок при производстве композиционных материалов, в частности, эластомеров [2, 3]. Использование волокнистых наполнителей на основе вторичных ресурсов позволяет не только решить экологическую задачу, но и улучшить физико-механические свойства резинотехнических изделий (РТИ) [4].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния волокнистых наполнителей из отходов химических волокон на процесс коагуляции эмульсионных каучуков и свойства получаемых резиновых смесей.

В качестве объектов исследования использовали латекс СКС-30 АРК, отходы полиамидного и хлопкового волокон. Изучали влияние длины волокна (2, 5, 7, 10 мм), его концентрации (2-5 % масс. на каучук) и природы коагулянта (NaCl, MgCl₂, AlCl₃) на полноту выделения каучука. Коагуляцию проводили при 20 ± 1 °С с последующим подкислением 2% раствором серной кислоты. Выход крошки каучука определяли гравиметрически.

Проведенные исследования показали существенное влияние параметров волокнистых наполнителей на эффективность

процесса коагуляции. Установлено, что оптимальными характеристиками волокон являются длина 2-5 мм и концентрация 3-5% масс. на каучук. При этих параметрах достигается максимальный выход коагулюма (97-98%) и наилучшее распределение наполнителя в каучуковой матрице.

Наибольшая эффективность коагуляции наблюдалась при использовании смеси волокон в соотношении 20% хлопкового и 80% полиамидного. При данном соотношении хлопковое волокно способствует улучшению сорбционных свойств системы, а полиамидное - повышению механической прочности композита.

Было установлено, что введение волокнистого наполнителя позволяет снизить расход коагулянта на 25-30%. При использовании хлорида натрия в качестве коагулянта его расход уменьшается со 150 до 100-110 кг/т каучука. Это объясняется способностью волокон захватывать мелкодисперсную каучуковую крошку, которая обычно теряется с промывными водами.

Исследование влияния длины волокна показало, что при длине более 5 мм наблюдается снижение эффективности коагуляции из-за спутывания волокон и ухудшения их распределения в системе. Оптимальной признана длина 2-5 мм, при которой обеспечивается максимальная поверхность контакта волокон с каучуковыми глобулами.

По сравнению с контрольными образцами наблюдалось увеличение сопротивления раздиру на 25-30%, прочности при многократном растяжении на 15-20% и устойчивости к термоокислительному старению на 20-25%.

Микроскопические исследования показали, что волокна равномерно распределяются в каучуковой матрице, обеспечивая улучшение механических характеристик материала.

Таким образом, разработан ресурсосберегающий метод производства эмульсионных каучуков, позволяющий утилизировать текстильные отходы и улучшить качественные показатели резинотехнических изделий. Использование волокнистых наполнителей способствует снижению экологической нагрузки и себестоимости продукции.

Список литературы

1. Моргачева Е.А., Пугачева И.Н., Никулин С.С. Применение вторичных ресурсов текстильной отрасли в производстве эмульсионных каучуков // Наука и практика: материалы Всерос. междисциплинарной науч. конф. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2024. – С. 524-526.

2. Седых В.А., Карманова О.В. Современные тенденции в области модификации эластомеров // Вестник ВГУИТ. – 2020. – Т. 82. – № 1. – С. 145-152.

3. Никулина Н.С. и др. Выделение бутадиен-стирольного каучука из латекса гибридным коагулянтном на основе полидиметилдиаллиламмоний хлорида и вискозного волокна // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2021. – Т. 64. – № 6. – С. 62-68.

4. Ng J.W., Othman N., Yusof N.H. Various coagulation techniques and their impacts towards the properties of natural rubber latex from *Hevea brasiliensis* // Industrial Crops and Products. – 2022. – Т. 181. – С. 114835.

5. Aksyonov V.I., Zolotarev V.L. Производство синтетического каучука в РФ в 2018 году и за последние десять лет. Краткие итоги // Каучук и резина. – 2019. – Т. 78. – № 2. – С. 78-87.

6. Моргачева Е.А. и др. Перспективные подходы к решению экологических проблем производства синтетических каучуков // Водоснабжение, химия и прикладная экология: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель, 2024. – С. 45-48.

УДК 66.092-977

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО
УГЛЕРОДА ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ ПИРОЛИЗЕ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК**

*В.И. Назаров¹, Д.А. Макаренков¹, А.П. Попов¹,
Н.А. Кузнецова², Д.Д.Кубкин¹*

*¹НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия
daniil.kubkin@yandex.ru*

*²МИРЭА – Российский технологический университет,
Москва, Россия*

Изготовление полимерных материалов, автомобильных покрышек и шин является многотоннажным производством. После окончания жизненного цикла этих изделий образуется большое количество плохоутилизируемых отходов (отработанные автомобильные покрышки (ОАП)). В Европе запрещено сжигание ОАП на полигонах и их захоронение. В связи с этим, более перспективным является метод низкотемпературного пиролиза с получением ряда целевых продуктов. К ним относятся: технический углерод (пирокарбон), газовая фаза и синтетические жидкие фракции. При этом можно получать синтетическое жидкое топливо, содержащее лёгкие фракции бензина, дизельного топлива и мазута.

Ранее нами была разработана установка низкотемпературного пиролиза автомобильных покрышек [1]. Основным оборудованием этой установки являются: реактор пиролиза, газодынные теплообменники, гидродинамический пылеуловитель, котёл-утилизатор и система очистки газовых выбросов. Пиролиз проводят в реакторе при температуре 490–500 °С.

Время пиролиза составляет 4 ч, что обеспечивает условия полного термического разложения сырья на жидкую, твёрдую и газообразную фракции. При пиролизе выделяются газообразные продукты в виде парогазовой смеси, и образуется измельчённый

технический углерод. В охлаждаемых теплообменниках отдельно получают жидкотопливные фракции (бензин, дизель, мазут) и воду. Кроме того, образуется технический углерод в виде порошка черного цвета, аналогично графитному сырью и коксу. Образующийся технический углерод представляет собой порошок черного цвета, аналогичный графитовому сырью и коксу.

Технический углерод может использоваться вместо кокса в металлургических печах, а также при получении комплексных топливных гранул (пеллет) с использованием органических отходов (опилки, лузга, пивная дробина, активный ил и другие). В качестве грануляторов используют пеллетайзеры с кольцевой или плоской матрицей [1,2]. В работе был исследован процесс получения топливных гранул в виде таблетированного продукта на основе технического углерода, а также древесных и растительных отходов. Прессование осуществляли в закрытой матрице.

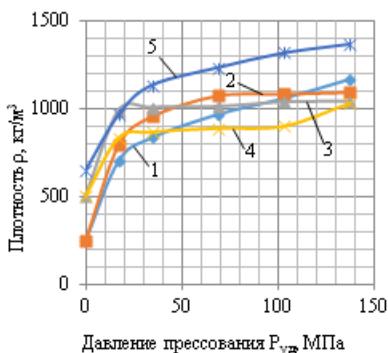


Рис. 1. Зависимость изменения плотности топливных гранул от удельного давления прессования $P_{уд}$ и исходной влажности МПШ $W_{исх.}$:
1 – смесь 1, $W_{исх.} = 20,48$ масс.%;
2 – смесь 2, $W_{исх.} = 14,94$ масс.%;
3 – смесь 3, $W_{исх.} = 16,3$ масс.%;
4 – смесь 4, $W_{исх.} = 40,9$ масс.%;
5 – смесь 13, $W_{исх.} = 10,2$ масс.%

Объектом исследования были выбраны 5 композиций, содержащие технический углерод, опилки, лузгу, пивную дробину, торф и активный ил в различных соотношениях. В качестве связующего использовались водный раствор лигносульфонатов, водный раствор ПВА и Биопан–Б2, на основе лигносульфонатов [3]. Результаты компрессионных испытаний изменения плотности прессовок в зависимости от удельного давления и влажности исходной шихты приведены на рисунке 1.

При этом также определяли предел прочности прессовок на раскалывание.

Добавка такого связующего, как Биопан–Б2 делает массу пластичной в процессе смешения и в конечном итоге обеспечивает хорошую прессуемость исследованных смесей. Установлено, что для выбранных смесей плотные прессовки получают в диапазоне давлений (30–50) МПа и имеют плотность (800–1300) кг/м³. При этом насыпная плотность смесей изменялась, в среднем, от 250 до 500 кг/м³. Необходимая прочность получаемых прессовок обеспечивалась при давлении 100 МПа, и она составляла, в среднем (0,13–0,17) МПа. Для прессовок с использованием технического углерода была определена теплотворная способность $Q = 21000-22500$ (Дж/г) [4].

Выводы по работе: 1. Показано, что при пиролизе целевыми продуктами являются технический углерод и жидкое топливо. 2. Определены прочность и плотность получаемых прессовок. 3. В качестве пеллетайзера предложено использовать роторный гранулятор с плоской матрицей.

Аналитические исследования выполнены с использованием научного оборудования ЦКП «Исследовательский химико-аналитический центр НИЦ «Курчатовский институт».

Список литературы

1. Назаров В.И. Техника и технология совмещённых процессов переработки твёрдых отходов: учебное пособие / В.И. Назаров, Р.А. Санду, Д.А. Макаренков, Н.И. Николайкина. – Москва: ИНФРА-М, 2020. 456 с.

2. Генералов М.Б. Механика твёрдых дисперсных сред в процессах химической технологии. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. 592 с.

3. Строительная композиция и порошкообразная добавка для строительной композиции – лигнопан: пат. 2272008 Рос. Федерация. № 2004130768/03; заявл 21.10.04; опубл. 20.03.06, Бюл. № 8. 5 с.

4. Макаренков Д.А., Назаров В.И., Мавлюдова Я.А. XX Менделеевский Съезд по общей и прикладной химии, Екатеринбург, 2016. с. 462.

УДК 504.5

СОРБЦИОННОЕ УДАЛЕНИЕ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

*Ю. М. Нечесова¹, С.Ю. Панов², А.А. Краснов²,
Ю.А. Пузакова², К.А. Сигитова²*

*¹ Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
malyavina.yulya@ya.ru*

*² Воронежский государственный технический университет,
Воронеж, Россия
su-panov@yandex.ru*

На всех стадиях пользования нефти происходит загрязнение окружающей среды, отрицательное влияющее на здоровье людей. В первую очередь выброс вредных веществ в атмосферу, водную сферу и на почву происходит за счет разливов нефти и нефтепродуктов

Скважины (буровые), компрессорно-насосные станции, нефтехранилища, пункты первичной подготовки нефти, трубопроводы, отстойники, площадки для сжигания газа и конденсата, электрические подстанции и другие сооружения представляет собой потенциальный источник разливов нефти, либо выбросов вредных веществ в атмосферу [1,2].

Особенно большую опасность представляют магистральные нефтепроводы в местах перехода через искусственные и естественные препятствия (автомобильные и железные дороги, реки, озера), например, на подводных переходах. Участки трубопровода, расположенные под судоходными трассами или в каналах, наиболее подвержены более серьезным механическим повреждениям в результате таких естественных причин, как эрозия отмели, оползание дна, а также перемещение якоря в процессе дноуглубительных работ.

Существующие в настоящее время методы удаления последствий разливов нефти и нефтепродуктов основаны на сборе нефтепродуктов сорбентами с последующей совместной утилизацией либо захоронением.

Перспективным для ликвидации последствий разливов нефти и нефтепродуктов является сорбент нефтепродуктов «AG Sorb», изготовленный на основе модифицированной целлюлозы, обработанного специальным способом.

Сорбент «AG-Sorb» предназначен для удаления нефтяных разливов с водной поверхности, ликвидации разливов нефти на почве и с любых твердых поверхностей, очистки технологических и сточных вод от многокомпонентных загрязнений нефтепродуктами, получения биоактивированных сорбентов нефти с целью снижения нефтяных загрязнений донных отложений. Кроме поглощающей и удерживающей способности, сорбент способствует биологическому разложению (ремедиации) нефтепродуктов в природной среде и может применяться в процессе рекультивации земель, загрязненных нефтепродуктами, тяжелыми металлами.

Сорбент производится на основе модифицированной целлюлозы, что позволяет повысить сорбционную емкость на 40-50%, а скорость сорбции на 20-30% относительно аналогов, производимых на основе мха или торфа. Чистая целлюлоза, кроме того, более благоприятная среда для размножения микробов, что приводит к быстрейшему разложению собранных компонентов.

Список литературы

1. Слащева А.В. Источники загрязнения окружающей среды нефтепродуктами. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях, вып.9, 1997, с.54-59.
2. Владимиров В. А. Разливы нефти: причины, масштабы, последствия // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2014. №1. С. 217-229

УДК 543.061:681.586.712-773: 661.185.42+549.321

**ВЛИЯНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЕЙ
НА СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ФАЗ С КВАНТОВЫМИ
ТОЧКАМИ**

А.В. Никулина, Д.А. Пожидаев, С.О.Перькова, Т.А.Кучменко

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
nik_a_68@mail.ru*

Протекание некоторых химических реакций можно оценить по изменению количества паров воды над реакционной смесью. Однако, не смотря на то, что все покрытия пьезокварцевых резонаторов реагируют на присутствие паров воды в изучаемой газовой фазе, актуален поиск сенсоров, стабильных и высокочувствительных к изменению содержания воды. Применение квантовых точек в качестве покрытий пьезокварцевых резонаторов позволяет получить высокочувствительные датчики, селективно реагирующие на определенные легколетучие соединения [1]. Для гидрофилизации квантовых точек известно применение полиэтиленгликоля [2, 3].

Синтезировали квантовые точки сульфида кадмия (CdS) в оболочке хитозана с модификатором ПЭГ 2000 и ПЭГ 4000 (2 мас. % и 4 мас.%). Наличие квантовых точек в синтезированных образцах определяли по свечению коллоидного раствора в ультрафиолете и с помощью спектрофотометрических исследований с последующим расчетом ширины запрещенной зоны. Полученные значения соответствуют ширине запрещенной зоны для квантовых точек CdS.

Полученные многокомпонентные фазы с квантовыми точками нанесли на пьезокварцевые резонаторы и методом пьезокварцевого микровзвешивания на многоканальном газовом анализаторе «МАГ-8» изучили их сорбционные свойства по отношению к парам воды и легколетучих соединений различных клас-

сов: карбоновые кислоты (муравьиная, уксусная, пропионовая), спирты (этиловый, бутиловый, изобутиловый), кетоны (ацетон, метилэтилкетон), эфиры различного строения (этиловый эфир хлоруксусной кислоты, этилацетат, бутилацетат), ацетальдегид, диэтиламин, аммиак.

Сразу после формирования покрытия, содержащие ПЭГ 2000, были намного чувствительней к парам воды, чем модифицированные ПЭГ 4000. Однако со временем сорбционные свойства первых значительно снизились и в течение трех месяцев практически сравнялись с показателями сенсоров, покрытых немодифицированными квантовыми точками. Сорбционная активность покрытий с ПЭГ 4000 уменьшилась не значительно, сенсоры остались чувствительны к парам воды. Все полученные покрытия проявляли высокую сорбционную активность по отношению к низшим карбоновым кислотам и аминам.

Покрытие, содержащее 4 мас.% ПЭГ 4000, может быть рекомендовано в качестве модификатора пьезокварцевого резонатора для контроля за содержанием воды в газовой фазе.

Список литературы

1. Кучменко, Т. А. Направленное изменение сорбционных свойств квантовых точек CdS в хитозане по отношению к летучим соединениям / Т. А. Кучменко, Т. Н. Хмелевская, Р. У. Умарханов // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: материалы IX Международной научной конференции. – Донецк: ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», 2024. – С. 191-194..

2. Бричкин, С. Б. Гидрофильные полупроводниковые квантовые точки / С. Б. Бричкин, Е. В. Черных // Химия высоких энергий. – 2011. – Т. 45, № 1. – С. 3-15.

3. Сперанская, Е. С. Квантовые точки на основе селенида кадмия: получение, модификация и применение в иммунохимическом анализе: специальность 02.00.02 "Аналитическая химия": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук / Сперанская Елена Сергеевна. – Саратов, 2013. – 23 с.

УДК 678.049

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ
ДЛЯ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ
ОТРАБОТАННОЙ ОТБЕЛЬНОЙ ГЛИНЫ**

Л.В. Попова, О.В. Карманова, А.С. Москалёв

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
luba030883@yandex.ru*

С увеличением производства и потребления полимерных материалов возникает необходимость в разработке новых технологических добавок, которые могут улучшать свойства резинотехнических изделий (РТИ). Предъявляются все более высокие требования к качеству и эксплуатационным характеристикам продукции. Одновременно с этим возрастает актуальность вопросов экологической безопасности и рационального использования природных ресурсов. В России повторяется европейская тенденция повышения требований экологической безопасности как исходного сырья, так и готового товара на протяжении всего жизненного цикла. Поэтому все чаще в технологии резин применяются компоненты на основе сырья растительного происхождения, так называемые олеохимикаты. В связи с этим поиск и разработка новых, экологически чистых и экономически выгодных технологических добавок для резин является важной и актуальной задачей.

Одним из перспективных направлений является получение технологических добавок для резин на основе отработанной отбелочной глины - отхода производства рафинированного подсолнечного масла со стадии отбелки. Применение отработанной отбелочной глины позволит сократить затраты на утилизацию отходов, снизить себестоимость продукции и повысить экологичность готовых РТИ.

Отработанная отбелочная глина легко вводится в резиновую смесь, снижает вязкость смеси. Однако на её поверхности адсор-

бированы различные производные жирных кислот, в том числе и непредельных. С целью снижения скорости окислительных процессов для данного отхода необходимо провести ингибирование с целью сохранения стабильности его состава.

Разработан состав технологических добавок, которые представляют собой композицию из отхода стадии отбелки, смеси жирных кислот, насыщенных углеводов парафинового ряда, соединений-противостарителей. Технологические добавки, подвергли термогравиметрическому анализу для изучения влияния температуры на скорость окислительных процессов и соответственно потерю массы в виде продуктов окисления (перекисей и альдегидов). Установлено, что потери массы при температуре до 200°C у разработанных добавок меньше, чем у исходного продукта, что доказывает замедление скорости окислительных процессов.

Опытные добавки испытывались в стандартных рецептурах резин на основе каучука общего назначения марки СКС-30АРК. Все добавки не вызывают трудностей при введении в резиновую смесь, не пылят. Изготовленные резиновые смеси имеют глянцевую поверхность и ровные кромки.

Все исследуемые образцы обеспечивают необходимый уровень вязкости опытных резиновых смесей. По уровню условной прочности при растяжении образцы с синтезированными добавками близки, причем самые высокие значения обеспечивают добавки, в качестве противостарителей в которых использовался ионол и ацетонанил. Все резины обладают удовлетворительными физико-механическими показателями.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о возможности использования отработанной отбелочной глины в качестве сырья для получения технологических добавок для РТИ. Дальнейшие исследования в этом направлении могут быть направлены на оптимизацию технологии получения добавок с заданными свойствами, а также на изучение их влияния на свойства резиновых смесей и РТИ в целом.

УДК 678.762.9

ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛЮТАНТОВ

Н.Ю. Санникова, А.С. Казакова, П.Т. Суханов

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
cni@inbox.ru*

В настоящее время растительные отходы сельского хозяйства, накапливающиеся в большом количестве, представляют практический интерес в качестве вторичного сырья. Основными достоинствами этого направления являются низкая стоимость продукта. Одним из направлений изучения данных материалов является получение новых адсорбентов. Они могут применяться для решения экологических проблем, таких как очистка сточных вод, газовых выбросов, грунта и т. д.

Одним из самых массовых отходов растительного сырья является шелуха риса, содержание которой по массе может достигать до 30% от общего количества выращиваемого зерна. В настоящее время существует несколько способов переработки шелухи: производство пищевых добавок для животных, получение аморфного кремнезёма. Несмотря на это, большая часть этого ценного сырья сжигается или уничтожается с помощью гниения, так как существующие способы переработки экономически нецелесообразны, что связано с составом самой шелухи [1].

Цель работы – изучить адсорбенты на основе термообработанной рисовой шелухи для извлечения промышленных поллютантов для водных сред.

В настоящее время существует несколько способов переработки рисовой шелухи, позволяющих производить сорбенты, например, термообработанная рисовая шелуха (ТШР) и диоксид кремния. Основные стадии, предлагаемого способа переработки, следующие сжигание сырья в оптимальном режиме, переработка

полученной золы щелочным выщелачиванием, активация полученного угля, дополнительная обработка [1].

Условия термообработки оказывают серьёзное влияние на скорость карбонизации и качество готового продукта. Для получения сорбента высокого качества, температура горения РШ должна быть ниже 850 °С. При сжигании при более высокой температуре, зола имеет белый цвет, что говорит о высоком содержании диоксида кремния. При этом снижаются пористость и сорбционная активность полученного угля.

В работе применяли сорбент ТРШ – полидисперсный порошок, состоящий из фрагментов чешуек рисовой шелухи с размером 0,2-5,0 мм и преобладанием фракции 1,0-2,0 мм. Объекты исследования: красители Е110 «Солнечный закат», Е122 «Кармуазин», Е124 «Понсо 4R» и Е132 «Индигокармин», широко применяемые пищевой промышленностью.

В работе получена кинетическая зависимость сорбции по степени извлечения, а также от массы сорбента и концентрации аналита. В зависимости от времени можно выделить 2 этапа сорбции. На первом (0-20 мин) наблюдается активная сорбция всех красителей. С 20 до 40 минут скорость сорбции замедляется и после 40 минут достигается химическое равновесие. Краситель Е122 сорбируется наиболее активно, а Е124 менее. Это связано с гидрофильностью аналита, выражаемой в отношении массы гидрофильной части молекулы к ее массе.

Установлено, что наиболее эффективна сорбция в динамических. При этом извлечение красителей достигает 70-90 % и увеличивается в ряду: Е124<Е132<Е110<Е122. Полученные данные позволяют рекомендовать ТШР как эффективный сорбент для очистки водных растворов от синтетических красителей.

Список литературы

1. Коробочкин В.В. Получение активированного угля пиролизом рисовой шелухи Вьетнама / В.В. Коробочкин, Н.М. Хиеу, Н.В. Ту, Н.В. Усольцева // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328, № 5. – С. 6–15.

УДК 621.565.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАФИНОВЫХ ОТХОДОВ В ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

*У.С. Сорокина¹, И.С. Косолапов¹, Ю. М. Нечесова²,
С.А. Косухин¹, С.Ю. Панов¹*

*¹Воронежский государственный технический университет,
Воронеж, Россия, su-panov@yandex.ru*

*²Воронежский государственный университет инженерных
технологий, Воронеж, Россия, talyavina.yulya@ya.ru*

Проблемы с парафинами в нефтяной отрасли связаны с осложнениями в работе скважин, нефтепромыслового оборудования и трубопроводных коммуникаций.

Парафиновые отложения формируются при изменении условий эксплуатации, переходят в твердую фазу и осаждаются на внутренних поверхностях труб и резервуаров. Вместе с тем парафинам можно найти прикладное применение.

В современных условиях перспективно создания энергоэффективных систем с использованием накопителей тепловой энергии.

Для накопления тепловой энергии широко используют вещества с фазовым переходом, преимущественно типа «твердое тело–жидкость», обеспечивающие объемную и массовую плотность хранения энергии теплоты и холода в 5–10 раз выше в сравнении с аккумулирующими жидкостями. Органические соединения (парафины, жирные кислоты) относятся к веществам с фазовым переходом, применяемым в накопителях тепловой энергии.

Методы расчета систем с аккумуляторами тепловой энергии заключаются в решении задачи Стефана о нестационарном теплообмене при фазовых переходах применительно к накопле-

нию тепловой энергии с получением численного решения этой задачи.

Типичными парафиновыми восками являются насыщенные углеводородные смеси, состоящие главным образом из алканов прямой цепи ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$). Они химически инертны, стабильны при многократных фазовых переходах, имеют небольшие температуры переохлаждения, у этих веществ при плавлении или затвердевании стабильна граница раздела фаз без перехода одной фазы в другую. Однако они имеют относительно высокую стоимость. Применение в качестве вещества с фазовым переходом парафиновых отходов нефтедобычи и нефтетранспорта делает теплотехнические аккумуляторные установки высокорентабельными.

Также недостатком парафинов является низкая теплопроводность (0,15–0,3 Вт/(м·К)), что снижает интенсивность теплообмена в процессах зарядки и разрядки аккумуляторов тепловой энергии, и низкую плотность (750–850 кг/м³), что увеличивает объемы аккумулирующих емкостей.

Предлагается интенсифицировать процесс теплопередачи введением в вещества с фазовым переходом частиц материалов с высокой теплопроводностью (порошка алюминия) или посредством пропитки парафином пористых материалов. При этом, по нашим расчетам, теплопроводность может быть увеличена в два раза.

Аккумуляция тепловой энергии повышает эффективность теплоэнергетических систем, уменьшает пиковое потребление электроэнергии и мощности тепловых установок при переменных нагрузках.

УДК 614.7

**РОЛЬ РОСПОТРЕБНАДЗОРА В ОБЕСПЕЧЕНИИ
САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ
(С ПРИМЕРАМИ ПО ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Е.М. Студеникина

*ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии
в Воронежской области», Воронеж, Россия,
Воронежский государственный медицинский университет им.
Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия
katrin-vrn@bk.ru*

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека Роспотребнадзор – контрольно-надзорное ведомство. Основная функция – обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения, а также защита прав потребителей. Это ведомство играет значимую роль в обеспечении химической безопасности производств в Российской Федерации. Его деятельность включает работу в области законодательной базы, контроль за соблюдением требований к химической безопасности, научно-исследовательскую деятельность и международное сотрудничество. Служба функционирует в соответствии с Административными регламентами.

Условно направления по обеспечению химической безопасности на объекте можно разделить на внешние для населения и внутренние для работающих. Специалисты Роспотребнадзора, взаимодействуя с другими ведомствами в рамках своих полномочий (с Росприроднадзором, Федеральной службой по труду и занятости и другими), проводят санитарно-эпидемиологическую экспертизу проектов ПДВ, НДС, СЗЗ, паспортов отходов, осуществляют контроль и мониторинг воздействия химического фактора на население и работающих.

Роспотребнадзор занимается и научной деятельностью. Научно-исследовательские институты Роспотребнадзора проводят работы, направленные на обеспечение химической безопасности производств, например:

- разработкой предельно-допустимых концентраций загрязняющих веществ в объектах окружающей среды;
- подготовкой национальных стандартов и технических регламентов, устанавливающих требования к химической безопасности;
- созданием новых аналитических методов и систем мониторинга для решения задач обеспечения химической безопасности.

Переходя к оценке ситуации на территории Воронежской области и анализу данных территориального Управления Роспотребнадзора, следует отметить региональную актуальность рассматриваемой проблемы. Это связано с тем, что на территории Воронежской области осуществляют производственную деятельность 4632 организации и предприятия, в результате которой в атмосферный воздух поступает более 350 наименований загрязняющих веществ.

На 2024 год санитарно-защитные зоны организованы на 3021 объекте. В 2024 году разработали проекты организации санитарно-защитной зоны 319 вновь созданных или реорганизованных объектов. В отношении 82 объектов установлены (изменены) санитарно-защитные зоны, существование 5 санитарно-защитных зон прекращено [1].

К наиболее крупным предприятиям в регионе отнесены предприятия самолётостроения (филиал ПАО «ИЛ-ВАСО»), химической и нефтехимической промышленности (АО «Минудобрения», АО «Воронежсинтезкаучук», ЗАО «Воронежский шинный завод»), станкостроительного и машиностроительного комплекса (АО «Воронежстальмост», ОАО «Рудгормаш»).

В динамике за последние три года доля населения, проживающего в границах санитарно-защитных зон промышленных предприятий, снизилась до 0,17%.

В рамках региональных контрольно-надзорных мероприятий в части оценки условий труда на промышленных предприятиях по химическому фактору в 2024 году на 94-х промышленных объектах исследовано 5647 пробы воздуха на пары и газы, превышения ПДК веществ не установлены; 2874 пробы воздуха на пыль и аэрозоли, из них с превышением ПДК - 39 (1,35%), из них с превышением ПДК веществ 1 и 2 класса опасности – 15 (0,52%). Пробы воздуха рабочей зоны, не отвечающие гигиеническим нормативам по химическим факторам (пыль и аэрозоли), установлены на предприятии по производству химических веществ и химических продуктов (ООО «Придонхимстрой Известь») в Россошанском муниципальном районе и на предприятии по добыче полезных ископаемых (АО «Павловск-Неруд») в Павловском муниципальном районе. Превышения гигиенических нормативов обусловлены несовершенством технологических процессов и неэффективной работой вентиляционных систем [1].

Приоритеты деятельности Роспотребнадзора в настоящее время направлены на проведение профилактических визитов, т.е. на конструктивный диалог с хозяйствующими субъектами, в ходе которого достигается консенсус взаимоотношений. В регионе есть положительные примеры такого взаимодействия в части санитарно-гигиенических и экологических мероприятий.

Эффективное решение обеспечения санитарно-гигиенической и экологической безопасности химических производств достигается открытым диалогом, взаимодействием предприятий с контрольно-надзорными ведомствами и населением.

Список литературы

1. Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Воронежской области в 2023 году» – Воронеж: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области, 2024 – 199 с. Электронный ресурс. https://36.rospotrebnadzor.ru/download/dokl_seb_2023.pdf (дата обращения 15.09.2025).

УДК 504.5

**К ВОПРОСУ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ВОДОРАСТВОРИМЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Л.Н. Студеникина, А.А. Мельников, А.А. Леонова, Т.Р. Поваляева

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
lubov-churkina@yandex.ru*

Рынок водорастворимой упаковки в последние годы демонстрирует значительный рост и, как ожидается, будет продолжать расширяться, при среднегодовом темпе роста от 5 до 10 %. Водорастворимые упаковочные материалы выпускаются рядом иностранных производителей и находят применение для упаковки ядохимикатов, моющих средств, строительных смесей, а также одежды и медицинских инструментов, подлежащих стерилизации и проч.

Водорастворимую упаковку можно получать на основе различных полимеров как искусственного (в частности, поливиниловый спирт), так и природного происхождения (например, крахмал, желатин и пр.). Однако если речь идет о синтетических полимерах (например, ПВХ), то до настоящего времени не до конца изучены вопросы биодegradации материала в реальных условиях окружающей среды. По данным аналитического обзора авторитетными учеными подвергается сомнению экологическая безопасность использования синтетической водорастворимой упаковки, устойчивой к деструкции и природных водоемах и почвах при отсутствии специфических микроорганизмов-деструкторов, что приводит к загрязнению окружающей среды ксенобиотиками.

Также следует учитывать, что ПВХ выпускаются промышленностью различных марок, отличающихся степенью гидролиза, которая влияет на температуру растворения. Поливиниловый спирт, содержащий до 5% ВА-групп, набухает в холодной и рас-

творяется в нагретой до 90-100°C воде, ПВС с 5-10% ВА-групп растворяется в воде при 65-85 °С (как следствие – ПВС с содержанием ВА-групп менее 10% не способен к гидролизу в естественных природных условиях). ПВС с 10-15% ВА-групп растворяется при нагревании и частично - при комнатной температуре, с 15-25% ВА-групп - при 20 °С (и соответственно может подвергаться гидролитической деструкции в условиях окружающей среды) [1].

Экологическая безопасность водорастворимых полимеров природного происхождения не вызывает сомнений, т.к. в природе присутствуют механизмы их деструкции и вовлечения в круговорот веществ продуктов деструкции. Однако, такие материалы имеют стоимость на порядок выше, чем стоимость синтетических аналогов. Компаундирование синтетических и природных полимеров при получении функциональных материалов, в частности, для упаковочной индустрии, позволяет снизить себестоимость материала и регулировать свойства [2]. Влияние природы полимеров и особенностей получения на свойства композита требует изучения для прогнозирования поведения материала при эксплуатации и утилизации.

Список литературы

1. Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Репин П.С., Зуева Н.В., Матвеева А.В., Мельников А.А. Особенности гидролитической и ферментативной деструкции материалов на основе поливинилового спирта. Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2022. № 4 (86). С. 34-44.

2. Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В. Особенности высоконаполненных композитов на основе различных марок поливинилового спирта // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83. № 1 (87). С. 316-322

УДК 678.21.23.67:66.063.6

**ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК
НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВОДНОЙ ПОЛИУРЕТАНОВОЙ
ДИСПЕРСИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРОПЕЛЛЕНТОВ
ДЛЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
В АЭРОЗОЛЬНОЙ УПАКОВКЕ**

М.О. Чижменко, А.Г. Нестерова

*Российский химико-технологический
университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия
m_chizhmenko@mail.ru*

В настоящее время производители стремятся выпускать более экологичные лакокрасочные материалы (ЛКМ) и всё больше обращают внимание на водно-дисперсионные (ВД) краски. Такая тенденция наблюдается и на рынке аэрозольных ЛКМ.

ВД краска в аэрозольной упаковке (АУ) не распространена в мире и вообще не производится в нашей стране по причине отсутствия устойчивости ЛКМ под воздействием пропеллента. Со временем наблюдается процесс коагуляции, краска «сворачивается» внутри аэрозольного баллона. На данный момент в России не существует технологии производства ЛКМ на водной основе в АУ.

Для создания отечественной технологии получения качественных экологически полноценных ВД аэрозольных ЛКМ были проведены исследования влияния стабилизирующих добавок на устойчивость водной полиуретановой дисперсии (ПУ) под воздействием пропеллентов и выбор наиболее устойчивой системы для дальнейшего производства ВД лакокрасочных материалов в аэрозольной упаковке с заданными свойствами.

Для оценки устойчивости визуальные испытания на коагуляцию систем проводили в прозрачном аэрозольном баллоне. Испытания на стабильность во времени проводили в натуральных аэрозольных баллонах, завальцованных и запаянных пропел-

лентами на производственной автоматической аэрозольной линии Solmatic (Польша).

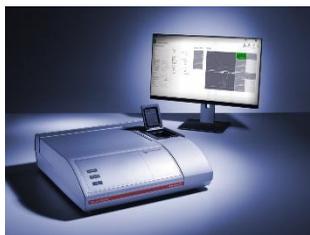


Рис.1 Лазерный анализатор

Экспресс - испытания – в термостате ТС-200 СПУ (Россия) в течение 18 недель (условно 3 года по экспресс-методике старения материалов). Изменение размеров частиц и ζ -потенциала (дзета-потенциала) систем на лазерном приборе Litesizer (Anton Paar GmbH, Германия), рис.1.

Ранее были проведены исследования по влиянию пропеллентов пропан-бутана высокого давления и низкого давления, диметилового эфира (ДМЭ), углекислоты и азота на акриловую, стирол-акриловую и полиуретановую водные дисперсии. Наиболее устойчивыми показали себя системы с ПУ дисперсией в сочетании со стабилизирующими добавками метилового эфира дипропеленгликоля (МЭДПГ) и смеси изопропилового спирта (ИПС) и МЭДПГ под воздействием азота, ДМЭ и их смеси. Максимальный результат ζ -потенциала под воздействием пропеллентов составил не более 29 mV. Агрегативно устойчивыми считаются системы с показателем дзета ζ -потенциала > 50 mV.

Для придания большей устойчивости были выбраны и добавлены доступные на рынке неионогенные ПАВ: оксиэтилированный нонилфенол, алкилполиглюкозид C8-C10, isotridecanol ethoxylate C13EO 8 в количестве 0,2 % масс., приводящие к уменьшению агрегации частиц при соударениях и снижению риска коагуляции. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Наибольшую устойчивость проявила система 1 с добавкой Isotridecanol ethoxylate C13EO 8 под воздействием азота. В этом случае наблюдался максимальный результат увеличения ζ -потенциала с 29 до 54,2 mV при минимальном изменении размера частиц - результат - 88 нм (без добавки данного ПАВ наблюдается визуальная коагуляция, размер частиц 106 нм).

Таблица 1 Размер частиц и значение ζ -потенциала

I. ПАВ оксипириро- ванный ноилфенол C9H19C6H4O(C2H4O)	БЕЗ воздействия пропеллентов	Система 1* ПУ+ИПС/МЭДПГ+Н ₂ O+ПАВ 50+17+32,8+0,2 % масс.	Система 2 ПУ+МЭДПГ+Н ₂ O+ПАВ 50+17+32,8+0,2 % масс.
	Размер частиц, нм	82,34	76,33
	ζ - потенциал, mV	-56,1	-53,4
	под воздействием пропеллентов	(размер частиц, нм/ ζ -потенциал, mV)	(размер частиц, нм/ ζ -потенциал, mV)
	N ₂	79,1/-21,3	84,07/-21,2
	N ₂ +ДМЭ	77,05/-21,9	81,06/-19,9
	ДМЭ	109,34/-51,9	133,08/-25,1
II. ПАВ алкилолиг- люкозид C8-C10	БЕЗ воздействия пропеллентов	Система 1 ПУ+ИПС/МЭДПГ+Н ₂ O+ПАВ 50+17+32,8+0,2 % масс.	Система 2 ПУ+МЭДПГ+Н ₂ O+ПАВ 50+17+32,8+0,2 % масс.
	Размер частиц, нм	71,77	75,79
	ζ - потенциал, mV	-56,3	-54,5
	под воздействием пропеллентов	(размер частиц, нм/ ζ -потенциал, mV)	(размер частиц, нм/ ζ -потенциал, mV)
	N ₂	88,28/-54,2	83,21/-22,8
	N ₂ +ДМЭ	88,45/-50,9	92,62/-52
	ДМЭ	97,85/-20,1	111,88/-35,2
III. ПАВ Isotridecanol ethoxyate C13 EO 8	БЕЗ воздействия пропеллентов	Система 1 ПУ+ИПС/МЭДПГ+Н ₂ O+ПАВ 50+17+32,8+0,2 % масс.	Система 2 ПУ+МЭДПГ+Н ₂ O+ПАВ 50+17+32,8+0,2 % масс.
	Размер частиц, нм	85,16	76,95
	ζ - потенциал, mV	-54,2	-52,1
	Под воздействием пропеллентов	(размер частиц, нм/ ζ -потенциал, mV)	(размер частиц, нм/ ζ -потенциал, mV)
	N ₂	78,08/-18,6	-
	N ₂ +ДМЭ	80,19/-32,7	-
ДМЭ	123,36/-52,8	-	

* Без добавки ПАВ ζ -потенциал системы равен 29 mV, размер частиц – 106 нм.

Список литературы

1. Лебедев А.В., Минц С.М., Фермер Н.А. Агрегативная устойчивость синтетических латексов к различным воздействиям // Каучук и резина. 1983. №11. С. 14–19.
2. Холмберг К., Йенсон Б., Кронберг Б., Линдман Б / пер. с англ. Г.П. Ямпольской. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. М.: Издательство БИНОМ. Лаборатория знаний. Серия «Химия», 2007. 528 с.

УДК 544.723.2

СОРБЦИЯ ЛЕТУЧИХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ НА ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ГИДРОФИЛЬНЫХ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

А.А. Шуба, А.В. Никулина, К.Ю. Мащенко

*Воронежский государственный
университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
shuba1nastya@gmail.com*

В последнее время вопросы по сохранению и улучшению экологии затрагивают все сферы деятельности человека. В химической промышленности, анализе также появился термин «зеленая химия», подразумевающий разработки методов, способов и технологий, направленных на снижение или полное прекращение использования и получения веществ, представляющих опасность для окружающей среды и человеческого здоровья. Исследования по применению глубоких эвтектических растворителей на основе низкомолекулярных биологических соединений относятся к области «зеленой химии». Глубокие эвтектические растворители (ГЭР) представляют собой смесь двух и более компонентов, температура плавления которой существенно ниже температуры плавления индивидуальных компонентов [1]. Основной принцип формирования ГЭР заключается в образовании водородных связей между донором и акцептором электронов, что приводит к разрушению кристаллической решетки индивидуальных веществ. К гидрофильным ГЭР относятся соединения холина или аминокислот с донорами электронов, в качестве которых можно использовать полиспирты, органические кислоты, мочевины [2,3]. ГЭР применяются как растворители при проведении синтеза, экстракции соединений, при разработке сенсоров [3,4]. Одним из основных процессов в различных областях применения ГЭР является сорбция веществ, изучение которой позволяет прогнозировать свойства системы и проводить априорную оценку эффективности применения таких систем.

Цель работы – изучить методом пьезокварцевого микровзвешивания особенности сорбции летучих органических соединений из газовой смеси на тонких покрытиях на основе глубоких эвтектических растворителей из холина и различных доноров электронов.

В качестве донора электронов использовали холина хлорид и гидроксид, в качестве акцептора электронов использовали полиспирты C₄-C₆ (эритрит, ксилит, сорбит) и органические дикарбоновые кислоты с разным числом гидроксильных групп (молочную, яблочную, винную). Донор и акцептор электронов смешивали в эквимольных соотношениях и нагревали на водяной бане до 70 градусов при постоянном перемешивании в течение 2 часов до образования жидкого однородного раствора. Затем полученный раствор охлаждали до комнатной температуры, при которой смесь переходила в твердое состояние. Полученный ГЭР растворяли в 95 % (об.) растворе этанола с концентрацией 5 мг/мл и наносили на электроды пьезокварцевых резонаторов методом статического испарения капли и методом напыления с последующей сушкой при температуре 50 °C [5].

Сорбцию летучих органических соединений (ЛОС) исследования на приборе «МАГ-8» (ООО СНТ, Россия) в статических условиях при температуре 22 ± 3°C. В качестве ЛОС выбраны представители различных классов органических соединений – спирты, карбоновые кислоты, эфиры, альдегиды, кетоны (квалификации ч.д.а.). Из предположения справедливости уравнения Зауэрбрея для выбранных условий эксперимента оценивали степень извлечения ЛОС из газовой смеси и влияние массы, природы покрытия на скорость и величину адсорбции ЛОС.

Установлено, что с ростом массы покрытия от 5 до 15 мкг величина адсорбции ЛОС уменьшается в 2 – 4 раза, следовательно, для максимально эффективного использования свойств ГЭР необходимо формировать покрытия с небольшой массой (5-6 мкг). При изучении стабильности покрытий в процессе сорбции ЛОС установлено, что формирование покрытий методом напыления из газовой смеси более предпочтительно методу статического испарения капли. Применение гидроксида холина в качестве акцепто-

ра электронов для приготовления ГЭР увеличивает величину адсорбции уксусной кислоты и аммиака. Применение полиспиртов в качестве донора электронов в ГЭР по сравнению с дикарбоновыми кислотами увеличивает величину адсорбции всех ЛОС.

Установлено, что с ростом углеводородного радикала полиспирта величина адсорбции и скорости сорбции уменьшается для всех изученных веществ. Применение молонной кислоты в качестве акцептора в ГЭР по сравнению с другими дикарбоновыми кислотами увеличивает адсорбцию практически всех изученных ЛОС, за исключением аммиака, для которого наибольшая адсорбция характерна на покрытии с применением яблочной кислоты.

Список литературы

1. Морозова О.В. Глубокие эвтектические растворители в биотехнологии / О.В. Морозова, И.С. Васильева, Г.П. Шумакович [и др.] // Успехи биологической химии. – 2023. – Т. 63. – № 9. – С. 301-348.
2. Шишов А. Ю. Глубокие эвтектические растворители в химическом анализе. возможности и ограничения / А. Ю. Шишов // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, №1. С. 278-282.
3. Андрусенко Е.В. Природные глубокие эвтектические растворители — перспективные агенты для экстракции веществ из растительного сырья / Е.В. Андрусенко, Р.И. Глушаков, Г.А. Редкин // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. – 2024. – Т. 22. – № 1. – С. 5–15.
4. Shuba A. Development of a Chemical Sensor Based on Deep Eutectic Solvents and Its Application for Milk Analysis / Shuba A., Anokhina E., Umarkhanov R., Bogdanova E. // Eng. Proc. – 2023. – V. 48. – № 34. <https://doi.org/10.3390/CSAC2023-14889>.
5. Шуба А. А. Оценка возможности прогноза и регуляции сорбционных свойств композитных покрытий пьезокварцевых сенсоров / А.А. Шуба, Т.А. Кучменко, и Р.У. Умарханов // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2023 – Т. 23. – №. 4. – С. 630-641.

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарные доклады	10
ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПРОЕКТА «МАЛОТОННАЖНАЯ ХИМИЯ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРЫ» ПО ПРОГРАММЕ «ПРИОРИТЕТ-2030» <i>М.А. Ваниев</i>	11
ДИНАМИЧЕСКИЕ, ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА РЕЗИН И ПОЛИХРОМАТИЧЕСКИЕ, ПОЛИХРОННЫЕ И ПОЛИСХЕМАТИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ РАЗНОЗВЕННЫХ АНСАМБЛЕЙ ПОЛИДИЕНОВ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКАХ <i>Ю.Ф. Шутилин</i>	13
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ СИНТЕЗА ПОЛИМЕРОВ <i>Т.И. Игуменова</i>	20
УВЯЗКА ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ХЕМОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ. НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ <i>Е.Г. Гашио</i>	28
Секция 1. «Химическая технология неорганических веществ и материалов»	32
ОСАЖДЕНИЕ ГИДРОКСИДОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ ОКСИДОМ МАГНИЯ <i>Е.А. Ананьева, В.А. Журавлев, П.А. Сергеев</i>	33
РАЗРАБОТКА АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОФОРМЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОДИЯ <i>А.Б. Аринова, В.П. Дмитриенко, Д.А. Макаренко</i>	35

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ С ХЕЛАТООБРАЗУЮЩИМИ ИОНООБМЕННИКАМИ В ПРИСУТСТВИИ АМИНОКИСЛОТ <i>А.В. Астапов, Л.П. Бондарева</i>	39
ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ ЭЛЕКТРОХРОМА WO_3 МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ПЭТ <i>Г.Ф. Байгузжин, Е.С. Бокова, П.В. Пащенко, Е.П. Гребенников, П.С. Шмелин</i>	41
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДНОГО ГЛАУКОНИТА МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА <i>Е.М. Горбунова, К.Б. Ким</i>	43
КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ И РАЗДЕЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ ЗОЛОТА, ПЛАТИНЫ И ПАЛЛАДИЯ <i>В.Р. Губанова, С.И. Нифталиев, Н.Я. Мокшина</i>	45
ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВИСМУТА НИТРАТА ОСНОВНОГО <i>А.С. Даминов, О.Д. Шеина, Ю.М. Юхин</i>	47
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВИТАМИНА B_{12} ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ <i>М.С. Игумнов, С.И. Нифталиев, Н.Я. Мокшина</i>	50
КОРУНДОВАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ РОССИЙСКОГО ГЛИНОЗЕМА С ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ СПЕКАНИЯ <i>С.А. Казаков, Д.А. Першаев, Н.А. Макаров</i>	52
ДЕГРАДАЦИЯ ИОНООБМЕННЫХ МЕМБРАН ПРИ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗЕ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ <i>О.А. Козадерова, Я.С. Хухаркина, Л.А. Синяева</i>	54
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА АДСОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИДА ЦИРКОНИЯ ДЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ИЗ ВОЗДУХА ИЗОЛИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ <i>Т.В. Конькова, А.Н. Михальченкова, Ю.П. Бутылкин, П.А. Харин, С.Н. Рукавицин, А.С. Цыганков</i>	56

ПОЛУЧЕНИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 0,95Al ₂ O ₃ -0,05Sm ₂ O ₃ <i>И.В. Кузнецова, Е.А. Кривошейцева, А.А. Пухова</i>	58
СИНТЕЗ И ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА Al ₂ O ₃ -V ₂ O ₅ <i>И.В. Кузнецова, В.С. Сертаков, М.И. Колотушкин</i>	61
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ТРОЙНОЙ СИСТЕМЫ SiO ₂ -Gd ₂ O ₃ -Eu ₂ O ₃ <i>С.И. Нифталиев, И.В. Кузнецова, Чан Ньат Ань</i>	64
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ ВК94-1 С ДОБАВКОЙ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ <i>А. А. Соколин, Н. А. Макаров</i>	66
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МНОГОСЦЕНАРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ <i>Р.Ш. Узбеков</i>	69
Секция 2. «Химия и технология органических соединений, полимеров и композитов».....	
АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ В МЕДИЦИНСКОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ: ТЕКУЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РОСТА <i>Н.Д. Авдеев, С.Н. Мусатов, Ю.А. Наумова, Л.Р. Люсова</i>	72
ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ БУТАДИЕН- α -МЕТИЛСТИРОЛЬНЫХ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ НА ИХ СВОЙСТВА <i>Е.И. Антман, Л.Р. Люсова, Л.С. Шибряева, С.Г. Карпова, Ю.К. Луканина, А.К. Булкина</i>	75
МОДИФИКАЦИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО БУТАДИЕН- СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА (ДССК) АЗОМЕТИНАМИ <i>В.В. Бердников, О.В. Карманова, А.В. Фирсова, А.Г. Харитонов, Е.Л. Полухин, М.А. Кулигина</i>	78

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОЛИГОДИЕНОВ В РЕЗИНОКОРДНЫХ СИСТЕМАХ <i>В.Д. Ворончихин, К.А. Дубков, Д.П. Иванов, С.В. Семиколенов</i> ..80	80
ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ БЕЛОЙ САЖИ НА КАРБОНИЗИРОВАННУЮ РИСОВУЮ ШЕЛУХУ В СОСТАВЕ РЕЗИН НА ОСНОВЕ ИЗОПРЕНОВОГО КАУЧУКА <i>К.Р. Габдулхаев, Л.Ю. Закирова, Е.М. Готлиб, Ю.Н. Хакимуллин</i> 82	82
НАПОЛНЕННЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО- АКРИЛАТНЫХ ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЙ <i>Р.Г. Домниченко</i> 85	85
АДСОРБЦИЯ L – ПРОЛИНА НА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ OCSiAl ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА <i>Д.А. Дулепина, Д.Л. Чикин, Е.В. Бутырская</i> 88	88
МУЛЬТИСЕНСОРНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ НОВЫХ ПРИВИТЫХ СУЛЬФОПОЛИМЕРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА РОТОВОЙ ЖИДКОСТИ ДЕТЕЙ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ КАРИЕСРЕЗИСТЕНТНОСТИ ЭМАЛИ <i>Т.Р. Жучков,</i> <i>И.В. Какунина, А.С. Ельникова, П.А. Юрова, Ю.С. Медведева,</i> <i>Ю.А. Ипполитов, А.В. Паршина, О.В. Бобрешова</i> 91	91
КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ИТАКОНАТА КАЛЬЦИЯ И ОКСИДА ГРАФЕНА, КАК МАТЕРИАЛ АКТИВНОГО СЛОЯ ДАТЧИКА СОДЕРЖАНИЯ АЦЕТОНА В ВОЗДУХЕ <i>А.О. Зарубина, А.Д. Васильева, Т.С. Колесникова, И.Е. Уфлянд</i> ..94	94
ДАТЧИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ БЕНЗОЛА И КСИЛОЛОВ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ <i>А.О. Зарубина, А. Васильева, Т.С. Колесникова, И.Е. Уфлянд</i> 97	97
ФОТОСТАБИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И КОМПЛЕКСОВ ЕВРОПИЯ <i>Р.М. Зиятдинова, А.С. Крупин, А.А. Князев, Ю.Г. Галяметдинов</i> 100	100

ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ МЕМБРАН МФ-4СК/ПОЛИАНИЛИН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСПЕЦИФИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ РАКА РОТОВОЙ ПОЛОСТИ <i>И.В. Какунина, В.А. Шимбарева, А.С. Ельникова, П.А. Юрова, А.В. Паршина, О.В. Бобрешова</i>	104
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШИННЫХ РЕЗИН ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ <i>О.В. Карманова, А.А. Солодова, А.В. Касперович</i>	106
ИССЛЕДОВАНИЕ АДсорбЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕНТОНИТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО АКТИВАТОРА ВУЛКАНИЗАЦИИ <i>О.В. Карманова, А.А. Голякевич, Ж.С. Шашок, Е.А. Меренкова</i>	108
РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР МАСЛОБЕНЗОСТОЙКИХ РЕЗИН ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ <i>О.В. Карманова, П.С. Москалев</i>	110
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ПАВ НА СВОЙСТВА АНТИАДГЕЗИОННЫХ СОСТАВОВ <i>А. В. Касперович, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич, А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников, Т. С. Юшкевич, Е. Н. Матюшкова</i>	112
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ПЕНОГАСИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА АНТИАДГЕЗИОННЫХ СОСТАВОВ <i>А. В. Касперович, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников, Т. С. Юшкевич</i>	115
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ОГНЕТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ ФУНКЦИОНАЛЬНО-АКТИВНЫЕ ГЕТЕРОГЕННЫЕ СТРУКТУРЫ <i>В.Г. Кочетков, В.Ф. Каблов, Н.А. Кейбал, О.М. Новопольцева, Д.А. Крюкова, Д.А. Уржумов</i>	118

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СИЛИКАТСОДЕРЖАЩИХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ <i>Е.Ф. Кудина</i>	121
ПРИМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ ПРЕПАРАТОВ <i>Г.А. Кузьменко, Р.Р. Вагизов, Е.В. Енькова, А.В. Кузьменко, Е.В. Комарова, В.М. Болотов, К.И. Обернихин</i>	125
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОСОБЕННОСТИ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КЛЕЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ <i>В.А. Кузнецов, Л.Р. Люсова, С.В. Котова</i>	127
СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ОБОНЯНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОПОЛИУРЕТАНА <i>Т.А. Кучменко, Р.У. Умарханов, В.В. Кургузов</i>	130
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРИРОВАНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРИСУТСТВИИ НАНЕСЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАТАЛИЗАТОРОВ <i>М.А. Лагутин, В.В. Шемет, В.М. Мохов</i>	133
ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ МНОГОКРАТНОЙ ПЕРЕПЛАВКИ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРА ТПЭЭ И ОТХОДОВ ИЗ НЕГО <i>А.Д. Лебедева, А.А. Сергеева, С.Д. Пожидаева</i>	135
ВЛИЯНИЕ МАРКИ И СОДЕРЖАНИЯ БЕНТОНИТА НА СВОЙСТВА АНТИАДГЕЗИОННОГО СОСТАВА <i>А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников, Е. Н. Матюшкова, А.В. Касперович, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс</i>	138
ВЛИЯНИЕ МАРКИ МЕЛА НА СВОЙСТВА АНТИАДГЕЗИОННОГО СОСТАВА <i>А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников, Т. С. Юшкевич, Е. Н. Матюшкова, А.В. Касперович, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс</i>	141
ПОЛУЧЕНИЕ ОГНЕСТОЙКИХ ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ КАУЧУКОВ <i>Н.А. Морозов, В.А. Седых</i>	143

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИУРЕТАНОВОГО ПОКРЫТИЯ ТКАНИ <i>Ю.И. Марущак, Н.Н. Ясинская</i>	146
РАЗРАБОТКА ВОДОНАБУАЮЩИХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИОННОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ <i>А.С. Москалев, С.Р. Овчаренко</i>	149
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА <i>С.С.Никулин, Л.А. Власова, Н.Ю. Санникова, А.И. Семеняченко, Н.С. Никулина</i>	151
АНТИПИРИРУЮЩИЙ ОЛИГОМЕРНЫЙ СОСТАВ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ <i>Н.С. Никулина</i>	155
ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ РЕЗИНОБИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ <i>Е.М. Одноралов, В.А. Седых</i>	158
ПОВЫШЕНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИКАТОРА СБС ДЛЯ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ <i>Е.М. Одноралов, Е.С. Толкачева</i>	161
ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАТОНКИХ ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ <i>А.А. Ольхов, Д.Н. Бемов, А.С. Курносов, О.И. Хан, А. Л. Иорданский</i>	164
ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ НА РАЗМЕР КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ СУСПЕНЗИИ ОКСИДА ЦЕРИЯ <i>Д.С. Плотников, Е.С Бокова, Л.И. Золина, К.А Малкова, Н.В Евсюкова</i>	169
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ ОТ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА В ТВЁРДЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ <i>Т. В. Плякин, Т. Б. Чентемиров, И. Д. Иванов, А. Н. Гайдадин</i>	173

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СИНТЕЗА ЦИКЛОКАРБОНАТОВ ЭПИХЛОРИДРИНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ <i>А.Е. Постнова, Г.В. Рыбина, Л.А. Титова</i>	175
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА СБС-Р В ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ НА ОСНОВЕ КАУЧУКА БНКС-40АМН <i>А.С. Пушницца, В.В. Власов</i>	177
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАСТВОРНЫХ ДИВИНИЛ-СТИРОЛЬНЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ КАУЧУКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ БИОМАСЕЛ <i>П.Ю. Пьяникова, С.А. Лагунова</i>	180
ОЦЕНКА СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ФЕНОЛОАМИННЫХ ОЛИГОМЕРОВ ВС-1А В ПРОЦЕССЕ СТАРЕНИЯ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА <i>В.Ю. Ретти, А.Н. Юрьев, Н.В. Ляпина, М.А. Кулигина, Е.В. Чурилина</i>	184
ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНО-ДИАНОВЫХ ОЛИГОМЕРОВ НА ХИМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ <i>А.В. Сафонов, В.С. Дутова, А.Р. Валеева, Е.М. Готлиб</i>	186
ГИБРИДНЫЙ КОАГУЛЯНТ НА ОСНОВЕ ОТХОДА ПИВОВАРЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭМУЛЬСИОННЫХ КАУЧУКОВ <i>Н.Ю. Санникова, С.С. Никулин, Л.А. Власова, И.А. Писарева</i>	189
МОДИФИКАЦИЯ АДГЕЗИОННОГО ГРУНТА В КЛЕЕВОМ СОЕДИНЕНИИ РЕЗИНА : МЕТАЛЛ <i>В.А.Седых, В.А.Крюков</i>	191
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛАСТИЧНЫХ МЕМБРАН ПИЩЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ <i>В.А.Седых, С.Н.Нархов</i>	194
ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ БУТИЛКАУЧУКА И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА <i>В.А. Седых, С.Г. Тихомиров, А.В. Карманов, М.Н. Холобаев</i>	197

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ АГЕНТОВ СОЧЕТАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА ИСТ-30 <i>А.И. Семеняченко, С.С. Никулин, Н.Ю. Санникова, Н.С. Никулина</i>	200
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БИНАРНЫХ КОМПОЗИТОВ СОСТАВА «ПОЛИВИНИЛОВЫЙ СПИРТ : ПОЛИСАХАРИДЫ» <i>Л.Н. Студеникина, А.А. Мельников</i>	203
ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ВСПЕНИВАЮЩЕЙ И ВУЛКАНИЗУЮЩИХ СИСТЕМ ПОРИСТЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СКЭПТ В УСЛОВИЯХ СИНЕРГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ <i>А.М. Толстов, Ю.А. Наумова, А.С. Трусов</i>	206
ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ СИЛАНОВОГО СВЯЗУЮЩЕГО АГЕНТА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ <i>Е.В. Федулова, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс</i>	209
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРИРОВАНИЯ МАКРОМОЛЕКУЛ В ПРОЦЕССАХ СИНТЕЗА ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ <i>И.А. Хаустов, А.А. Хвостов, К.А. Батулин</i>	211
СИНТЕЗ ТЕПЛОВЫХ ПОРТРЕТОВ НАЗЕМНЫХ МИН НА ОСНОВЕ ИХ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ <i>И.А. Хаустов, А.В. Иванов, В.А. Хвостов</i>	215
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНОГО СОПОЛИМЕРА ИЗОПРЕНА СО СТИРОЛОМ <i>Е. Д. Хлабыстов, А. В. Фирсова, В. А. Седых</i>	218
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ ГАЛОГЕНИРОВАННЫХ КАУЧУКОВ <i>Ж.С. Шашок, Е.П. Усс, О.А. Кротова, А.В. Лешкевич, Ю.В. Грабко, С.Н. Каюшников</i> .	220
ВОЗМОЖНОСТЬ ЗАМЕНЫ БУТИЛКАУЧУКА НА БУТИЛОВЫЙ РЕГЕНЕРАТ <i>Чен Ян, С.В. Фомин, Е.С. Широкова</i>	223

Секция 3. «Экологическая безопасность и ресурсосбережение в химической технологии»	227
АДСОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ САФРАНИНА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ БЕНТОНИТАМИ <i>О.В. Атаманова, А.С. Абрамова, Н.Д. Проказов</i>	228
ВОЗМОЖНОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА СМЕСИ ИОНООБМЕННИКОВ <i>Л.П. Бондарева, Т.Ю. Потапова, А.А. Санникова</i>	230
КЛАСТЕРНАЯ АДСОРБЦИЯ CO ₂ НА АКТИВИРОВАННОМ УГЛЕ NORIT RB2 И МЕТАЛЛИ-ОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСАХ MOF-177 И MOF-505 <i>Е. В. Бутырская, А. А. Пащенко</i>	233
УТИЛИЗАЦИЯ НИТРАТ-ИОНОВ ПРИ ОСАЖДЕНИИ КАРБОНАТОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ <i>А.В. Вальков, В.Е. Лантух, А.А. Юрлицкий</i>	237
СНИЖЕНИЕ ДОЛИ НЕВОЗВРАТНЫХ ОТХОДОВ ПРИ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТРАБОТАННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ <i>М.А. Варнаков, О.Э. Шубабко, М.А. Вартанян</i>	239
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЕРАБОТАННОГО ФОСФОГИПСА В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ ТЕРМОРЕАКТИВНОЙ МАТРИЦЫ <i>П.Д. Горячкин, Н.А. Щербина, Е.В. Бычкова</i>	243
СТРАТЕГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АДСОРБЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ <i>Д.С. Дворецкий, С.И. Дворецкий, Е.И.Акулинин, Г.И. Варников, А.Д. Мальцев</i>	246
МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СОРБЦИОННОГО РАВНОВЕСИЯ И КИНЕТИКИ ОЧИСТКИ ВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ОТ ПРИМЕСНЫХ ГАЗОВ <i>Д.С. Дворецкий, С.И. Дворецкий, Е.И.Акулинин, Г.И. Варников, А.Д. Мальцев</i>	249

ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗА ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ БЕЗ РАЗРУШЕНИЯ <i>Е.В. Дроздова, Т.А. Кучменко</i>	252
КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ПЕРСУЛЬФАТ РАДИКАЛОМ <i>Н.В. Конюк, В.А. Лебедь, Т.В. Конькова, А.М. Гайдукова</i>	255
СЕНСОРНЫЙ АНАЛИЗ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ <i>Т.А. Кучменко, Р.У. Умарханов</i>	257
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ДЛЯ ОКРАШИВАНИЯ СТЕКЛОМАССЫ <i>А.В. Латыпова, М.А. Малютина, А. Букреев, С.Д. Пожидаева</i>	259
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВИНЦА В ВОДНЫХ СРЕДАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ХИМИЧЕСКОГО СЕНСОРА <i>Р.П. Лисицкая, Т.А. Кучменко</i>	263
СХЕМА УТИЛИЗАЦИИ ОКСАЛАТ-ИОНОВ ПРИ ОСАЖДЕНИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ <i>Е.А. Мананкова, И.В. Никифоров, П.А. Рублев</i>	265
УЛАВЛИВАНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ГАЗОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭНЕРГИИ ИЗ БИОМАССЫ <i>А.Ю. Марнов, С.Ю. Панов, А.С. Аксенов, М.Ю. Балабанова</i>	267
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДУКТОВ ДЕГРАДАЦИИ 1,1- ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА В РАСТИТЕЛЬНЫХ ПРОБАХ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ПО ИХ СОДЕРЖАНИЮ <i>Н.В. Маслова, А.С. Сатуров, П.Т. Суханов</i> ...	269
КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА И ОТРАБОТАННОГО КИЗЕЛЬГУРА <i>Л.В. Молоканова, А.В. Протасов, И.Н. Пугачева</i>	271

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА <i>Е.А. Моргачева, И.Н. Пугачева, С.С. Никулин</i>	273
РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ КАУЧУКОВ <i>Е.А. Моргачева, И.Н. Пугачева, Н.Ю. Санникова, С.С. Никулин, Н.И. Репников</i>	275
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ ПИРОЛИЗЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК <i>В.И. Назаров, Д.А. Макаренков, А.П. Попов, Н.А. Кузнецова, Д.Д.Кубкин</i>	278
СОРБЦИОННОЕ УДАЛЕНИЕ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ <i>Ю. М. Нечесова, С.Ю. Панов, А.А. Краснов, Ю.А. Пузакова, К.А.Сигитова</i>	281
ВЛИЯНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЕЙ НА СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ФАЗ С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ <i>А.В. Никулина, Д.А. Пожидаев, С.О.Перькова, Т.А.Кучменко</i>	283
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННОЙ ОТБЕЛЬНОЙ ГЛИНЫ <i>Л.В. Попова, О.В. Карманова, А.С. Москалёв</i>	285
ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛЮТАНТОВ <i>Н.Ю. Санникова, А.С. Казакова, П.Т. Суханов</i>	287
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАФИНОВЫХ ОТХОДОВ В ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ <i>У.С. Сорокина, И.С. Косолапов, Ю. М. Нечесова, С.А. Косухин, С.Ю. Панов</i>	289

РОЛЬ РОСПОТРЕБНАДЗОРА В ОБЕСПЕЧЕНИИ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ (С ПРИМЕРАМИ ПО ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ)	
<i>Е.М. Студеникина</i>	291
К ВОПРОСУ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОРАСТВОРИМЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
<i>Л.Н. Студеникина, А.А. Мельников, А.А. Леонова, Т.Р. Поваляева</i>	294
ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВОДНОЙ ПОЛИУРЕТАНОВОЙ ДИСПЕРСИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРОПЕЛЛЕНТОВ ДЛЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В АЭРОЗОЛЬНОЙ УПАКОВКЕ	
<i>М.О. Чижменко, А.Г. Нестерова</i>	296
СОРБЦИЯ ЛЕТУЧИХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ НА ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ГИДРОФИЛЬНЫХ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ <i>А.А. Шуба,</i>	
<i>А.В. Никулина, К.Ю. Мащенко</i>	299

Научное издание

**ПРОБЛЕМЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ
В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ
(ПИРХТ-2025)**

Материалы всероссийской конференции
с международным участием
(2-3 октября 2025 года)

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка: О.А. Козадерова
Обложка: П.Н. Саввин, М.С. Игумнов, Н.С. Духанина

Подписано в печать .10.2025. Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л 18,3. Тираж 100 экз. Заказ

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
(ФГБОУ ВО «ВГУИТ»)

Адрес университета и отдела полиграфии:
394036, Воронеж, пр. Революции, 19