

Всероссийская конференция



# ПОЛИМЕРЫ и композиты на их основе

2025  
КАЗАНЬ

прикладные и экологические решения

Казань, 21–24 апреля 2025 года



ТЕЗИСЫ  
докладов

## **ОРГАНИЗАТОРЫ**

Научный совет по высокомолекулярным соединениям РАН  
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
ФГБУН «ФИЦ «Казанский Научный Центр Российской Академии Наук»  
Академия наук Республики Татарстан  
Фонд науки и технологий Республики Татарстан  
Общероссийская Общественная Организация «Российское химическое общество им. Д.И. Менделеева»

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

**Хохлов А.Р.** академик-председатель  
**Андреева Т.Н.** профессор  
**Берлин А.А.** академик  
**Вольфсон С.И.** профессор  
**Галимов Э.Р.** профессор  
**Гришин Д.Ф.** чл.-корр. РАН  
**Калачев А.А.** чл.-корр. РАН  
**Музафаров А.М.** академик  
**Новаков И.А.** академик  
**Озерин А.Н.** чл.-корр. РАН  
**Пономаренко С.А.** чл.-корр. РАН  
**Синяшин О.Г.** академик  
**Скирда В.Д.** профессор  
**Стороженко П.А.** академик  
**Чвалун С.Н.** чл.-корр. РАН  
**Ярославов А.А.** чл.-корр. РАН  
**Якиманский А.В.** профессор

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

**Сопредседатели:**  
**Антипин И.С.** член-корр. РАН (химическая секция)  
**Таюрский Д.А.** профессор (физико-математическая секция)

**Секретарь:**  
**Балькаев Д.А.** кандидат технических наук

**Члены оргкомитета:**  
**Амиров Р.Р.** профессор  
**Амирова Л.М.** профессор  
**Ахмадуллин Р.М.** кандидат химических наук  
**Батулин Р.Г.** кандидат физико-математических наук  
**Бурилов В.А.** профессор  
**Гафиатуллин Б.Х.** кандидат химических наук  
**Давлетбаева И.М.** профессор  
**Иванова Н.И.**  
**Зиганшин М.А.** чл.-корр. АН РТ  
**Зиганшина С.А.** кандидат химических наук  
**Казымова М.А.** доцент  
**Недопекин О.В.** кандидат физико-математических наук  
**Соловьева С.Е.** профессор  
**Халитов Т.Ч.**  
**Шамсиева А.И.**

# СИБУР

**Вместе создаем лучшее будущее  
для людей и планеты**

СИБУР – это:

- более 20 промышленных предприятий по выпуску высокотехнологичных синтетических материалов
- более 11 миллионов тонн нефтехимических производственных мощностей
- 10 научно-исследовательских центров
- более 5000 новых сотрудников ежегодно, из них 1500 молодых специалистов
- один из ТОП-10 лучших работодателей по версии Head Hunter



Сплочённая  
команда



Каждый день  
становимся лучше



Безопасность  
без компромиссов



Умный результат



Взаимоуважение



Партнерство

# AhmadullinScientech

## НАУКА В ТЕХНОЛОГИЯХ

**ООО «НТЦ «Ахмадуллины»** является Лицензиаром запатентованных технологий под зарегистрированным товарным знаком AhmadullinScientech, осуществляет комплекс услуг по разработке Базовых проектов на проектирование новых и реконструкцию действующих установок по запатентованным технологиям **DEMERUS** - сероочистки сжиженных углеводородных газов (СУГ), демеркаптанизации керосиновой фракции и технологии **LOCOS** для обезвреживания серосодержащих стоков.

### Технологии

1. DEMERUS – демеркаптанизация углеводородного сырья
2. DeCOS – гидролиз карбонилсульфида
3. LOCOS – очистка серосодержащих сточных вод
4. ПФС-1 – синтез полифениленсульфида
5. Синтез 4,4'-дигидроксидифенила
6. Синтез 4,4'-дихлордифенилсульфона
7. Синтез парадихлорбензола

### Услуги

1. Разработка Базовых проектов, Лицензирование
2. НИР, НИОКР
3. Производство, поставка и загрузка катализатора
4. Авторский надзор за проектированием
5. Обучение персонала

### Продукция

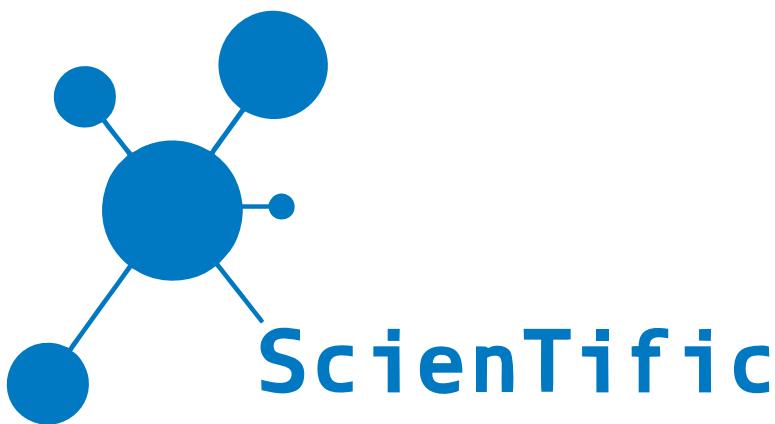
1. Гетерогенный фталоцианиновый катализатор (КСМ-Х)
2. Гомогенный сульфо-фталоцианиновый катализатор (КС-ТСФК)
3. Антиоксиданты

### Химические реагенты

1. Олеум (х.ч.) 62-65%
2. Серный ангидрид
3. Хлорсульфоновая кислота
4. Меркаптаны (этантиол, изопропантиол, трет-бутантиол, изобутантиол, н-бутантиол, н-пропантиол, димеркаптопропанол)

### Стеклодувное производство

Парк пилотного и опытно-промышленного оборудования в Технополисе «ХИМГРАД»



## САЙНТИФИК – ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ ПОЛИМЕРОВ

Компания Сайнтифик предлагает широкий спектр лабораторного оборудования для переработки, испытаний и исследования полимеров в России с 2000 года. Благодаря многолетнему опыту и высокой компетенции специалисты компании подбирают оптимальные технические решения и инструменты для научных и исследовательских организаций и предприятий, специализирующихся на производстве полимерных и композитных материалов, а также изделий из них.

Линейка оборудования для лабораторной переработки полимеров представлено следующими машинами компании Labtech Engineering (Таиланд):

- Лабораторные вальцы для смешивания резиновых или полимерных материалов
- Прессы для вулканизации резин и прессования полимеров
- Одношнековые и двухшнековые экструдеры
- Линии экструзии пленки, листа, филамента и нитей, трубок и линии грануляции

Линейка оборудования для испытаний полимеров представлена брендами Noselab (Италия) и SNTF-Lab (собственное контрактное производство в Китае) и предназначено для:

- Контроля качества сырья
- Проведения испытаний на старение и деградацию
- Проведения температурных испытаний и испытаний на горючесть и воспламенение
- Исследования физико-механических свойств полимерных изделий

Компания специализируется на комплексных решениях: решения полного цикла позволяют подобрать технологию изготовления требуемого изделия и предоставить оптимальное оборудование, организовать необходимый лабораторный контроль качества сырья и готовой продукции, а также обеспечить НИОКР, исследовательские работы и моделирование технологий. Мы обеспечиваем весь цикл работы - от подбора технологии до поставки оборудования и сервисного обслуживания.

Среди клиентов Сайнтифика: КФУ, КНИТУ, Томскнефтехим, ИНХС РАН, Биаксплен, РХТУ, Казаньоргсинтез, ИСПМ РАН, Полипластик, ВИАМ, Метаклэй, МИТХТ, Сибур ПолиЛаб, Каустик, Ампертекс, Институт пластмасс, ТулГУ, ИВС РАН, БФУ, КБГУ и многие другие.

Узнать больше об оборудовании вы можете на сайте: <https://sntf.ru/>



# ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция: Химическая

# **Р-1 МАКРО-, МИКРО- И НАНО-ПЛАСТИК: ЭМОЦИИ И НАУЧНЫЙ ПОДХОД**

Хохлов А.Р.

*Физический факультет Московского государственного университета  
им.М.В.Ломоносова*

*Институт элементоорганических соединений РАН им.А.Н.Несмеянова*

Замусоривание окружающей среды полимерными отходами в последнее время приобретает черты глобального вызова человечеству. За сто лет развития науки о полимерах и полимерной промышленности в мире накопилось около 10 млрд. мусора из отработанных полимерных материалов, которые чрезвычайно медленно деградируют в естественных условиях. Особая опасность связана с загрязнением водных сред – рек, озер, морей и океанов.

Для решения этой проблемы некоторые ученые-экологи предлагают радикально сократить мировое производство полимерных материалов. С этим нельзя согласиться, поскольку эти материалы составляют неотъемлемую часть современной мировой цивилизации. Вместо этого ученые, работающие в области науки о полимерах, должны предложить свои подходы, не связанные с обращением вспять мирового научно-технологического прогресса.

В докладе будет дан обзор основных направлений научных исследований в области науки о полимерах, которые позволяют обеспечить эволюцию полимерной промышленности в сторону создания экологически чистых производств и минимального воздействия на окружающую среду.

Сортировка отходов для их последующего использования может лишь отсрочить замусоривание окружающей среды. Полимерный материал можно подвергнуть вторичной переработке в лучшем случае несколько раз. В конце концов он закончит свой жизненный цикл на свалке, либо будет сожжен. Поэтому ключевыми проблемами являются: (а) продуманная конструкция мусорных свалок; (б) эффективные катализаторы, предотвращающие загрязнение воздуха при горении полимерных материалов.

Отдельно будет обсуждена проблема микро- и нано- пластика (т.е. частиц полимерных отходов размером менее 5 мм). Вред от микро- и нано- пластика для живых организмов, вероятно, переоценивается. В кровь могут проникать лишь частицы размером менее 5 мкм, а через клеточные мембранны могут проходить лишь объекты менее 50 нм. В естественных водных средах эти частицы будут покрыты слоем поверхностно-активных веществ, так что иммунный ответ на эти частицы будет схожим с таковым для мелких частиц пыли/песка, с которыми многие организмы существуют многие миллионы лет.

**Р-2 КОНЦЕПЦИЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНОГО  
МУСОРА И ОЧИСТКИ МИРОВОГО ОКЕАНА ПУТЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
МУСОРНЫХ ОСТРОВОВ**

Музаров А.М.

*Физический факультет Московского государственного университета  
им. М.В.Ломоносова*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии  
наук*

## Р-3 КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ И КОМПОЗИТЫ НА ИХ ОСНОВЕ КАК ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕРМОРАСШИРЯЮЩИХСЯ АКТЮАТОРОВ

Пономаренко С.А., Калинина А.А., Хмельницкая А.Г., Тарасенков А.Н.,  
Казарян Г.С., Безсуднов И.В., Музрафов А.М.

Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук, Москва, Россия  
117393, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 70, [ponomarenko@ispm.ru](mailto:ponomarenko@ispm.ru)

Полимерные актюаторы привлекают большое внимание исследователей благодаря своим необычным свойствам, проявляющимся в изменении их размеров или формы под действием внешних воздействий (электрического поля, света, температуры и др.) и возможностям их использования в мягкой робототехнике. Особое место среди них занимают диэлектрические эластомерные актюаторы (ДЭА), представляющие собой конденсаторы, которые под воздействием приложенного напряжения изменяют свои линейные размеры [1]. Для создания ДЭА используют различные полимерные материалы, в том числе силиконовые эластомеры и композиты на их основе, отличающиеся высокой тепло- и морозостойкостью, а также возможностью регулирования их диэлектрических и механических характеристик в широком диапазоне [2]. Из линейных ДЭА можно создавать пружинные актюаторы, представляющие собой многослойные ДЭА, накрученные на пружину, что позволяет увеличить их силу и максимальное перемещение, а использование в них силиконовых эластомеров приводит к уменьшению времени отклика и существенному расширению температурного интервала использования [3].

Еще одним вариантом актюаторов, созданных исключительно на основе силиконов, являются терморасширяющиеся актюаторы, состоящие из композита силикона с этиловым спиртом и работающие на фазовом переходе жидкость-газ при температуре выше этого перехода. Они позволяют достигать большой деформации (до 900%) и соответствующего высокого деформационного напряжения (до 1.3 МПа) при низкой плотности материала (0.84 г/см<sup>3</sup>) [4]. Оказалось, что подобные актюаторы могут в качестве рабочей жидкости содержать не только этиловый, но и другие спирты, содержащие от 1 до 4 атомов углерода, и при этом по свойствам превосходить композиты с этиловым спиртом [5]. В докладе представлен обзор применения кремнийорганических полимеров и композитов на их основе в обоих типах актюаторов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Безсуднов И.В., Хмельницкая А.Г., Калинина А.А., Пономаренко С.А. *Успехи химии*, 2023, 92, RCR5070.
2. Tarasenkov A.N., Parshina M.S., Goncharuk G.P., Borisov K.M., Golubev E.K., Meshkov I.B., Cherkaev G.V., Shevchenko V.G., Ponomarenko S.A., Muzafarov A.M., *Polymers*, 2023, 15, 3361.
3. Ghazaryan G., Khmelnitskaia A, Bezsdunov I., Kalinina A., Agina E., Ponomarenko S, *Polymers* 2023, 15, 3908.
4. Miriyev A., Stack K., Lipson H., *Nature Communications*, 2017, 8, 596.
5. Bezsdunov I., Khmelnitskaia A., Kalinina A., Monakhova K., Ponomarenko S., *Polymers*, 2025, 17, 20.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 19-73-30028 (продление).

## Р-4 ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫЕ ПОЛИФЛУОРЕНЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ОПТОЭЛЕКТРОНИКЕ И ХЕМОСЕНСОРИКЕ

Якиманский А.В.<sup>1</sup>, Чулкова Т.Г.<sup>1</sup>, Якиманский А.А.<sup>1</sup>, Лыпенко Д.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Филиал Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константина - Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» - Институт высокомолекулярных соединений, 199004, Россия, г. Санкт-Петербург, Большой пр., д. 31

<sup>2</sup> Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН, 119071, Россия, г. Москва, Ленинский пр., д. 31, корп. 4

yakimansky\_av@pnpi.nrcki.ru

Получена серия сополифлуоренов с фрагментами дицианостильбена и фенантрен-9,10-дикарбонитрила в основной цепи. Для органических светоизлучающих диодов с этими сополифлуоренами в качестве светоизлучающего материала наибольшая яркость электролюминесценции (11000 кд/м<sup>2</sup>) и наименьшее напряжение включения (3.1 В) были достигнуты при использовании сополифлуорена, содержащего 1 мол.% фенантрен-9,10-дикарбонитрила.

Была изучена фотопроводимость синтезированных сополимеров. В результате, было показано, что отношение фототока к темновому току,  $I_{ph}/I_d$ , при облучении белым светом (100 мВт/см<sup>2</sup>) составляет  $\sim 1000$  т.е. эти сополимеры являются перспективными фотопроводниками.

Для создания хемосенсора на выделяемую больными туберкулезом  $\beta$ -лактамазу, в концевую группу сополифлуорена, содержащего 2.5 мол.% дицианостильбена, был введен цефалоспориновый фрагмент. На рис. 1 приведены данные об изменении цветности фотолюминесценции при введении этого фрагмента.

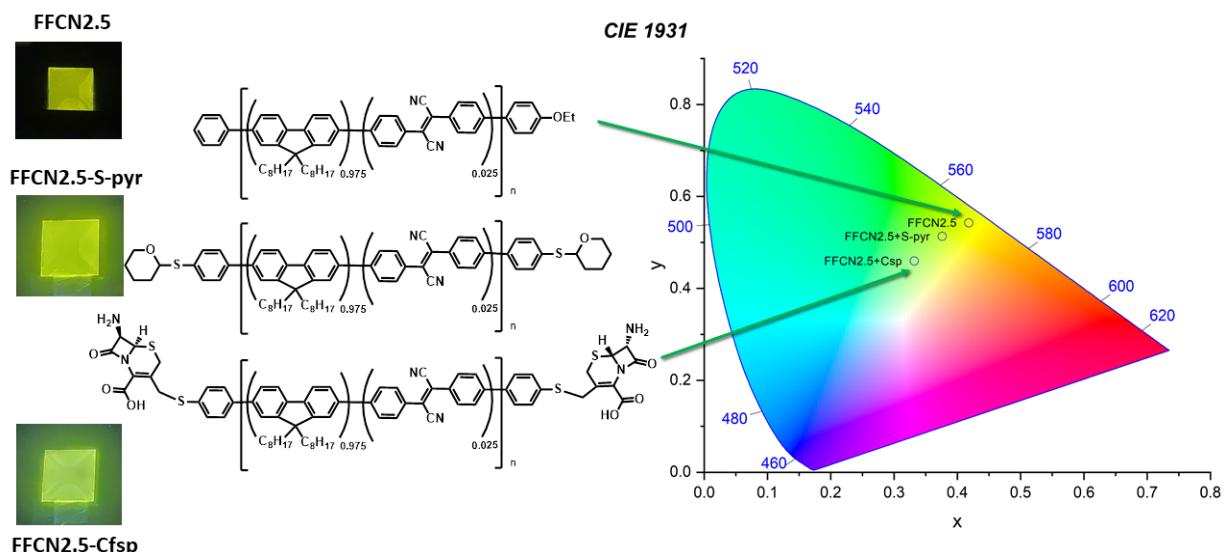


Рисунок 1. Изменение цветности фотолюминесценции при введении концевого цефалоспоринового фрагмента.

Видно, что координаты цветности фотолюминесценции сдвигаются в зеленую область. Отщепление цефалоспоринового фрагмента  $\beta$ -лактамазой должно приводить к обратному изменению спектра фотолюминесценции со сдвигом координат цветности в желтую область.

## **Р-5 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПОЛИМЕРОВ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Чвалун С.Н.

*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН  
НИЦ «Курчатовский институт»*

Развитие современных технологий требует разработки широкого ассортимента полимерных и композиционных материалов различной морфологии с регулируемыми физико-механическими характеристиками. В мире проводятся масштабные работы по разработке и внедрению новых материалов в различные отрасли. При этом акцент делается не только на разработку новых соединений, но и на высокотехнологичное использование традиционных материалов, включая новые методы переработки, аддитивные технологии. Широко применяются численные методы с целью эффективного использования имеющихся баз данных о материалах. В целом общее финансирование в мире инноваций в области материаловедения достигает 1 трлн.долл. Согласно прогнозам особое внимание будет уделено междисциплинарным исследований в области высокомодульных высокопрочных карбидных, углеродах, металлоксидных волокон и структур, материалов для энергетики, вторичных источников тока, умные материалы, пьезо- и термоэлектрики, материалы с памятью формы, материалы для гибкой электроники, для мониторинга внешних условий и параметров различных систем и состояния человека, метаматериалы и т.д. В области термо- и реактопластов финансируются работы по разработке пластиков с регулируемым сопротивлением, радиопоглощением и намагниченностью, высокотемпературных, с высокой сорбционной емкостью по различным компонентам в том числе радиоактивным и токсичным. Особое место занимают работы по разработке материалов на основе природного сырья, как конструкционных, так и функциональных: сорбционных, для биотоплива, физиологических активных, в том числе биоразлагаемых. Работы по этим направлениям проводятся как правило, международными группами, использованием развитой инфраструктуры.

В соответствии с указом Президента от 5 мая 2024 года №309 «о национальных целях развития РФ на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» установлены целевые задачи обеспечения технологической независимости в области новых материалов и химии. Приоритетом технологической политики является достижение технологического суверенитета – наличие в стране критических сквозных технологий собственной разработки в направлении «технологии новых материалов и веществ, их моделирования и разработки». Решение поставленных задач в современных условиях является сложнейшей задачей и требует выделения основных приоритетов в списке направлений.

## **Р-6 ЖИВАЯ ИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ И КОНТРОЛИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ: ДВА ПУТИ НАПРАВЛЕННОГО СИНТЕЗА МАКРОМОЛЕКУЛ**

Гришин Д.Ф.

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им.Н.И.Лобачевского  
603022 Россия, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23  
grishin@ichem.ipp.ru*

В обзорном докладе рассмотрены основные особенности и современные тенденции развития ионной полимеризации в режиме «живых» цепей и контролируемой радикальной полимеризации как наиболее эффективных методов целенаправленного синтеза высокомолекулярных соединений и макромолекулярных структур с определенными молекулярно-массовыми характеристиками, строением и свойствами.

Проведен сравнительный анализ эффективности различных подходов к проведению контролируемой радикальной полимеризации в режиме обратимого ингибирования (Stable Free Radical Polymerization - SFRP), обратимой передачи цепи (Reversible Addition Fragmentation chain Transfer - RAFT) и процессов, связанных с переносом атома (Atom Transfer Radical Polymerization - ATRP), как с участием комплексов металлов (ATRP), так и в условиях органического фоторедокс катализа (Metal Free ATRP) в плане получения макромолекул и полимерных наноразмерных структур с четко заданными свойствами и характеристиками [1, 2].

Проанализированы основные преимущества и ограничения «живой» ионной полимеризации по сравнению с классической полимеризацией в условиях радикального инициирования и контролируемой радикальной полимеризацией, протекающей в режиме «живых» цепей.

Приведены примеры и рассмотрены перспективы практического применения методов «безобрывной» полимеризации в условиях свободно радикального инициирования, металлокомплексного катализа и органического фоторедокс катализа, а также ряда ионных инициаторов в условиях, приближенным к режимам промышленного синтеза функциональных полимеров широкого спектра применения, включая наноразмерные макромолекулярные структуры и композитные полимерные материалы.

Особый акцент сделан на экологические аспекты использования методов контролируемой радикальной полимеризации в направленном синтезе гомо- и сополимеров широкого спектра применения, а также рассмотрены методы утилизации полимеров, связанные с проведением процессов деполимеризации в условиях металлокомплексного и органического фоторедокс катализа.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Гришин Д.Ф. *Известия Академии наук. Серия химическая.* 2023. Т.72. № 6. С.1285-1298.
2. Гришин Д.Ф., Гришин И.Д. *Успехи химии.* 2021. Т. 90. № 2. С.231-264.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 25-13-00029)

## **Р-7 УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ ПОЧВ И ГРУНТОВ**

А.А. Ярославов, И.Г. Панова, О.А. Новоскольцева

*Химический факультет,  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия  
E-mail: yaroslav@belozersky.msu.ru*

Доклад посвящен связующим на основе ионных полимеров и интерполимерных комплексов для природных дисперсных систем, в том числе почв и грунтов. Суть предлагаемого метода состоит в нанесении на обрабатываемую поверхность разбавленных водных растворов полимеров, которые способны быстро реагировать с частицами почвы (грунта) в закрепляемом слое. После высыхания на поверхности почвы формируется полимерно-почвенное покрытие (корка) толщиной 3-5 мм устойчивое к ветровой и водной эрозии и в то же время допускающее прорастание сельскохозяйственных культур и травы. Такое покрытие выдерживает давление, создаваемое взрослым человеком; после разрушения слой полностью восстанавливается при увлажнении почвы (искусственный полив, природные осадки). Помимо противоэррозионного действия полимерно-почвенные покрытия способны удерживать воду в почве и связывать катионы тяжелых металлов. В качестве полимеров для получения рецептур могут выступать коммерчески доступные синтетические и природные полимеры. Растворы исходных полимеров сохраняют устойчивость при длительном хранении в различных погодных условиях; для нанесения полимерных рецептур могут быть использованы существующие технические средства (малая авиация, беспилотные аппараты, поливочные машины, ранцевые распылители).

Круг применений полимерных связующих чрезвычайно широк и включает: блокирование эрозионных процессов в почве, сохранение влаги на засушливых территориях, консервацию хвостохранилищ горнорудных и обогатительных фабрик, консервацию/рекультивацию мусорных полигонов и др.

В докладе обсуждаются фундаментальные аспекты реакций, приводящих к формированию поликомплексов, механизм структурирующего действия полимеров и свойства, которые делают их эффективными и универсальными связующими.

# **Р-8 РЕАКТОРНЫЕ ПОРОШКИ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С СЕГРЕГИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ НАПОЛНИТЕЛЯ**

Озерин А.А., Голубев Е.К., Лебедев О.В.

*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова  
Российской академии наук, Москва, Россия  
117393, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 70.  
ozerin@ispmt.ru*

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) – это инженерный термопластик, полученный путем полимеризации этилена. СВМПЭ обладает устойчивостью к действию концентрированных кислот и щелочей, экстремально низких температур (до -120°C), характеризуется низким влагопоглощением, низким коэффициентом трения, а также экстремально высокими значениями удельных прочностных характеристик в высокоориентированном состоянии.

Обладая вышеперечисленными преимуществами, СВМПЭ нашел применение в большом числе отраслей производства и конечных потребительских товаров: машиностроение и производство оборудования; сепараторы аккумуляторных батарей; армирующие сетки дорожных покрытий и строительных подпорных стен, рыболовецкие сети, канаты и стропы; средства индивидуальной защиты; медицинские имплантанты, функциональные композиционные материалы и пр.

Высокая молекулярная масса СВМПЭ является причиной образования большого числа межмолекулярных зацеплений между соседними макромолекулярными «клубками» полимера, что исключает возможность использования для него традиционных способов переработки полимеров типа экструзии или литья под давлением из расплава.

Несмотря на отмеченные сложности переработки, объемы производства СВМПЭ и изделий из него во всем мире постоянно растут, как и объемы его переработки.

В работе обсуждается ряд новых возможностей в области разработки, создания и производства перспективного класса полимерных и полимерных композиционных материалов на основе СВМПЭ, в том числе – с использованием новых катализитических систем для его синтеза и эффективных экологически чистых способов его переработки [1-3].

Рассмотрены возможности и ограничения использования реакторных порошков СВМПЭ для получения на их основе полимерных композиционных материалов с сегрегированной структурой наполнителя.

Обсуждены некоторые общие проблемы, связанные с получением высоконаполненных полимерных композиционных систем с использованием первичных полимерных форм – реакторных порошков различных полимеров.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Озерин А.Н., Голубев Е.К., Аулов В.А., Кечекян А.С., Куркин Т.С., Иванькова Е.М., Адонин Н.Ю. *Высокомолек. соед.*, сер. А, **2022**, 64, 83–93.
2. Голубев Е.К., Куркин Т.С., Озерин А.Н. *Изв. АН, сер. хим.*, **2023**, 72, 749-763.
3. Lebedev O.V., Tikunova E.P., Kurkin T.S., Golubev E.K., Ozerin A.N. *Polymers*, **2024**, 16, 3423.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 22-13-00359.



# КЛЮЧЕВЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция: Химическая

# **К-1 ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ БУДУЩЕГО**

Хаширова С.Ю.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик,  
Россия*

*360004, Россия, г. Нальчик, Чернышевского, д. 173,*

*<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
new\_kompozit@mail.ru*

Рассматривая современное состояние полимерной науки, мы должны отметить не только быстрый темп ее развития, выражющийся как в количественных характеристиках и качественном обогащении новыми структурами, так и стремительным вовлечением полимерных материалов в новые методы переработки, такие как 3D и 4D печать, а также гибридные варианты, сочетающие несколько технологий.

В докладе представлены результаты исследования, посвященного направленному синтезу полимеров и разработке композиционных материалов для новых технологий переработки с фокусировкой на высокотермостойкие термопластичные материалы, которые по совокупности свойств являются приоритетными для применения в высокотехнологичных отраслях промышленности и медицине.

Каждый новый метод переработки предъявляет особенные требования к структуре и свойствам полимерных материалов. Рассмотрены новые подходы к синтезу и комплексные требования к полимерам и композитам для применения в различных методах аддитивных технологий, показаны фундаментальные проблемы и перспективы развития каждого метода.

Особое внимание уделено проблемам вовлечения полимерных материалов в новые технологии 3D, 4D печати. Приведены способы решения этих проблем и новые подходы синтезу и модификации полимеров для их адаптации к аддитивным технологиям.

Кроме того, представлено новое направление технологии переработки высокотемпературных термопластичных порошков, сочетающие порошковое литье под давлением (PIM) и 3D печать.

Показаны перспективные области применения напечатанных изделий из полимеров и композитов для различных отраслей промышленности и медицины.

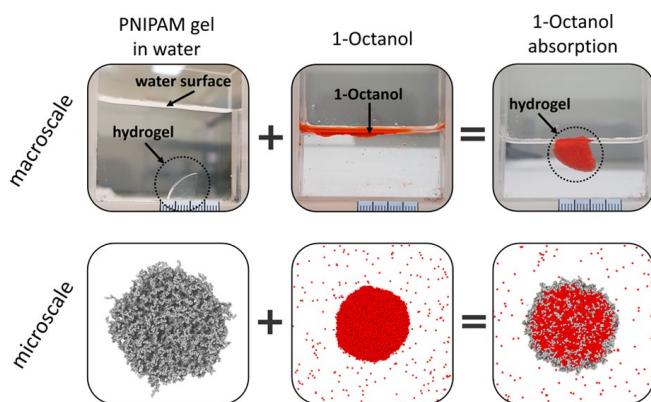
Часть работ выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 23-69-10001.

## К-2 ПОЛИМЕРНЫЕ МИКРОГЕЛИ В ВОДНО-МАСЛЯНЫХ РАСТВОРАХ

Потемкин И.И.<sup>1</sup>, Анахов М.В.<sup>1</sup>, Гумеров Р.А.<sup>1</sup>, Кожунова Е.Ю.<sup>1</sup>, Комарова Г.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова  
119991, Россия, г. Москва ул. Ленинские Горы, д. 1, к. 2  
igor@polly.phys.msu.ru

Микрогели поли(*N*-изопропилакриламида) могут одновременно набухать как в воде, так и в 1-октаноле. Эти две жидкости не смешиваются друг с другом, рисунок 1. Добавление небольшой доли 1-октанола в водные растворы микро- или макрогелей приводит к полному обмену наполнителя микрогеля: вода практически полностью вытесняется 1-октанолом, рисунок 1 [1]. Компьютерное моделирование позволило продемонстрировать физическую причину такого обмена. Локализация небольшой доли масла внутри микрогеля сопровождается образованием тонкого полимерного слоя на границе раздела масло-вода, который снижает поверхностное натяжение [2,3]. Этот эффект не ограничивается смесью 1-октанола и воды. Можно использовать и другие органические растворители, которые не смешиваются с водой. Их поглощение микрогелем становится возможным, если микрогель содержит хотя бы небольшую долю гидрофобных групп. Также было показано, что капли 1-октанола, стабилизированные микрогелями, могут склеивать макроскопические гели поли(*N*-изопропилакриламида).



**Рисунок 1.** Верхний ряд (слева направо): (i) гель поли(*N*-изопропилакриламида), набухший в воде, (ii) смесь воды и 1-октанола (1-октанол подкрашен красителем Судан III) и (iii) поглощение 1-октанола гелем. Нижний ряд (слева направо): (i) компьютерное моделирование микрогеля, набухшего в воде, (ii) сосуществование масла и воды в компьютерном моделировании (гравитация отсутствует), (iii) локализация масла внутри микрогеля.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Kozhunova, E. Yu.; Komarova, G. A.; Anakhov, M. V.; Gumerov, R. A.; Potemkin I. I. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2022**, 14, 57244.
2. Anakhov, M. V.; Gumerov, R. A.; Richtering, W.; Pich, A.; Potemkin, I. I. *ACS Macro Lett.* **2020**, 9, 736.
3. Anakhov, M. V.; Gumerov, R. A.; Potemkin I. I. *Mol. Syst. Des. Eng.* **2022**, 7, 285.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-43-00049.

**К-3 МЕЖДУНАРОДНЫЙ ДОГОВОР О БОРЬБЕ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ  
ПЛАСТМАССАМИ: НЕДОСТАТОК НАУЧНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
ЭКСПЕРТИЗЫ ПРИВЕДЕТ К БЫСТРОЙ КАТАСТРОФЕ**

Щербина Максим Анатольевич

*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова  
Российской академии наук, Москва, Россия*

## К-4 БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОЛИКАРБОНАТЫ: СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Черникова Е.В.<sup>1,2</sup>, Асаченко А.Ф.<sup>1,2</sup>, Трофимчук Е.С.<sup>1</sup>, Белецкая И.П.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>ИНХС РАН им. А.В. Топчиеева

Диоксид углерода представляет собой уникальный и практически неисчерпаемый источник синтетического углерода, в том числе для получения полимеров. К таким полимерам относятся, прежде всего, полимеризационные поликарбонаты, интерес к которым в последние годы растет в геометрической прогрессии. Это обусловлено несколькими причинами. Во-первых, их синтез путем сополимеризации диоксида углерода с эпоксидами отвечает принципам “зеленой” химии. Во-вторых, такие поликарбонаты нацело подвергаются деструкции до низкомолекулярных веществ, которые можно использовать или сами по себе, или для синтеза тех же или других полимеров. В-третьих, физико-химические и физико-механические свойства подобных поликарбонатов можно изменять в широких пределах, варьируя природу заместителей в эпоксидном кольце.

Наиболее известным полимеризационным поликарбонатом является полипропиленкарбонат (ППК), впервые полученный Inoue в 1969 г. сополимеризацией пропиленоксида и CO<sub>2</sub>. За прошедшие десятилетия было синтезировано и опробовано тысячи различных металлокомплексов, а также неметаллических каталитических систем. В результате были предложены каталитические системы, позволяющие с высокой регио- и хемоселективностью синтезировать как атактические, так и стереорегулярные поликарбонаты. Несмотря на значительные успехи в синтезе поликарбонатов, блок-сополимеров на их основе, возможности сочетания каталитической ионной полимеризации с контролируемой радикальной полимеризацией, механизм этого процесса вызывает ряд вопросов. Например, является ли эта полимеризация живой (living) или бессмертной (immortal)? Как соотносятся между собой селективность процесса по выходу поликарбоната и склонность поликарбоната к циклодеполимеризации?

Одним из важнейших и привлекательных свойств полимеризационных поликарбонатов является их полная деструкция до низкомолекулярных веществ, что делает их привлекательными с точки зрения утилизации и химического рециклинга. Деструкция может протекать как случайным образом, так и по механизму деполимеризации (точнее циклодеполимеризации). Направление деструкции зависит от факторов, действующих на полимер: температура, среда, наличие остаточного катализатора и т.д. Противоречивость информации о термостойкости и биоразложимости даже наиболее изученного ППК ставит вопросы о механизме и способах контроля деструкции поликарбоната.

Аналогичные проблемы возникают и при анализе механических свойств поликарбонатов, которые могут варьироваться в широких пределах в зависимости от производителя или способа переработки полимера.

В докладе будет дан анализ современного состояния дел в области полимеризационных поликарбонатов (синтез – свойства – применение – деструкция).

## К-5 ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИД: РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ И МАСШТАБИРОВАНИЕ

Р.М. Ахмадуллин<sup>1</sup>, И.С. Антипин<sup>2</sup>, М.И. Фарахов<sup>3</sup>, Д.А. Балькаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «НТЦ «Ахмадуллины», г. Казань, 420029, ул. Сибирский тракт 34к10, 1013  
ahmadullinr@gmail.com

<sup>2</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул.  
Кремлевская, д.18, корп.1

<sup>3</sup> ООО ИВЦ «Инжехим», 420049, г. Казань, ул. Шаляпина, дом 14/83

Полифениленсульфид (ПФС) является востребованным термопластичным полимером, сочетающим высокую термостойкость и огнестойкость с устойчивостью к агрессивным средам, что определяет его широкое применение в высоконагруженных изделиях. Современный мировой рынок ПФС демонстрирует устойчивый рост на уровне 7-8% в год, обусловленный повышением спроса в различных отраслях промышленности. Однако существующие промышленные технологии производства ПФС характеризуются рядом технологических, ресурсных и экологических ограничений, что делает актуальным разработку новых методов синтеза.

В кооперации с Казанским Федеральным Университетом и ООО ИВЦ «Инжехим» разработана и оптимизирована технология получения линейного ПФС методом жидкофазной поликонденсации пара-дихлорбензола и сульфида натрия с применением катализатора – сульфида сурьмы (III) [1]. Предложенный подход отличается ступенчатым регулированием температуры: на стадии форполиконденсации от 220 до 235 °С и дополиконденсации от 250 до 270 °С, что позволяет контролировать молекулярные характеристики продукта. Установлена возможность точного регулирования показателя текучести расплава ПФС варьированием количества N-метилпирролидона, используемого в качестве растворителя.

Экспериментально отработаны условия получения ПФС марок с показателями текучести расплава 200, 500 и 1250 г/10 мин. Реализовано масштабирование технологии на реакторах различного объема (3 л, 25 л и 250 л), а также разработана методика экструзионного гранулирования ПФС. Полученные образцы гранулята линейного ПФС показали физико-механические характеристики, соответствующие импортным аналогам, таким как Ryton® XE5500BL (Solvay).

Таким образом, предложенная технология обладает высоким потенциалом для внедрения в промышленное производство, способствуя снижению зависимости от зарубежных производителей и удовлетворению растущего спроса на качественные полимерные материалы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ 2827889. Способ получения полифениленсульфида.

## К-6 САМОЗАЛЕЧИВАЮЩИЕСЯ СИЛИКОНЫ – МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

Исламова Р.М.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
199034, Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9  
r.islamova@spbu.ru

Доклад посвящен самозалечивающимся (self-healing) силиконовым материалам, которые частично или полностью восстанавливают свои первоначальные характеристики после механических или электрических повреждений, таких как образовавшиеся (микро)трещины, царапины, порезы и т.п. Идея создания самозалечивающихся или самовосстанавливающихся материалов была заимствована из живой природы. Например, растения, человеческая кожа и кости способны к регенерации своих функций после повреждений. Использование самовосстанавливающихся синтетических полимеров может позволить заметно увеличить срок службы материалов и устройств на их основе. Силиконы (полисилоксаны) являются одной из наиболее перспективных полимерных матриц для достижения данной цели, поскольку представляют собой гибкие, эластичные материалы с высокой подвижностью полимерных цепей, что важно при проявлении свойства самовосстановления после повреждения. Кроме того, силиконы отличаются биоинертностью, атмосферо-, озона-, термо-, морозостойкостью, газопроницаемостью и др. полезными свойствами. В данном докладе будет проведен критический анализ существующих на сегодняшний день типов самозалечивающихся силиконовых материалов и их функциональных характеристик, которые могут быть использованы в (био)медицине, (опто)электронике, нанотехнологиях, мягкой робототехнике, в составе защитных покрытий и др. [1–6].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Deriabin K.V., Filippova S.S., Islamova R.M. *Biomimetics*, **2023**, 8(3), 286, DOI: 10.3390/biomimetics8030286.
2. Parshina E.K., Deriabin K.V., Kolesnikov I.E., Novikov A.S., Kocheva A.N., Golovenko E.A., Islamova R.M. *Macromolecular Rapid Communications*, **2024**, 45(21), 2400450, DOI: 10.1002/marc.202400450.
3. Deriabin K.V., Dziuba M.A., Rashevskii A.A., Kolesnikov I.E., Korzhov A.V., Sharov V.A., Vorob'ev A., Vereshchagin A.A., Chernukha A.S., Tian J., Levin O.V., Mukhin I.S., Islamova R.M. *ACS Applied Polymer Materials*, **2023**, 5 (1), 892–898, DOI: 10.1021/acsapm.2c01822.
4. Miroshnichenko A., Deriabin K.V., Dobrynin M.V., Baranov A., Neplokh V., Mitin D., Kolesnikov I.E., Parshina E.K., Mukhin I.S., Islamova R.M. *ACS Applied Polymer Materials*, **2022**, 4, 2683–2690, DOI: 10.1021/acsapm.2c00017.
5. Rashevskii A.A., Deriabin K.V., Parshina E.K., Islamova R.M. *Coatings*, **2023**, 13(7), 1282, DOI: 10.3390/coatings13071282.
6. Amador-Mendez N., Kochetov F.M., Hernandez R., ...Islamova R.M., et al. *Applied Materials&Interfaces*, **2024**, 16(38), 51000–51009, DOI: 10.1021/acsami.4c06181.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-13-00038.

## К-7 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙ-, ГЕРМАНИЙ- И ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДНЫХ НОРБОРНЕНА

Алентьев Д.А.,<sup>1</sup> Бермешева Е.В.,<sup>1</sup> Борисов И.Л.,<sup>1</sup> Возняк А.И.,<sup>1</sup> Карпов Г.О.,<sup>1</sup>  
Бермешев М.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчева РАН, Москва, Россия  
119991 ГСП-1, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 29

<sup>2</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
Москва, Россия  
117393, Москва, Профсоюзная улица, д. 70  
[m.bermeshev@ispmt.ru](mailto:m.bermeshev@ispmt.ru)

Перспективными материалами для ряда современных высокотехнологичных отраслей являются полимеры с жесткими и насыщенными основными углеводородными цепями, содержащие функциональные группы требуемой природы в боковых заместителях. Эти полимеры, как правило, обладают уникальной комбинацией основных эксплуатационных характеристик с высокой термической и химической стабильностью, низким влагопоглощением. Варьирование природы бокового заместителя позволяет более тонко регулировать свойства синтезируемых полимеров и, таким образом, получать полимеры с заданными параметрами. Одним из наиболее привлекательных классов мономеров для синтеза таких полимеров являются производные норборнена. Интерес к этим соединениям обусловлен несколькими факторами. Прежде всего, это возможность синтеза широкого набора соединений с закономерно изменяемым строением с использованием реакций  $[4\pi+2\pi]$ - и  $[2\sigma+2\sigma+2\pi]$ -циклоприсоединения. Кроме того, напряженная структура норборненового фрагмента обуславливает высокую реакционную способность эндоциклической двойной связи в различных реакциях присоединения и полимеризации. Это открывает широкие возможности для направленного дизайна полимеров с заданными свойствами.

Полимеры на основе производных норборнена (рис. 1) представляют интерес как микропористые материалы для хранения и транспортировки газов, мембранные полимерные материалы для газоразделения, выделения органических соединений из сточных вод и разделения энантиомеров из соответствующих рацемических смесей, материалы с низкой диэлектрической проницаемостью и др.

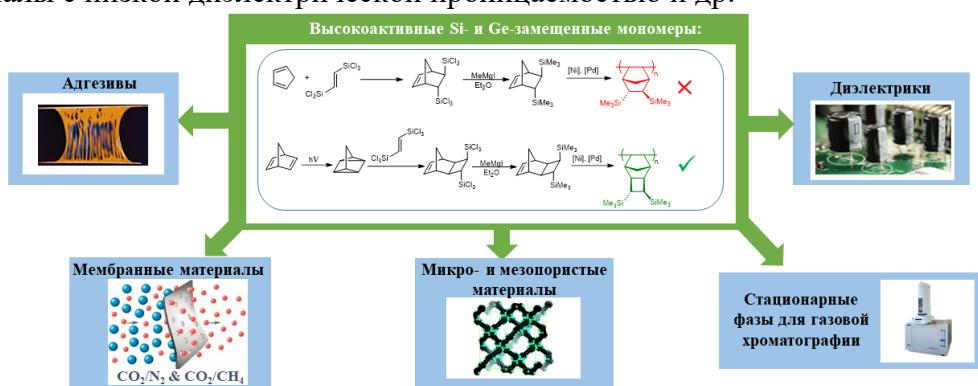


Рис. 1. Некоторые направления дизайна полимерных материалов на основе производных норборнена.

В докладе будет подробно представлено одно из направлений в дизайне полимерных материалов на основе производных норборнена, а именно направленный синтез мембранных материалов для различных задач газоразделения.

## К-8 ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИОННАЯ 3D- И 4D-ПЕЧАТЬ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Бурдуковский В.Ф.<sup>1</sup>, Холхоев Б.Ч.<sup>1</sup>, Бардакова К.Н.<sup>2</sup>, Матвеев З.А.<sup>1</sup>,  
Коркунова О.С.<sup>1</sup>, Никишина А.Н.<sup>1</sup>, Тимашев П.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия  
670004, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6.

<sup>2</sup> Первый московский государственный медицинский университет им. И.М.Сеченова, Москва, Россия  
119048, Россия, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2  
burdvit@mail.ru

В докладе представлены результаты работ [1-5] по разработке фотополимерных композиций/смол (ФПК), способных отверждаться при действии излучения с длиной волны 405 нм коммерческих 3D-принтеров (SLA, DLP, LCD) с образованием трехмерных изделий сложной геометрической формы по заданной компьютерной модели. Такие смолы состоят из матричного термостойкого полимера, кросс-линкера, активного растворителя и фотоинициатора.

Изделия, полученные на основе разработанных ФПК, по комплексу эксплуатационных свойств практически не отличаются от изделий, изготовленных традиционными методами. Так термостойкость полученных материалов достигает 450 °С. Прочность на разрыв – 92-164 МПа, удлинение при разрыве – 6.5-10.1 %. Методом ДМА показано, что температура стеклования достигает 148-180 °С. Некоторые материалы демонстрируют высокотемпературный эффект памяти формы: коэффициент фиксации формы 98-99%, а коэффициент восстановления формы достигает 99.9 % при температуре 168-210 °С. Показано также, что некоторые из разработанных материалов способны сохранять высокие термические и физико-механические характеристики после  $\gamma$ -облучения дозой до 106 Гр.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Kholkhoev B.Ch., Bardakova K.N., Epifanov E.O., Matveev Z.A., Shalygina T.A., Atutov E.B., Voronina S.Y., Timashev P.S., Burdukovskii V.F. *Chemical Engineering Journal*, **2023**, 454, 140423.
2. Kholkhoev B.Ch., Matveev Z.A., Bardakova K.N., Farion I.A., Timashev P.S., Burdukovskii V.F. *Polymer*, **2023**, 279, 126014.
3. Kholkhoev B.Ch., Bardakova K.N., Nikishina A.N., Matveev Z.A., Efremov Yu.M, Frolova A.A., Akovantseva A.A., Gorenskaia E.N., Verlov N.A., Timashev P.S., Burdukovskii V.F. *Applied Materials Today*, **2024**, 36, 102022.
4. Kholkhoev B.Ch., Nikishina A.N., Bardakova K.N., Matveev Z.A., Sapozhnikov D.A., Efremov Yu.M., Timashev P.S., Burdukovskii V.F. *Polymer*, **2024**, 299, 126978.
5. Nikishina A.N., Kholkhoev B.Ch., Bardakova K.N., Matveev Z.A., Kurdanova Zh.I., Shakhmurzova K.T., Zhansitov A.A., Khashirova S.Yu., Timashev P.S., Burdukovskii V.F. *Reactive and Functional Polymers*, **2024**, 202, 106001.

Работа выполнена в рамках государственного задания БИП СО РАН (FWSU-2021-0007).

## К-9 БИОДЕГРАДИРУЕМЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ

Степанова М.А.<sup>1</sup>, Соломаха О.А.<sup>1</sup>, Гофман И.В.<sup>1</sup>, Коржиков-Влах В.А.<sup>2</sup>, Нащекина Ю.А.<sup>3</sup>, Сердобинцев М.С.<sup>4</sup>, Виноградова Т.И.<sup>4</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> НИЦ «Курчатовский институт»-ПИЯФ-ИВС, Большой пр. 31, г. Санкт-Петербург, 199004, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Институт химии, Санкт-Петербургский государственный университет, Университетский пр. 26, Петергоф, 198504, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация;

<sup>3</sup> Институт цитологии РАН, Тихорецкий проспект 4, 194064, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Политехническая ул. 32, 194064, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; vlakh@mail.ru

Восстановление костных дефектов, полученных в результате травмы или резекции участка кости, пораженного вследствие инфекционного или онкологического заболевания, остается серьезной проблемой современной медицины. В последнее время среди различных материалов для замещения костных дефектов наибольший научный интерес представляют резорбируемые остеокондуктивные материалы, способные обеспечивать эффективное формирование собственной костной ткани. Материалы для регенерации костной ткани должны сочетать в себе такие свойства как биосовместимость, способность к биодеградации, доступность пористой структуры для клеток и приемлемые механические свойства.

В рамках данной работы предложен новый тип 3D-печатных композиционных материалов для регенерации костной ткани, состоящих из матрицы на основе поли(ε-капролактона) или полилактида и наполнителя в виде нанокристаллической целлюлозы (НКЦ), модифицированной амфи菲尔ным полианионом. В качестве последних были использованы поли(глутаминовая кислота) (ПГлу) и гепарин (Геп). Модификация НКЦ проводилась несколькими способами, среди которых (1) иммобилизация по концевой аминогруппе амфи菲尔ной ПГлу с различной степенью полимеризации или (2) по дополнительно введенным в ПГлу и Геп боковым аминогруппам за счет реакции с альдегидными группами, сгенерированными в НКЦ путем частичного окисления, а также (3) путем прививки ПГлу по активированным карбоксильным группам за счет реакции с аминогруппами 3-аминопропилтриэтоксисилана, предварительно иммобилизованного на поверхности НКЦ. Установлено влияние природы и метода иммобилизации полианиона на однородность распределения модифицированной НКЦ в матрице алифатического сложного полизэфира, а также влияние наполнителя на механические и *in vitro* биологические свойства композитов.

На основе выбранных оптимальных составов композитов методом послойной 3D-печати изготовлены 3D-матрицы и исследованы их механические свойства в сравнении с монолитными матрицами, полученными методом горячего прессования. Для разработанных композитов проведены биологические испытания *in vivo* по изучению биосовместимости полученных композитов (крысы). Кроме того, оптимальные по составу 3D-матрицы изучены в процессах регенерации костной ткани (кролики) с использованием здоровой модели животных и модели инфекционного воспаления (костный туберкулез). В последнем случае для сравнения также использовали аутогенный костный трансплантат. Разработанные материалы продемонстрировали значительный потенциал для применения в качестве остеопластического материала.

## **К-10 НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ТЕРМОПЛАСТЫ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ПОЛИУГЛЕВОДОРОДАМ. ГИБРИДНЫЕ И НЕОРГАНИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ**

Шаулов А.Ю., Стегно Е.В., Лалаян В.М., Грачев, Новиков В.А., Берлин А.А.

*Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н.Семенова  
Российской академии наук, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва ул. Косыгина, д.4  
[ajushaulov@yandex.ru](mailto:ajushaulov@yandex.ru)*

Неорганические полиоксиды как высокомолекулярные соединения, не содержащие углеводородных групп, составляют основную часть земной коры и обладают широким диапазоном свойств, включающие высокую тепло-, термо-, радиационную устойчивость, негорючность и др. свойствами, в недостаточной мере присущими полиуглеводородам.

Основываясь на этом, рассмотрена возможность получения альтернативы полиуглеводородам – полимеров, обладающих свойствами обоих классов соединений: термопластичностью, высокой деформацией, негорючностью, температурами синтеза и переработки органических полимеров с использованием экологичных (отсутствие органических растворителей) и энергосберегающих ( $T = 20 - 200$  °C) технологий.

Поиск «низкоплавких» неорганических полимеров проведен на основе энергетической теории, связывающей энергию химических связей соединений с их термическими и механическими свойствами, структурой, что позволило определить типы «низкоплавких» полимеров, удовлетворяющих перечисленным требованиям – полиоксиды фосфора, бора, кремния, халькогены –monoэлементные линейные полимеры  $S_n$ ,  $Se_n$ ,  $Te_n$ .

В качестве наиболее приемлемых с точки зрения практического применения рассмотрены материалы на основе фосфорной, борной и кремниевой кислот и их производных.

Особенностью рассматриваемых полиоксидов является негорючность, возможность получения в олигомерной форме, растворимость в воде, высокая химическая активность. Вместе с тем, полиоксиды даже с малыми степенями полимеризации и низкими температурами плавления и стеклования, обладают низкой деформацией, связанной с высокой энергией межмолекулярных взаимодействий ( $\leq 30$  ккал/моль), что делало необходимым поиск подходов к решению задачи.

Основными направлениями исследований являлись разработка высокотемпературных материалов (более 700 °C) класса НГ и полимерных аналогов полиуглеводородов на основе гибридных композиций и разработка на их основе армированных композитов плотностью 0,6 – 2,2 г/см<sup>3</sup>.

Изучены термические, механические свойства, структура, горючность смесей ряда полиуглеводородов с полиоксидом бора и полифосфатом аммония.

Термопластичные свойства полифосфата аммония и полиоксида бора, являющиеся ингибиторами процессов окисления, позволяют получение полимерных смесей методом экструзионного смешения с высоким содержанием неорганического компонента, являющегося антиприреном. В результате получены композиции с содержанием полиоксидов до 60 – 80% масс, обладающие предельной деформацией при растяжении до 300% и кислородными индексом 45 – 95.

Получена композиция полифосфата аммония с повышенной деформацией. Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ХФ РАН.

## К-11 МЕМБРАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ВЯЗКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СРЕД

Волков А.В.<sup>1</sup>, Анохина Т.С.<sup>1</sup>, Юшкин А.А.<sup>1</sup>, Борисов И.Л.<sup>1</sup>, Волков В.В.<sup>1</sup>,  
Антипин И.С.<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза имени А.В. Топчева, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинский проспект 29 стр. 4*

*<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия  
420008, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18, корп.1  
[avolkov@ips.ac.ru](mailto:avolkov@ips.ac.ru)*

Снижение энергопотребления существующих и вновь создаваемых производств, а также оптимизация ресурсов при одновременном уменьшении негативного воздействия на окружающую среду являются актуальными задачами в промышленности, включая нефтехимию. Весьма амбициозной задачей является поиск энергосберегающих процессов в нефтепереработке. В качестве малоэнергоемкой альтернативы ректификации сегодня активно исследуется применение мембранный фильтрации для фракционирования сырой нефти. Другой актуальной задачей является регенерация отработанных моторных масел, что является особенно важным для удаленных территорий и объектов (Арктический регион, буровые установки, карьеры, морские добывающие платформы и др.), так как логистические затраты по снабжению новыми материалами могут быть значительными. Для реализации баромембранного разделения необходимо снизить вязкость углеводородной среды, что достигается либо повышением температуры процесса, либо разбавлением вязкой жидкости невязким легколетучим растворителем.

Для решения задачи баромембранного разделения вязких углеводородных сред путем разбавления легколетучими растворителями интерес представляет такой традиционный мембранный материал как полиакрилонитрил (ПАН), который хорошо изучен как с позиции получения мембран с заданной пористой структурой, так и с точки зрения путей его направленной модификации для повышенной устойчивости в органических средах. Варьирование условий формования мембран позволяет получать ультрафильтрационные мембранны с размером пор в диапазоне от 4 до 60 нм. Мембранны на основе ПАН продемонстрировали хорошую устойчивость к засорению, обеспечив удаление основных загрязнителей моторного масла с величиной задерживания выше 95%. Применение суперконструкционных материалов позволяет создавать мембранны с повышенной термической и химической стабильностью для фильтрации органических сред. Одним из примеров таких материалов может быть полифениленсульфид (ПФС), характеризующийся высокими эксплуатационными характеристиками, что открывает новые горизонты для разделения вязких сред в экстремальных условиях. Важно отметить, что в Российской Федерации создано производство материалов ПАН (промышленный выпуск) и ПФС (пилотный выпуск). В докладе будут представлены последние результаты по разработке мембранных процессов для разделения вязких углеводородных сред.

Работа выполнена в рамках Государственного Задания ИНХС РАН и при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-63-00026).

## К-12 ОКТАЭДРИЧЕСКИЕ МЕТАЛЛОКЛАСТЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ: ОТ СИНТЕЗА К РЕШЕНИЮ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Брылев К.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

630090, Россия, г. Новосибирск, Проспект Академика Лаврентьева, д. 3.  
brylev@niic.nsc.ru

Октаэдрические металлокластерные комплексы, описываемые общими формулами  $[\{Mo_6X_8\}L_6]^n$  и  $[\{Re_6Q_8\}L_6]^m$  (X = Cl, Br или I; Q = S или Se; L = апикальные неорганические или органические лиганды), гармонично сочетают перспективные для различных приложений химические и физические свойства.

В частности, такие комплексы демонстрируют высокую химическую и фотостабильность кластерных ядер  $\{Mo_6X_8\}^{4+}$  и  $\{Re_6Q_8\}^{2+}$ , которые ответственны за триплетную возбужденное состояние люминесценции. Соединения на основе данных кластеров характеризуются широкими спектрами люминесценции, простирающимися в красной/ближней инфракрасной области (от  $\sim 550$  до более 950 нм), впечатляющими для неорганических материалов квантовыми выходами эмиссии и являются эффективными фотосенсибилизаторами генерации синглетного кислорода, причем люминесценция может быть индуцирована как светом, так и рентгеновским излучением. Различные исследовательские группы подтвердили биосовместимость и низкую токсичность различных октаэдрических металлокластерных комплексов. Все вместе эти свойства делают октаэдрические кластерные комплексы молибдена и рения привлекательными объектами для создания люминесцентных материалов, для использования в фотокатализе, сенсорике и в биомедицинских приложениях (Рисунок 1).

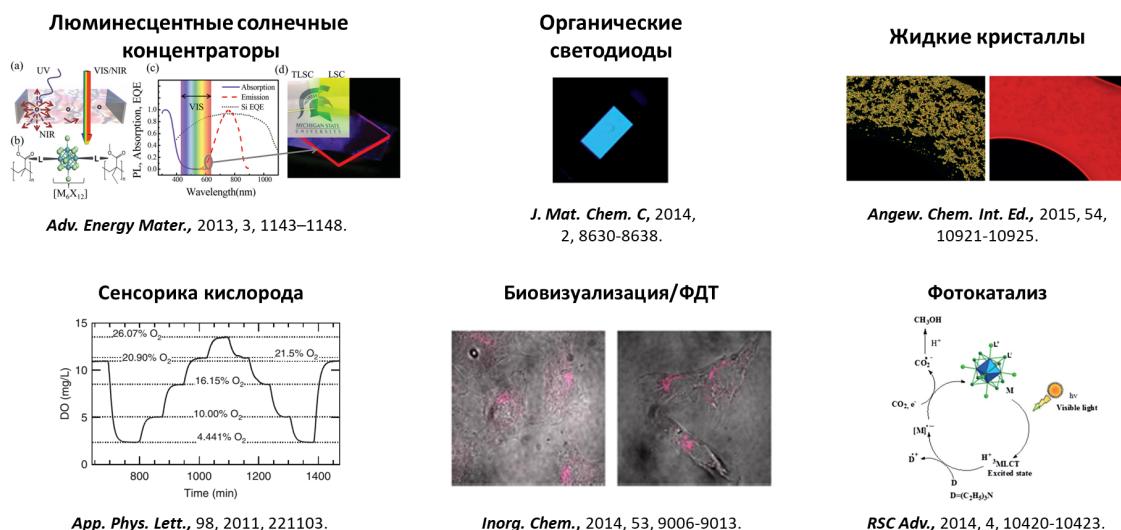


Рисунок 1. Потенциальные области применения октаэдрических металлокластерных комплексов

Некоторые подробности о синтезе, строении, люминесцентных и биологических свойствах различных октаэдрических кластерных комплексов молибдена и рения, а также материалов на их основе будут представлены в докладе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 19-73-20196-П).

## К-13 ВОЗДЕЙСТВИЕ КООРДИНАЦИОННОГО СВЯЗЫВАНИЯ НА СЕГМЕНТИРОВАННЫЕ ПОЛИУРЕТАНЫ

Давлетбаева И.М., Зыонг Т.М., Ибрагимова А.Р., Сазонов О.О.

*Институт полимеров ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Республика Татарстан, 420015, Российская Федерация, Республика Татарстан, Казань, ул.К.Маркса, 68, davletbaeva09@mail.ru*

Исследовано влияние металлокомплексного связывания на прочностные, термомеханические, электрофизические свойства и надмолекулярную организацию сегментированных полиуретанов (СПУ). Для координационного связывания СПУ были использованы продукты взаимодействия хлорида меди (II) ( $\text{CuCl}_2$ ) с N,N'-диэтилгидроксиламином (ДЭГА). Показано, что  $\text{CuCl}_2$  взаимодействует с ДЭГА в эквимолярных количествах. Структура ДЭГА претерпевает существенные изменения при окислительно-восстановительном взаимодействии с участием  $\text{CuCl}_2$ , превращаясь в структуру, содержащую нитрон. Установлено аддитивное уменьшение  $\rho_v$  для системы  $\text{CuCl}_2$ –ДЭГА по мере увеличения мольной доли  $\text{CuCl}_2$  вплоть до их эквимолярного соотношения, а ионный характер переноса заряда исключен из рассмотрения. Были проведены исследования влияния мольного соотношения [ДЭГА]:[ $\text{CuCl}_2$ ] на удельное объёмное электрическое сопротивление координационно-связанных СПУ (МСПУ). Наименьшие объемные электросопротивления для МСПУ достигаются уже при очень низком содержании системы  $\text{CuCl}_2$ –ДЭГА, которое находится в диапазоне 0,1–0,5 мас.%. Изменение  $\rho_v$  происходит скачкообразно, а сами значения  $\rho_v$  увеличиваются в 1000–5000 раз. Показано, что увеличение длины жесткого блока в МСПУ приводит к заметному росту значений  $\rho_v$ . Координационное связывание с использованием низкого содержания  $\text{CuCl}_2$ –ДЭГА приводит к повышению температуры перехода в вязкотекущее состояние со 160 °C для немодифицированного СПУ до 185 °C для МСПУ, содержащего 0,1 мас.%  $\text{CuCl}_2$ . Однако, повышение в МСПУ содержания  $\text{CuCl}_2$  до 1.0 мас.% приводит уже к нарушению процессов сегрегации жёстких блоков и соответственно их микрофазового разделения.

Металлокомплексное связывание оказывает заметное воздействие на частотные зависимости диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$  и  $\epsilon'$ ) для МСПУ. Так, для не модифицированного СПУ наблюдаются очень низкие значения  $\text{tg}\delta$  и  $\epsilon'$  даже в области очень низких частот. При этом, использование системы  $\text{CuCl}_2$ –ДЭГА даже при содержании 0,1 мас.% системы  $\text{CuCl}_2$ –ДЭГА приводит к проявлению значительных релаксационных переходов для МСПУ. Так как в области частот  $\nu = 10^4$ – $10^5$  Гц начинает уменьшаться вклад различных видов объемно-зарядной поляризации можно судить о значительных ориентационных процессах, индуцируемых координационным связыванием в полимерной матрице МСПУ. Предполагается, что макромолекулы притягиваются за счет диполь-дипольных взаимодействий к соответствующему заряду металлокомплексов. Взаимодействия в результате кооперативного эффекта приводят к ориентации и самоорганизации макромолекул относительно друг друга. Результатом является усиление когезионного взаимодействия и улучшение процессов сегрегации жестких блочных доменов и микрофазного разделения в случае блочных полимеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 25-23-00003.

## **К-14 СВЕРХБЫСТРАЯ КАЛОРИМЕТРИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ НУКЛЕАЦИИ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРОВ В УСЛОВИЯХ РЕЛЕВАНТНЫХ СОВРЕМЕННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ ПРОИЗВОДСТВА**

Мухаметзянов Т.А.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Химический институт им. А. М. Бутлерова, Казанский федеральный университет  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлёвская, д. 29/1.*

*Timur.Mukhametzyanov@kpfu.ru*

Сложная морфология кристаллической фазы – отличительная особенность полимеров, которая в значительной степени определяет оптические и механические свойства полимерных материалов. В свою очередь, морфологические характеристики кристаллической фазы определяются условиями кристаллизации, которые реализуются в ходе обработки полимерных материалов и получения полимерных изделий. Современные технологии производства, такие как литье под давлением, выдувное формование, а также лазерное плавление, характеризуются высокими скоростями охлаждения расплава, достигающими тысяч градусов в секунду и выше. Такие условия недоступны для обычного лабораторного оборудования; поэтому исследование процессов нуклеации и кристаллизации полимеров в условиях, релевантных современным промышленным технологиям, требует применения нового поколения термоаналитических методов.

Таким методом является сверхбыстрая калориметрия, в которой используются малоразмерные калориметрические чип-сенсоры, обеспечивающие скорости охлаждения и нагрева до миллиона градусов в секунду [1]. Это позволяет изучать поведение различных материалов, включая полимеры, в условиях, характерных для современных технологий производства.

Применение сверхбыстрой калориметрии позволило показать, что в условиях глубокого переохлаждения расплава полимеров реализуется гомогенный механизм нуклеации, а также измерить характеристические времена процессов нуклеации и кристаллизации полимеров в широком температурном диапазоне. Проведенные исследования позволяют определить свойства стеклообразного состояния быстрокристаллизующихся полимеров, а также зародышей кристаллической фазы, формирующихся в ходе гомогенной нуклеации, и определить оптимальные условия для получения полимерных изделий с заданной степенью кристалличности в зависимости от состава и строения полимера. Полученные результаты способствуют развитию фундаментального понимания процесса кристаллизации полимеров, а также совершенствованию производственных технологий.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1 Schick C., Mukhametzyanov T.A., Solomonov B.N. *Rev. Adv. Chem.*, **2021**, 11, 1–72.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы стратегического академического лидерства Казанского федерального университета (Приоритет 2030).

## **К-15 ДИНАМИЧЕСКИ ВУЛКАНИЗОВАННЫЕ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТЫ: СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ**

Вольфсон С. И., Панфилова О. А., Нигматуллина А. И., Казаков Ю. М.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань,  
Россия  
420015, Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68  
svolfson@kstu.ru*

Динамически вулканизованные термоэластопласты – это новый класс полимерных композиционных материалов, сочетающих свойства вулканизованных каучуков при эксплуатации и термопластов в процессе переработки. Динамически вулканизованные термоэластопласты получают путем высокоскоростного и высокотемпературного смешения эластомеров с пластиками с одновременной вулканизацией каучуковой фазы. Этот способ был назван динамической вулканизацией, а получаемые материалы – динамически вулканизованными термоэластопластами (ДТЭП, ТРВ).

Основными достоинствами и преимуществами ДТЭП по сравнению с материалами, получаемыми по традиционной резиновой технологии, являются:

- исключение длительной и энергетически затратной стадии вулканизации;
- безотходное производство благодаря возможности многократной переработки без ухудшения эксплуатационных свойств изделий;
- возможность получать материалы с широким спектром свойств: от эластичных до ударопрочных;
- меньший расход материала для получения изделий (в среднем, на 30 %);
- широкий температурный интервал работоспособности (от – 60 °C до + 150 °C);
- термосвариваемость;
- возможность переработки высокопроизводительными методами: экструзией, литьем под давлением, инжекционным формированием, которые характерны для переработки пластмасс;
- существенно меньшая стоимость готовых изделий.

В настоящее время динамически вулканизованные термоэластопласты являются сырьем, завоевывающим мировой рынок с прогрессом 10-15 % в год.

На кафедре химии и технологии переработки эластомеров Казанского национального исследовательского технологического университета разработан научно обоснованный рецептурно-технологический подход получения ДТЭП на основе комбинации полярных и неполярных каучуков (изопренового, этиленпропилендиенового, бутадиен-нитрильного) с полиолефинами, например, полиэтиленом и полипропиленом. Указаны требования к выбору соответствующих пар эластомер-полиолефин. С использованием физико-механических, физико-химических показано, что структура и морфология динамически вулканизованных термоэластопластов зависит от рецептурно-технологических параметров получения и обуславливает как свойства конечного материала, так и области применения.

По разработкам кафедры впервые в России ПАО «КВАРТ» (г. Казань) было организовано промышленное производство динамически вулканизованных термоэластопластов на базе отечественного крупнотоннажных каучуков и полиолефинов.

## **К-16 ПОЛИИМИДНЫЕ КОВАЛЕНТНО СВЯЗАННЫЕ КАРКАСЫ**

Кузнецов А.А.

*Институт синтетических полимерных материалов им. Н. С. Ениколопова РАН,  
Москва, 117393, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д.70.  
E-mail: kuznetsov@ispm.ru*

Синтез и исследование характеристик полимерных материалов с наноразмерными порами (ПМНП) является новым перспективным направлением развития полимерного материаловедения. Эти объекты можно разделить на 2 типа: полимеры с нерегулярно и регулярно расположанными порами. В первую группу входят т.н. «полимеры с внутренней микропористостью» (PIM), аэрогели, аморфные сверхразветвленные жесткоцепные полимеры; во вторую- ковалентно связанные полимерные каркасы (COF). Большое внимание привлекают ПМНП на основе термостойких полимеров и, в частности, полиимидов (ПИ). ПИ материалы типа (COF) отличие от других типов, имеют кристаллическую структуру; их синтезируют с использованием принципа направленного молекулярного конструирования из жестких молекулярных мономеров-заготовок с заданными структурными характеристиками, определяющими размер пор. Обсуждаются методы синтеза и свойства, а также потенциальные области применения нанопористых ПИ. Они включают разделение и хранение газов, использование в качестве носителей в гетерогенном катализе, компонентов сенсорных устройств, и т.д.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-23-20161.

## К-17 РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Бадамшина Э.Р.<sup>1</sup>, Малков Г.В.<sup>1</sup>, Курбатов В.Г.<sup>1</sup>, Тарасов А.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, Россия, Московская обл., 142432, г. Черноголовка, проспект академика Семенова, д. 1*

Исследовательский коллектив Центра работает в области импортозамещения материалов, необходимых для производства микроэлектроники, с 2019 года, когда по инициативе РАН был создан эффективно действующий до настоящего времени консорциум, состоящий из представителей науки (ФИЦ ПХФ и МХ РАН), прикладного НИИ (НИОПИК), производственников (АО «Поликетон», АО Микрон и НИИМЭ, играющего координирующую роль. В этой работе активно участвуют сотрудники двух молодежных лабораторий, созданных по конкурсам, объявленным Минобрнауки РФ.

Была поставлена задача создания технологии синтеза полимеров для полимерных пленкообразующих композиций (антиотражающих покрытий и фоторезистов), включающая разработку и изготовление технологической оснастки для синтеза полимеров и соответствующей документации, наработку партий полимеров, их тестирование, проведение сравнительного анализа составов импортных аналогов и разрабатываемых антиотражающих покрытий (АОП) и фоторезистов (ФР).

В результате в коллективе получены образцы материалов (АОП193, АОП248, ФР193, ФР248), использованные в АО «НИОПИК» для приготовления композиций АОП и ФР, которые затем были успешно протестированы на технологических линиях АО «Микрон» для создания методом фотолитографии топологических элементов интегральных микросхем (ИМС) размером от 90 нм. Часть продуктов уже поставлена на производство в ООО «Поликетон» (г. Нижний Новгород).

Разработана технология получения поверхностно-активного вещества (ПАВ) в качестве добавки в безметалльный проявитель, что необходимо для выполнения требования по минимизации размера элементов (ИМС). Синтезированный ПАВ в составе безметалльного проявителя успешно прошёл испытания на производственной линии АО «Микрон», по своим характеристикам ПАВ полностью удовлетворяет заказчика, ФИЦ ПХФ и МХ РАН осуществляет регулярную поставку ПАВ для обеспечения бесперебойной работы линий по производству интегральных микросхем.

В коллективе разработаны также простые и масштабируемые методы получения сульфониевых и йодониевых фотосолей – фотогенераторов кислоты, а также эфиров метакриловой кислоты на основе адамантана, камфоры и пиненов – важнейших компонентов для создания ФР с химическим усилением. Ведутся работы по созданию материалов для корпусирования ИМС.

В настоящее время нами проводится активная совместная с РАН, Минпромторгом РФ работа по созданию Центра малотоннажной химии по разработке и микротоннажному производству литографических материалов для микроэлектронной промышленности на базе нашего Центра в Черноголовке.

Работа выполнена при финансовой поддержке ОКР «Композиция-Б», ОКР «Резист-1», НИР «Фотолиз», НИР «Фотолиз-2», ОКР «Т-корпус-П», НИР «Расшифровка», гранта РНФ № 23-91-01015, Минобрнауки РФ (т/к №AAAA-A19-119101590029-0, FFSG-2022-0004 и FFSG-2024-0017).

## **К-18 ГРАДИЕНТНЫЕ АРМИРОВАННЫЕ КОМПОЗИТЫ: ПУТИ СОЗДАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ**

Андрianова К.А.

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им.А.Н.Туполева, Казань, Россия  
420115, Россия, г. Казань, ул. Толстого, д. 15.  
KAAndrianova@kai.ru*

Применение традиционных композиционных материалов с макрогоомогенным распределением свойств обусловлено их высокой стойкостью к механическим нагрузкам, температуре, трению, вибрации. Однако, полимерные композиты, хотя и обладают рядом преимуществ по сравнению с металлами, керамикой, пластмассами, однако и они порой не могут удовлетворить всем предъявляемым требованиям. Создание градиентных полимерных композитов с заранее заданным плавным изменением состава и свойств материала в требуемых направлениях позволяет достигать взаимоисключающие свойства (например, жесткость и ударостойкость) в одном материале без операции соединения разнородных материалов. Целью данной работы является исследование возможности регулирования и оптимизации свойств полимерных композиционных материалов путем создания градиента состава. В градиентных армированных композиционных материалах градиент состава может формироваться за счет плавного изменения состава матрицы, природы армирующего материала, степени наполнения или схемы армирования.

Возможность создания плавного перехода армирующего наполнителя от угля к стеклу была показана на примере гибридных композитных штанг, которые в основном выполняются по схеме «ядро (углеволокна) - оболочка (стекловолокна)». Для устранения опасности расслоения между разнородными армирующими наполнителями необходим плавный переход от ядра штанги, выполненной на основе высокомодульного волокна, к внешней оболочке из низкомодульного волокна. Испытания стержней на трехточечный изгиб показали, что создание плавного перехода от ядра к оболочке в стержне с градиентной структурой улучшает прочность на изгиб за счет отсутствия резкого перехода на границе раздела ядро-оболочка. Вторым направлением создания градиента состава в волокнистых композиционных материалах является изменение состава матрицы. Для регулирования состава матрицы по толщине композитного образца апробирована технология порошкового напыления. В качестве объектов исследования были выбраны порошковые эпоксидные, бензоксазиновые и фталонитрильные смолы. Предложены составы связующих с градиентом компонентов, установлено положительное влияние градиента матрицы для компенсации температурного градиента термопрессования. Получены градиентные углепластики на основе эпокси-бензоксазинового и бензоксазин-фталонитрильного связующих. Показано, что по сравнению с углепластиком гомогенного состава с таким же содержанием компонентов в связующем градиентный углепластик обладает более высокими характеристиками ударной прочности без потери жесткости, а также более высокой теплостойкостью. Плавное изменение состава связующего по сечению композита было использовано для регулирования процесса отверждения путем создания фронта отверждения от центральных слоев композита к наружным. Это позволило избежать перегрева материала и его термодеструкции, что особенно актуально при получении толстостенных изделий с низкой теплопроводностью компонентов.

## К-19 БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ МАССЫ В КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Куличихин В.Г., Зуев К.В., Михайлов П.А., Шабеко А.А., Черненко Д.Н.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового  
Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиеva  
Российской академии наук (ИНХС РАН)  
119991 Москва, Ленинский пр. 29  
E-mail:klch@ips.ac.ru*

Фактически, лигноцеллюлозное сырье состоит из трех важнейших компонентов: собственно, целлюлозы, играющей роль армирующей фазы, лигнина, являющегося аналогом связующего, и низкомолекулярной гемицеллюлозы, выполняющей функции адгезива для укрепления клеточной структуры. Другими словами, лигноцеллюлозная масса – это пример композиционного материала.

В данном сообщении будут рассмотрены две составляющие этого композита: лигнин и целлюлоза, которые являются источником ряда полезных продуктов для последующей химической переработки. Прежде всего, речь идет о гидроксикислотах, которые можно получить окислением лигнина, в частности, о ванилиновой (4-гидрокси-3-метоксибензойная) и сиреневой (4-гидрокси-3,5-диметоксибензойная). Эти кислоты были использованы для синтеза ароматических сополиэфиров, наряду с синтетическими: 4,4'-гидроксибензойной (пара-ГБК), 4,4'-гидроксидифенилкарбоновой (пара-ГДКК). О таких полимерах пойдет речь в первой части сообщения как в плане их синтеза, так и исследования термических, оптических и механических свойств. При использовании сомономеров паро-структуры полученные полиэфиры имеют высокие точки плавления (размягчения), что затрудняет их переработку в волокна или объемные изделия. Для снижения температуры плавления используют сомономеры с изгибными звеньями, например, мета-ГБК или 4,3'-ГДКК. Замена паро-ГБК на ванилиновую кислоту позволяет получить полиэфиры, имеющих в расплавах жидкокристаллическую (ЖК) структуру, которая в условиях эксплуатации трансформируется в стеклообразную анизотропную текстуру.

Целлюлоза для химической переработки является наиболее ценным компонентом лигноцеллюлозной массы, поскольку именно из такой целлюлозы возможно формировать искусственные волокна, необходимые как для текстильной промышленности, так и в качестве прекурсоров углеродных волокон. Для этой цели был использован т.н. ММО процесс, основанный на получении прядильных растворов в прямом растворителе – N-метилморфолин-N-оксиде (ММО). Оригинальной является стадия твердофазной активации порошков целлюлозы и ММО, позволяющая получать прядильные растворы с концентрацией целлюлозы до 20%. На этой основе была разработана конструкция и изготовлена линия формования производительностью до трех тонн волокна в год. Наиболее востребованными оказались текстильные волокна и прекурсоры углеродных волокон, из которых изготавливают теплозащитные углеродные материалы. Этот же процесс позволяет получать композитные волокна целлюлозы с ПАН, мета-арамидами, алкилен-ароматическими полиэфирами. Таким образом, компоненты композитной лигноцеллюлозной массы получили вторую жизнь для создания новых композиционных волокон.

## К-20 НЕТКАНЫЕ ВОЛОКНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ БИОМЕДИЦИНСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИЭФИРОВ

Ольхов А.А.<sup>1,2</sup>, Бемов Д.Н.<sup>2,3</sup>, Зернова Ю.Н.<sup>1</sup>, Кучеренко Е.Л.<sup>1</sup>,  
Маркин В.С.<sup>1</sup>, Косенко Р.Ю.<sup>1</sup>, Иорданский А.Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова  
Российской академии наук, Москва, Россия  
119991, Москва, ул. Косыгина, 4

<sup>2</sup> Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия  
109992, Москва, Сретенский пер., д. 36

<sup>3</sup>АО «Кимрская фабрика им. Горького», Кимры, Россия  
171507, Тверская обл., г. Кимры, ул. Пушкина, д. 72а

В докладе рассмотрены научно-практические приложения нетканых волокнистых материалов, полученных методом электроформования, (рис. 1) на основе природных и синтетических полиэфиров: поли-3-гидроксибутират, полилактида, поликапролактона, полибутиленадипаттерефталата.



Рис. 1. Общий вид установки (а), схема процесса (б) и рабочий узел установки электроформования.

Данные полимеры хорошо гидролизуются в условиях окружающей среды, что делает их приоритетными для создания экологически безопасных изделий одноразового применения. Будут рассмотрены основные области применения нетканых волокнистых материалов на основе биополимеров: матрицы программируемого высвобождения лекарств, антибактериальные волокнистые материалы, скаффолды для выращивания живых клеток, биорезорбируемые имплантаты, тканевая инженерия, защитные и фильтрующие материалы различного назначения, экологичные биодеградируемые сорбенты. Основной упор в докладе будет сделан на зависимости структурообразования полимера при формировании волокна по технологии электроформования в зависимости от технологических параметров формовочного раствора (электропроводности, вязкости, концентрации полимера), молекулярной массы полимера, природы и концентрации функциональных веществ. Для характеристики надмолекулярной структуры волокон использован комплекс структурно-динамических методов анализа: электронный парамагнитный резонанс, рентгеноструктурный анализ, дифференциально сканирующая калориметрия, инфракрасная спектроскопия, сканирующая электронная и атомно-силовая микроскопия. Будут приведены зависимости эксплуатационных показателей модифицированных волокнистых и комбинированных материалов: физико-механические, диффузионные, сорбционные, биомедицинские и др.

**К 21 РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ.  
МАТЕРИАЛЫ БУДУЩЕГО**

**Будеева А.В.**

*Сибур-Инновации, Томск*

## К-22 ПОЛИМЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК ОСНОВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

Кузнецов В.А.<sup>1,2</sup>, Федоров А.А.<sup>1,2</sup>, Ермаков В.А.<sup>1</sup>, Гапич Д.И.<sup>1</sup>, Фролов Д.И.<sup>1</sup>,  
Холхов Б.Ч.<sup>3</sup>, Матвеев З.А.<sup>3</sup>, Бурдуковский В.Ф.<sup>3</sup>, Ларичкин А.Ю.<sup>4</sup>, Колодезев В.Е.<sup>4</sup>,  
Мосеенков С.И.<sup>5</sup>, Кузнецов В.Л.<sup>5</sup>, Супрун Е.А.<sup>5</sup>, Герасимов Е.Ю.<sup>5</sup>,  
Гудков М.В.<sup>6</sup>, Мельников В.П.<sup>6</sup>, Федотов П.В.<sup>7</sup>, Арутюнян Н.Р.<sup>7</sup>, Образцова Е.Д.<sup>7</sup>

<sup>1</sup>*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева*

*Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*

<sup>3</sup>*Байкальский институт природопользования*

*Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия*

<sup>4</sup>*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева*

*Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия*

<sup>5</sup>*Институт катализа им. Г.К. Борескова*

*Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия*

<sup>6</sup>*Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семёнова*

*Российской академии наук, Москва, Россия*

<sup>7</sup>*Институт общей физики им. А.М. Прохорова*

*Российской академии наук, Москва, Россия*

*vitalii.a.kuznetsov@gmail.com*

В начале 21 века стало появляться огромное количество работ, посвященных развитию подходов по созданию функциональных композиционных материалов на основе полимерных матриц с электропроводящими наноразмерными наполнителями, что было обусловлено стремительным развитием коллоидной химии. Ультразвуковое диспергирование углеродных и других электропроводящих наночастиц в растворах полимеров позволило получать композиционные материалы с равномерно распределенной электропроводящей фазой в объеме полимерной матрицы. Различное по характеру и величине взаимодействие растворителей, макромолекул полимеров и наночастиц наполнителей приводит к различной морфологии конечных композитов, что обуславливает отличия их функциональных свойств.

В рамках настоящей работы представлены результаты исследования влияния типа высокотемпературной полимерной матрицы (полибензимидазол и ароматический полиамид) и типа углеродного наполнителя (углеродные нанотрубки, наночастицы графита) на морфологию получаемых композитов и их функциональные свойства. Показано, что различное взаимодействие полимеров с углеродными наночастицами оказывает существенное влияние на характер распределения электропроводящего наполнителя в полимерной матрице. Характер распределения наночастиц наполнителя в полимерных матрицах исследован на основе комплекса данных, полученных с помощью методов электронной микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света, спектроскопии оптического поглощения ультрафиолетового-видимого-ближнего инфракрасного диапазонов (UV-vis-IR) и фотолюминесцентной спектроскопии, электронных транспортных и термоэлектрических свойств, а также тензорезистивных свойств в области малых и развитых деформаций.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-10223, <https://rscf.ru/project/24-79-10223/>



# КЛЮЧЕВЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция:

Физико-математическая

## К-23 КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКРОМОЛЕКУЛ: ОТ ДЕТАЛЕЙ СТРОЕНИЯ ДО МАКРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Василевская В. В.,  
Лазутин А. А., Гусева Д. В., Глаголева А. А., Буглаков А. И.

Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова Российской  
Академии Наук  
119991, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 28.

В докладе на примере нескольких практически значимых систем будут показаны возможности методов компьютерного эксперимента как инструмента, способного имитировать сложные полимерные системы, анализировать детали строения на масштабах, недоступных экспериментальным методам, и прогнозировать их макроскопические свойства.

Будет рассмотрен *in silico* синтез сверхсшитого полистирола, проанализированы особенности смешения полилактидов разного энантиомерного состава, выделена область с максимальной проводимостью в сополимерах, содержащих блоки с высокой литий-ионной проводимостью, описана самосборка надмолекулярных фибриллярных гелей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Lazutin A. A., Glagolev M. K., Vasilevskaya V. V., Khokhlov A. R. Hypercrosslinked polystyrene networks: an atomistic molecular dynamics simulation combined with a mapping/reverse mapping procedure. *J. Chem.Phys.*, **2014**, *140*, 134903(1-8)
2. Lazutin A. A., Glagoleva A. A., Vasilevskaya V. V., Khokhlov A. R. Computer synthesis of hypercrosslinked polystyrene: All-atom simulations. *Low Temperature Physics* **2017**, *43*, 244-247.
3. Guseva D. V., Lazutin A. A., Vasilevskaya V. V. Atomistic simulation of amorphous poly (lactic acid) blends: stereodependent miscibility and properties. *Macromolecules* **2024**, *57*, 11276–11288.
4. Guseva D. V., Glagolev M. K., Lazutin A. A., Vasilevskaya V. V. Revealing structural and physical properties of polylactide: what simulation can do beyond the experimental methods. *Polymer Reviews* **2024**, *64*, 80–118.
5. Vasilevskaya V. V., Lozinskaya E. I., Ponkratov D. O., Lazutin A. A., Buglakov A. I., Grysyan P., Shaplov A. S. From computer simulation to synthesis of highly lithium-ion conductive block copolymers with bicontinuous morphology. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2025** (submitted)
6. Buglakov A. I., Vasilevskaya V. V. Self-assembled graft-copolymers nanofibers with adjustable internal and external structure. *Macromolecules* **2023**, *56*, 6600–6608.

Работа выполнена в рамках Государственного задания №075-00276-25-00 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации с использованием оборудования Межлабораторного вычислительного центра Института элементоорганических соединений им А.Н. Несмеянова РАН.

## К-24 РОЛЬ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ПРИ СОЗДАНИИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Кузнецов Н.М.

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия  
123182, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1.  
kuz993@yandex.ru*

Развитие природоподобного подхода диктует необходимость применения новых принципов при проектировании высокотехнологичных устройств, и в этом ключе стимул-чувствительные материалы вызывают особый интерес [1]. Среди дисперсных систем, чувствительных к действию электрического поля, можно выделить электрореологические жидкости, которые обратимо изменяют свой реологический отклик с вязкого на упругий за счет поляризации частиц дисперсной фазы и формирования ориентированной структуры. Электрореологические жидкости находят практическое применение при создании демпфирующих устройств, акустических призм и оптических сенсоров, актуаторов и приводов в гибких роботах, в микрофлюидной технологии, а также для процессов электрополировки. В качестве дисперсионных сред электрореологических жидкостей широкое распространение получили силиконовые масла, обладающие низкой диэлектрической проницаемостью, температурной и химической стойкостью, а также коммерческой доступностью. Роль наполнителя выполняют частицы различной химической природы, как неорганические, так и полимерные [2]. Интерес к последним связан в первую очередь с возможностью направленного изменения как функциональных групп полимерных молекул, так и их надмолекулярной организации. Электрические характеристики и форма частиц наполнителя – два ключевых аспекта, определяющих эффективность электрореологического отклика жидкости. Важным фактором, ограничивающим привлекательность таких материалов для практического применения, является агрегационная неустойчивость дисперсных систем.

Одним из современных направлений исследований является создание жидкостей с контрастным изменением реологического поведения и высоким значением предела текучести в электрическом поле при минимальном содержании наполнителя. Поэтому разработка функциональных наполнителей низкой плотности с сильно разветвленной и/или фрактальной структурой является актуальной задачей. В работе представлены результаты исследования низкоконцентрированных электрореологических жидкостей с полимерными наполнителями на основе хитина, хитозана, целлюлозы, полианилина и ПЭДОТ:ПСС; исследовано их реологическое поведение, выявлена фундаментальная связь «структура-свойства». В докладе также обсуждаются подходы для моделирования и прогнозирования механических свойств высокопористых полимерных структур.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Н.М., Банин Е.П., Крупнин А.Е., Крашенинников С.В., Чичаев И.А., Коротеев А.В., Григорьев Т.Е., Чвалун С.Н. *Российские нанотехнологии*, 2023, 18, 186–206.
2. Kuznetsov N.M., Kovaleva V.V., Belousov S.I., Chvalun S.N. *Materials Today Chemistry*, 2022, 26, 101066.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 22-73-10081.

## К-25 ВЛИЯНИЕ ЗАЦЕПЛЕНИЙ НА СТРУКТУРУ ПОЛИМЕРНЫХ РАСПЛАВОВ И ФОРМИРОВАНИЕ ВОЛОКОН

Петров А.И., Лелекова В.А., Рудяк В.Ю., Чертович А.В.

Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н.Семенова РАН.  
119991, Москва, Косыгина 4.  
chertov@chph.ras.ru

Рассмотрен вопрос о формировании зацеплений по ходу полимеризации и последующему влиянию сетки зацеплений на спекание и формирование ориентированного полимерного волокна. При построении аналитических теорий и компьютерном моделировании мы ориентировались на сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) и получение ориентированных волокон «сухим» методом из спеченного расплава.

Синтез цепей моделировался гомогенной полимеризацией с одновременной частичной кристаллизацией растущих цепей [1]. По мере изотермического спекания слабозацепленного расплава вблизи температуры кристаллизации образцы демонстрируют весьма необычное поведение, характерное для так называемого полимерного энтропийного взрыва (chain explosion). При деформациях упругость расплава после начала режима текучести пропорциональна плотности зацеплений исходного расплава, которая действует аналогично сетке сшивателей в полимерной резине. Достаточно длинные и зацепленные цепи при этом не распутываются и могут формировать высокоориентированные волокна. Чем меньше плотность зацеплений в подобных системах, тем более ориентированные и прочные волокна удается получить. Однако, слишком редко зацепленные или недостаточно длинные цепи не способны формировать прочные волокна, по мере вытягивания волокна происходит его разрушение, см. Рис.1. Простая скейлинговая теория подтверждает эти наблюдения: должна существовать некоторая определенная оптимальная степень запутывания, для получения наиболее ориентированных и прочных волокон [2].

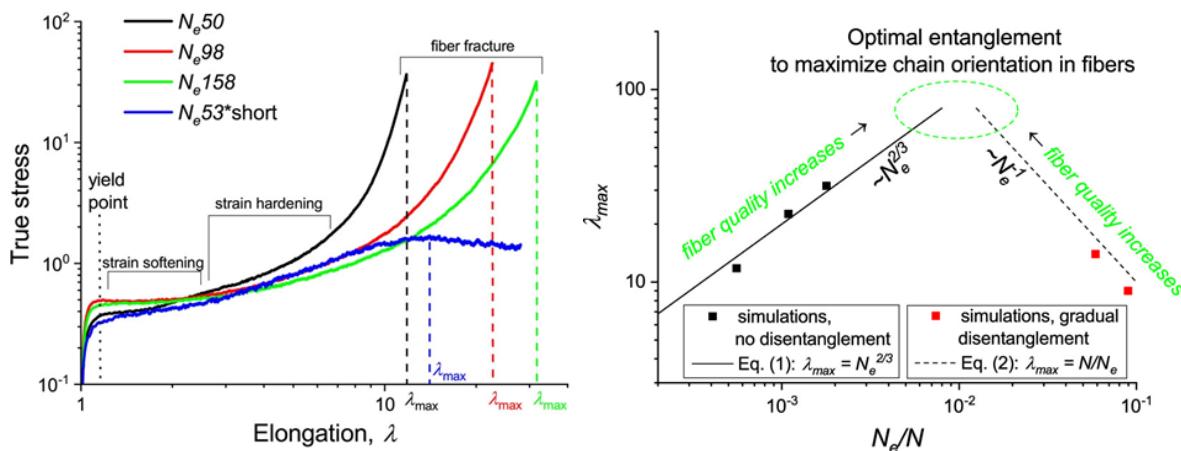


Рис. 1. Напряжение как функция деформации для образцов с разной зацепленностью (слева), определение оптимальной степени зацепленности расплава (справа).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Petrov A., Kos P., Rudyak V., Chertovich A. // Macromolecules 2020, 53, 6796.
2. Petrov A., Rudyak V., Chertovich A. // Macromolecules 2022, 55, 6493.

## К-26 ИННОВАЦИИ В РАЗВИТИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДНЫХ МАТРИЦ

В.Е.Юдин, В.М.Светличный, А.Л.Диденко, Г.В.Ваганов, Е.М.Иванькова, В.В.Кудрявцев

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина» -  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» -  
Институт высокомолекулярных соединений  
199004, Россия, г. Санкт-Петербург, В. О. Большой пр. 31  
yudinve@gmail.com*

В Институте высокомолекулярных соединений (Санкт-Петербург) проводятся систематические исследования в области термостойких полииimidов, которые включают химический синтез исходных мономеров и полииimidов, анализ их структуры, получение в лабораторных условиях образцов композиционных материалов, изучение их физико-механических свойств. Полииimidы эффективно используются в ответственных деталях конструкций, а зачастую они являются незаменимыми, поскольку сочетают высокие прочностные характеристики с огнестойкостью, низкой токсичностью продуктов термодеструкции, химической и радиационной стойкостью, стабильными диэлектрическими свойствами в широком диапазоне температур, включая криогенные, что особенно актуально в связи с необходимостью разработки новых полимеров и композиционных материалов на их основе для условий Арктики.

В лекции представлены новые подходы к получению композиционных материалов на основе полииimidов, перерабатываемых по расплавной технологии или с использованием водных растворов солей полииамидокислот, способных найти широкое применение не только в области конструкционных материалов и микроэлектронике, но и биомедицине благодаря отказу от использования органических растворителей на конечной стадии получения изделия. Оба подхода направлены не только на использование коммерчески доступных мономеров, необходимых для синтеза полииimidов и частично производимых в РФ, но и на получение на их основе одно-, двух- и трехмерных изделий с использованием современных аддитивных технологий и экологически чистых растворителей.

Новизну подхода к разработке композиционных материалов на основе полииimidов составляют в совокупности три направления научно-технических задач:

1. *Структура мономерного звена*: заданная химическая структура мономерного звена придает полииimidным материалам растворимость и плавкость.
2. *Перерабатываемость*: получаемые в ходе синтеза термопластичные полииimidы способны перерабатываться в изделия как методами компрессионного формования, литья под давлением, так современными 3D-печати.
3. *Наномодификация*: наномодифицированные термопластичные полииimidы обладают улучшенными физико-механическими характеристиками, а также новыми, не присущими исходной полимерной матрице свойствами.

Следует подчеркнуть, что значимость и новизна предлагаемых решений заключаются также в том, что они не только сам по себе содержит инновации, но еще создает возможности для инноваций при разработке новых конструкций в высокотехнологичных отраслях промышленности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-13-20001.

## К-27 ПОРИСТЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Григорьев Т.Е.<sup>1</sup>, Антипова К.Г.<sup>1</sup>, Загоскин Ю.Д.<sup>1</sup>, Крупин А.Е.<sup>1</sup>, Храмцова Е.А.<sup>2</sup>,  
Базылева К.Ю.<sup>1</sup>, Фомина Ю. С.<sup>1</sup>, Чвалун С.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> НИЦ «Курчатовский институт», Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

<sup>2</sup> Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, ул. Косыгина, д. 4  
E-mail: [timgrigo@yandex.ru](mailto:timgrigo@yandex.ru)

Создание искусственного аналога внеклеточного матрикса (ВКМ) является актуальной задачей тканевой инженерии. Для ее решения используют различные природные и синтетические полимеры. Сложная многокомпонентная организация ВКМ обуславливает использование комбинации различных типов биоматериалов.

Многопараметрическое управление характеристиками таких матриксов, разработка фундаментальных методик их получения, определяют перспективу дальнейшего развития регенеративной медицины. Наряду с биосовместимостью и пористой структурой матрикс должен обладать также биоадекватными физико-механическими характеристиками – как микромеханические характеристики оказывают влияние на процессы адгезии и дифференцировки клеток, так и прочностные характеристики материала влияют на биосовместимость и общую функциональность матрикса.

В докладе отражены основные подходы к созданию пористых материалов с настраиваемой структурой и свойствами: волокнистых нетканых, губчатых и гидрогелевых, композиционных.

Разработана методика модификации нетканого волокнистого материала природными полимерами для получения биоподобной структуры внеклеточного матрикса с сохранением высокой пористости. Подтверждено, что внедрение в волокнистую матрицу коллагена и хитозана приводит к гидрофилизации поверхности и формированию среды, пригодной для заселения водорослевыми клеточными культурами. Снижение пористости композиционного материала на 1% за счет добавления природного губчатого наполнителя приводит к 5-кратному росту упруго-прочностных свойств материала.

Для создания биомеханически адекватных гидрогелей предложена методика определения параметров упругости гидрогелей с привлечением испытаний на одноосное растяжение, сжатие, кручение и бесконтактного метода определения коэффициента Пуассона. Полученные значения параметров упругости верифицированы в экспериментах на индентирование. Значения модуля сдвига, полученные в ходе аппроксимации деформационных кривых растяжения моделями гиперупругого поведения, совпадают с экспериментальными значениями.

Разработаны новые способы получения гидрогелей на основе синтезированных тройных блок-сополимеров лактида и этиленгликоля с молекулярной массой от 11 до 42 кДа. Показано, что «быстрое» ухудшение качества растворителя приводит к получению однородных эластичных гидрогелей с модулями упругости до 50 кПа, в то время как при «медленном» ухудшении качества растворителя получаются пористые гидрогели с модулями упругости, достигающими 4,5 МПа.

Работы проведены в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

## **К-28 БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ЛАКТИДА: СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И БИОМЕДИЦИНСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ**

Седун Н.Г.<sup>1,2</sup>, Чвалун С.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
Москва, Россия*

*117393, г. Москва, Профсоюзная улица, 70*

<sup>2</sup>*НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия  
123098, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1  
nsedush@ispmt.ru*

Развитие современной медицины и фармацевтики требует создания новых биосовместимых полимерных материалов с широким спектром свойств. Особое внимание исследователей направлено на разработку биодеградируемых материалов, которые незаменимы при создании временно функционирующих в организме имплантируемых устройств. Биоразлагаемые полимеры на основе циклических сложных эфиров (лактида, гликолида,  $\epsilon$ -капролактона и др.) представляют собой перспективную платформу для получения материалов с регулируемыми характеристиками и сроками деградации. История применения биоразлагаемых полизифиров в медицине началась около 50 лет назад, когда был создан первый синтетический рассасывающийся материал. Сегодня сфера применений полилактида и его сополимеров очень широка: системы адресной доставки и пролонгированного высвобождения лекарств, биоразлагаемые имплантаты для хирургии, компоненты имплантируемых сенсоров и др. Каждая из решаемых задач требует получения материала с уникальным комплексом физико-химических свойств. Зачастую требуется создание материалов с определенными функциональными свойствами: способностью к самоорганизации и отклику на внешний стимул, флуоресценцией, рентгеноконтрастностью, биоактивностью и др. В докладе будут рассмотрены инструменты для управления свойствами материалов на основе биоразлагаемых полизифиров: регулирование состава и молекулярной структуры полимеров на стадии синтеза, модификация концевых групп, контроль надмолекулярной структуры, введение различных добавок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (госзадание FFSM-2025-0003).



# УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция: Химическая

**У-1 ПОЛИМЕРНЫЕ И КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ  
АКРИЛОВОЙ ХИМИИ С УПРАВЛЯЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ  
СКВАЖИН И ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ**

Варфоломеев М.А.

*Казанский (Приволжский) федеральный университет*

**У-2**

Соловьев А.В.

*НПО ЗЭТ-ПРОГРЕСС*

## **У-3 ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ: ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ПРОДУКТА И СЛОЖНОСТИ БИЗНЕСА НА ПУТИ К РЕИНЖЕНЕРИНГУ**

Цюцкома У.

*ООО “Метаклей Исследования и Разработки”*

## У-4 ОБРАТНЫЙ ИНЖИНИРИНГ МЕДЕЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ: РОЛЬ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СОБЛЮДЕНИЕ СТАНДАРТОВ GMP НА ПРИМЕРЕ ПРОТЕЗОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Пяташева Д.

*ООО «Сайнтифик», Санкт-Петербург, Россия*

*194156, г. Санкт-Петербург, пр-кт Энгельса, д. 34 литер в, ком. 24*

*d.pyatasheva@sntf.ru*

В условиях геополитической нестабильности и усиления санкционного давления обеспечение доступности высокотехнологичной медицинской помощи приобретает стратегическое значение [1]. Обратный инжиниринг выступает эффективным инструментом разработки отечественных аналогов импортных медицинских изделий, что способствует снижению зависимости от зарубежных поставщиков и обеспечению технологической независимости. Согласно данным [2], заболевания суставов встречаются у 33% взрослого населения России, что обуславливает высокий спрос на эндопротезы. Хирургическое лечение, включая эндопротезирование коленного, тазобедренного и плечевого суставов, требуется в 10-15% случаев, когда консервативные методы оказываются неэффективными.

При выборе материалов для эндопротезов необходимо учитывать ряд критически важных требований: высокая биосовместимость (минимизация риска отторжения и воспалительных реакций), оптимальные физико-механические свойства (прочность, эластичность, устойчивость к циклическим нагрузкам), устойчивость к биодеградации (для нерезорбируемых материалов) и возможность стерилизации без изменения свойств

В связи с этим, углерод-армированные полимерные композиты (УПКМ) являются наиболее перспективными материалами для эндопротезирования. В частности, композиты на основе полиэфирэфиркетона (PEEK) и углеродных наполнителей обладают уникальным комплексом свойств. PEEK, как матрица, обеспечивает высокую прочность, химическую стойкость и биосовместимость, в то время как углеродные наполнители повышают жесткость, усталостную прочность и износостойкость композита. Применение УПКМ в бесцементных протезах тазобедренного сустава обусловлено модулем упругости, близким к кортикальной кости, что минимизирует резорбцию кости (эффект экранирования напряжения) и улучшает усталостные характеристики, увеличивая срок службы имплантата [3].

Процесс компаундирования определяет эксплуатационные свойства дисперснонаполненных композиционных материалов, напрямую влияет на структуру, адгезионное взаимодействие на межфазной границе, и как следствие на комплекс механических характеристик, таких как прочность, жесткость, ударная вязкость и т.д. Таким образом оснащение оборудованием, обеспечивающим высокопрекциональный контроль параметров экструзии, является необходимым условием для получения УПКМ с заданными свойствами. Кроме того, при производстве оборудования для компаундирования, предназначенного для медицинских изделий, необходимо соблюдение стандартов GMP, что гарантирует соответствие требованиям безопасности и качества продукции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мельник А.Н., Крылов К.А. *Управление инновациями*, 2022, 61-65.
2. Николаев Н.С., Андреева В.Э., Деверинский А.Н., Преображенская Е.В. *Национальное здравоохранение*, 2022, 3, 5-13.
3. Маслов Л. Б., Дмитрюк А. Ю., Жмайло М. А., Коваленко А. Н. *Российский журнал биомеханики*, 2022, 4, 19-33.

## **У-5 СИБУР ПОЛИЛАБ – ЦЕНТР ПЕРЕДОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОБЪЕДИНЯЮЩИЙ НАУКУ И ПРОИЗВОДСТВО**

Ананьева Г.С., Бурдина М.Л,

*<sup>1</sup>ПАО «Казаньоргсинтез», Казань, Россия  
420051, г. Казань, ул. Беломорская, 101  
kos@kos.sibur.ru*

Современное производство полимеров и композитов на их основе требует постоянного внедрения инноваций. Это связано как с растущими требованиями к качеству продукции, так и с необходимостью снижения экологической нагрузки на окружающую среду. В таких условиях наука становится неотъемлемой частью производственного процесса.

Большой потенциал заложен в совместных научных проектах, которые будут направлены на совместную разработку новых технологий и материалов, успешно внедряемых на производствах СИБУРа. Правильно выстроенная система взаимодействия науки и производства позволит открыть новые возможности для решения ключевых промышленных задач.

Приоритетной задачей является подготовка квалифицированных кадров, обладающие необходимыми компетенциями для устойчивого роста производства. Перспективен образ выпускника, который обладает не только современными методами исследований в области материаловедения, химической инженерии и нанотехнологии, но и умеет оценить взаимосвязь свойств гранулы и готового изделия. Считаем важным, чтобы научные разработки не оставались в стенах лабораторий, а находили практическое применение на производстве. Продукты, синтезируемые в научных лабораториях должны быть максимально приближены к спросу на рынке полимеров.

СИБУР ПолиЛаб является центром прикладных исследований и разработок, приоритетными задачами которого является разработка и тестирование новых полимерных решений, развитие новых ниш применения существующих продуктов. Синергия фундаментальной науки и прикладных исследований и разработок позволяет достичь значительных результатов и внести вклад в развитие отрасли полимеров и композитов.

## У-6 ПРАКТИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАУКИ И БИЗНЕСА НА ПРИМЕРЕ СИБУР. СИБУР- ИННОВАЦИИ КАК ЦЕНТР ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК.

Зарипов И.И.

*ООО «СИБУР-Инновации», Казань, Россия  
420051, г. Казань, ул. Беломорская, 101 [zaripovii@sibur.ru](mailto:zaripovii@sibur.ru)*

СИБУР — одна из наиболее динамично развивающихся компаний в глобальной нефтехимии, российский лидер по производству полимеров и каучуков. Перерабатывая попутный нефтяной газ и другие побочные продукты добычи углеводородов, СИБУР выпускает современные полезные для общества полимерные материалы и вносит значительный вклад в сохранение природных ресурсов и экологического баланса.

Инвестируя в инновации, СИБУР создает условия для прогресса. Одним из важнейших факторов прогресса является развитие корпоративной науки. Наука в СИБУРе включает следующие аспекты:

1. **Научно-исследовательское направление** – представлено десятью RnD-центрами по всей России, еще один в процессе строительства – Центр научных исследований и масштабирования технологий в Казани
2. **Разработка инновационных решений.** СИБУР реализует проекты технологической независимости для импортозамещения критичных химических компонентов, включая катализаторы. В числе таких проектов — технологии производства гексена, тетраизобутират циркония, н-бутиллития и полимерного антипирена.
3. **Создание новых материалов**, в том числе суперконструкционных пластиков, для удовлетворения перспективного спроса в медицине, строительстве, автомобилестроении и других отраслях.
4. **Разработка технологий вторичной переработки полимеров** – позволяет перерабатывать полимерные отходы в первичное сырье с широким спектром применения.
5. **Патенты.** Патентный портфель компании насчитывает более чем 900 патентов и входит в пятёрку лидеров среди индустриальных компаний России по этому показателю.

Научные исследования и разработки в СИБУРе реализуются по двум направлениям: прикладные и инновационные. Система прикладных исследований и разработок – это семь исследовательских центров СИБУР ПолиЛаб, занимающихся разработкой и тестированием новых полимерных решений для различных отраслей.

За инновационные разработки в СИБУРе отвечает центр СИБУР-Инновации, основной задачей которого является развитие новых направлений продуктов и технологий, в том числе для повышения технологической независимости компании. В Центре реализуется более 60 проектов, направленных на обеспечение конкурентоспособности компании за счет прогрессивных технических решений и технологий, работает более 200 научных сотрудников, 9 новых технологий разработано на текущий момент.

В 2024 году СИБУР приступил к строительству Центра научных исследований и масштабирования технологий в Казани. Он станет ведущим научно-исследовательским центром отрасли. Для достижения технологической независимости страны в производстве современных синтетических материалов центр объединит два ключевых направления – разработку новых продуктов и технологий в области нефтегазохимии с масштабированием до промышленного применения.

## У-7 РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ ПРИ ОБРАТНОМ ИНЖИНИРИНГЕ ХИМИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Пушко Д.С.

*ООО «Сайнтифик», Санкт-Петербург, Россия  
194156, г. Санкт-Петербург, пр-кт Энгельса, д. 34 литер в, ком. 24  
[d.pushko@sntf.ru](mailto:d.pushko@sntf.ru)*

Химические волокна входят в число продуктов, обеспечивающих экономическую безопасность и непосредственную обороноспособность государства. Однако, после кризиса 90-х годов прошлого века, связанного с шоковым переходом государства на рыночную экономику и последовавшего распада СССР, волоконная отрасль химической промышленности оказалась в депрессивном состоянии. Выпуск продукции в РФ сократился примерно в 3,5 раза по сравнению с 1990 годом. Это объясняется не только отсутствием качественного развития производства на протяжении последних 30 лет, но и тем фактом, что большинство ресурсных баз и производств, изготавливавших волокна в СССР, остались за пределами РФ.[1]

В связи с необходимостью решать задачи обратного инжиниринга нитей и тканей промышленного, оборонного и медицинского назначения отечественным исследовательским центрам необходима компактная установка для экструзии и вытяжки полимерных волокон.

Для преодоления озвученной учеными проблемы, была начата разработка лабораторной установки получения полимерного моноволокна. При проектировании к линии экструзии выдвигались следующие требования:

- компактность: установка должна легко устанавливаться в помещение лабораторий исследовательских институтов;
- универсальность: линия должна перерабатывать широкий спектр полимеров;
- моделирование работы промышленной линии: линия должна обладать модулями и узлами, устанавливаемыми в промышленных установках и позволять масштабировать результаты экспериментов на большие машины;
- экономичность: линия должна потреблять минимальное количество ресурсов и материалов;

В ходе работы была сконструирована, собрана и прошла испытания опытная установка экструзии нитей с высокой точностью и универсальностью в переработке ряда полимеров. Благодаря компактной конструкции узлов, эта линия потребляет малое количество ресурсов, что позволяет перерабатывать небольшие партии полимеров при проверке способности к вытяжке. Возможности данной установки были апробированы на следующих полимерах: полипропилен, полиамид, а также с биоразлагаемые сополимеры молочной кислоты.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Клепиков Д.Н., Кукушкин И. Г. *Успехи в химии и химической технологии*, 2017, 7, 38-40

**У-8 ПЛЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И КОМПОЗИТЫ ИЗ ОТЧЕСТВЕННОГО  
ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДА**

Балькаев Д.А.

*Казанский (Приволжский) федеральный университет*

## У-9 ПРИРОДНЫЙ МАГНИТИТ В КАЧЕСТВЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО МОДИФИКАТОРА ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Виндижева А.С., Хаширов А.А., Хараева З.Ф., Хаширова С.Ю.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик*  
[amina.vindizheva@mail.ru](mailto:amina.vindizheva@mail.ru)

Среди разнообразных полимерных материалов, применяемых в биомедицине, композитные материалы с магнитными свойствами вызывают значительный интерес. Эти композиты могут быть использованы в качестве противораковых технологий, для магнитно-резонансной томографии, а также в системах для высвобождения лекарств и магнитореологических (МР) материалов [1]. Придание магнитных свойств полимерным материалам осуществляется с помощью наполнителей с магнитными характеристиками. Особое внимание привлекает использование природных магнитов, которые пока недостаточно исследованы. Их применение в медицине особенно перспективно, поскольку природные минералы, как правило, обладают меньшей токсичностью по сравнению с синтетическими аналогами [2].

В данной работе рассматривается природный магнетит из месторождений КБР в качестве перспективного модификатора полимерных материалов. Проведены исследования магнитных свойств этого материала, анализ размера частиц магнетита, измельченного различными способами, а также изучено его строение с использованием рентгенофазового анализа. Разработаны композиционные материалы на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) с содержанием природного магнетита от 5 до 20 масс.%.

Результаты проведенных исследований показали, что природный магнетит обладает насыщенной намагниченностью 83,97 emu/g и остаточной намагниченностью 7,36 emu/g, что соответствует характеристикам магнетита под торговой маркой Alfa Aesar. Введение магнетита в ПЭЭК способствует улучшению его физико-механических свойств и снижению термической усадки.

Таким образом, установлено, что природный магнетит может эффективно выступать в роли модификатора полимеров, которые, в свою очередь, могут стать основой для разработки новых экологически безопасных технологий и продуктов в медицинской сфере.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Wang, Y.; Ahmadi Moghaddam, H.; Palacios Moreno, J.; Mertini, P. Magnetically filled polymer composites - morphological characterization, experimental and stochastic analysis of mechanical properties by finite element method. *Polymers* 2023, 15, 2897.
2. Полимерные композиционные материалы, используемые в челюстно-лицевой имплантологии и протезировании. Виндижева А.С., Хаширов А.А., Хараева З.Ф., Долбин И.В., Хаширова С.Ю. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 5 (407). С. 223-229.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, мнемокод FZZR-2023-005.

## У-10 ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ПОЛИМЕРЫ КАК СТАБИЛИЗАТОРЫ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ ЧАСТИЦ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Виноградов В.С., Озерин А.С., Радченко Ф.С., Новаков И.А.

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия  
400005, Россия, г. Волгоград, пр-т. им В.И. Ленина, 28  
asozerin@vstu.ru*

Полимерные материалы, содержащие в своей структуре частицы металлов или их соединений, могут обладать уникальными свойствами не присущими отдельным компонентам. Свойства таких композиций во многом определяются размерными характеристиками металлосодержащих частиц, входящих в их состав. Водорастворимые полимеры в процессе получения частиц выступают в роли стабилизаторов, как размера, так и состава частиц. Применение полиэлектролитов, способных образовывать комплексы с катионами металлов позволяет проводить получение частиц в «нанореакторах» (внутри макромолекулярных клубков). В этом случае дисперсии частиц получаются с меньшим размером и узким распределением по размеру. Так, полиэтиленимин образует комплексы с катионами серебра, меди, кобальта, никеля, а также может образовывать комплексы с катионами двух металлов одновременно. В этих условиях, были получены дисперсии монометаллических (серебро, медь, кобальт, никель) и биметаллических (медь – кобальт, медь – никель, кобальт – никель) частиц с размерами в интервале 2-15 нм и узким распределением частиц по размеру.

Добавление полиэтиленамина к дисперсиям труднорастворимых соединений металлов (гидроксидов меди, кобальта, никеля или галогенидов серебра) приводит к пептизации крупнодисперсных частиц (300-500 нм) и образованию наноразмерных частицы (2-5 нм) с узким распределением по размеру.

Если водорастворимый полимер (поли-*N*-винилпирролидон, полистиролсульфо кислота) не образует комплексы с катионами металлов, тогда получение частиц проходит по «псевдоматричному» механизму. Дисперсия частиц металлов (медь, кобальт, никель), в этом случае, содержит большие (в сравнение с методом получения в «нанореакторах») частицы (30-70 нм) и характеризуется более широким распределением частиц по размеру.

Получаемые в присутствии водорастворимых полимеров частицы могут проявлять катализитические свойства в полимераналогичных реакциях полимеров – стабилизаторов.

Некоторые водорастворимые полимеры (хитозан, поли-*N*-винилпирролидон) не образуют комплексы с катионами металлов, но образуют комплексы с ионами хлора или йода. В этом случае, так же реализуется условие получения дисперсий металлосодержащих частиц в «нанореакторах», что позволило получить положительно и отрицательно заряженные частицы галогенидов серебра размерами 30-65 нм.

Благодарность: исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZUS-2023-0003).

## У-11 ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ ПЕН С ЗАДАННОЙ СТРУКТУРОЙ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Галимов Э.Р.<sup>1</sup>, Федяев В.Л.<sup>2</sup>, Галимова Н.Я.<sup>1</sup>,  
Шарафутдинова Э.Э.<sup>1</sup>, Галимов Р.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ,  
420111, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10*

<sup>2</sup>*Институт механики и машиностроения ФИЦ КазНЦ РАН,  
420111, Россия, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31*

Из большого разнообразия углеродных материалов особое место по перспективности применения занимают синтактические углеродные пены (СУП), отличающиеся от обычных пен хорошо развитой регулярной пористой структурой, регулируемыми в широком диапазоне теплофизическими свойствами, электропроводностью, устойчивостью к действию различных агрессивных сред [1, 2].

Технологические процессы получения теплоизолирующих пен основаны на применении в качестве исходных материалов неграфитирующихся веществ (фенолоформальдегидных и др. полимерных связующих). Теплопроводные пены получают с использованием графитирующихся углеродных материалов (нефтяных или каменноугольных пеков), способных при температурной обработке к карбонизации и графитации с образованием жидкокристаллической мезофазы.

Исходными компонентами при получении теплоизолирующей пены служили: фенолоформальдегидная смола (ФФС) резольного типа, углеродные полые микросфера и *n*-толуолсульфокислота (ПТСК) в качестве структурирующей добавки. Технология включала следующие операции: смешивание компонентов в жидкой фазе, упаривание, сушка и измельчение смеси, формирование «зеленой» пены прессованием, отверждение, карбонизация, пироуплотнение. Для получения теплопроводной пены использовали нефтяной пек, углеродные полые микросфера и структурирующие добавки (мезофазные микросфера, углеродные нанотрубки). Технология получения пены состояла из следующих операций: смешивание компонентов, формирование «зеленой» пены прессованием композиции, низкотемпературная карбонизация, карбонизация, графитация, пироуплотнение.

На основе полученных данных по изменению теплофизических свойств в широком диапазоне температур и структуры исследованных пен можно сделать заключение: повышение ТКЛР образца с добавкой ПТСК в температурном интервале 100-1000 °С обусловлено неполным выходом летучих веществ в процессе термической обработки и пироуплотнения; снижение ТКЛР образца на основе пека в интервале 20-600 °С по сравнению с интервалом 20-120 °С обусловлено более развитой (по сравнению с ФФС) системы открытых микро- и мезопор, характерных для кокса на основе нефтяных пеков; одинаковый уровень коэффициента теплопроводности образцов, полученных на основе пекового связующего и ФФС.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Галимов Э.Р., Федяев В.Л., Абдуллин А.Л., Галимова Н.Я., Шарафутдинова Э.Э. *Изд-во Академии наук РТ*, 2022, 324.
2. Samoylov V.M., Danilov E.A., Galimov E.R., Fedyayev V.L., Galimova N.Y., Orlov M.A. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2017, 240, 1, 1-4.

## У-12 ГИДРОЛИТИЧЕСКИ СТОЙКИЕ ВЫСОКОПРОНИЦАЕМЫЕ МЕМБРАНЫ ИЗ ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФОНА ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ БАКТЕРИЙ И ВИРУСОВ

Раева А.Ю.<sup>1,2</sup>, Матвеев Д.Н.<sup>1</sup>, Анохина Т.С.<sup>1</sup>, Жанситов А.А.<sup>2</sup>, Хаширова С.Ю.<sup>2</sup>,  
Борисов И.Л.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчева РАН, Москва, Россия, 119991, ул. Ленинский проспект 29 стр. 4

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО "Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова", г. Нальчик, Россия, 360004, ул. Чернышевского, 173  
boril@ips.ac.ru

Свободный доступ к чистой питьевой воде является одним из основополагающих факторов для сохранения здоровья человека. Микро- и ультрафильтрация активно применяются для удаления из воды различных коллоидов, микроорганизмов и полимерных молекул. С целью предотвращения обраствания мембран микроорганизмами и загрязнения фильтруемой воды продуктами их жизнедеятельности требуются процессы стерилизации и регенерации мембран. Наиболее дешевым и простым методом является обработка перегретым паром. Однако, не все полимерные материалы способны выдерживать такую обработку на многоцикловой основе.

В работе синтезирован ряд полифениленсульфонов (ПФСФ) с различной молекулярной массой, содержащих концевые гидроксильные и хлорные группы в соотношении OH:Cl от 0.43 до 17 [1]. На основе систематического изучения свойств растворов ПФСФ разработаны подходы к формированию плоских и поливолоконных ультрафильтрационных мембран из этого полимера. Проницаемость по воде мембран из синтезированных полимеров (79 - 136 л/(м<sup>2</sup>·ч·атм) более чем на 2 порядка превышает проницаемость мембран из ПФСФ Ultrason P (0,2 л/(м<sup>2</sup>·ч·атм)). На текущий момент, это наилучший результат среди поливолоконных мембран из немодифицированного ПФСФ [2]. Задерживающая способность представленных поливолоконных мембран из синтезированных ПФСФ по калибратору Blue Dextran с молекулярной массой 70 000 г/моль составляет 94,7-99,2 %, для молекулярной массы 500 000 г/моль - не менее 99,9 %. Таким образом, разработанные мембранны способны задерживать не только бактерии и вирусы (> 1 000 000 г/моль), но также их метаболиты, опасные для человека [3].

Показано, что проницаемость и селективность мембран в ходе длительных экспериментов по периодической стерилизации не изменяется после 300 ч контакта с перегретым паром, что говорит о высокой гидролитической устойчивости мембран по сравнению с существующими аналогами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Matveev D., Raeva A., Zhansitov A., Shakhmurzova K., Kurdanova Zh., Anochina T., Khashirova S., Volkov V., Borisov I. *Membranes and Membrane Technologies*, **2024**, 6, №2, 104-111.
2. Anochina T., Raeva A., Sokolov S., Storchun A., Filatova M., Zhansitov A., Kurdanova Zh., Shakhmurzova K., Khashirova S., Borisov I. *Membranes*, **2022**, 12, №11, 1113.
3. Raeva A., Matveev D., Anokhina T., Zhansitov A., Khashirova S., Volkov V., Borisov I. *Polymers*, **2025**, 17, №1, 53

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00711, <https://rscf.ru/project/22-19-00711/>.

## У-13 ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ХРОМОФОРОВ С ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИМИ ФРАГМЕНТАМИ, ПРОЯВЛЯЮЩИЕ КВАДРАТИЧНУЮ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ

Балакина М.Ю.<sup>1</sup>, Калинин А.А.<sup>1</sup>, Фоминых О.Д.<sup>1</sup>, Вахонина Т.А.<sup>1</sup>, Шмелев А.Г.<sup>2</sup>,  
Петров Д.Н.<sup>2</sup>, Симанчук А.Э.<sup>3</sup>, Микерин С.Л.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, 420088, Россия, г. Казань, ул. ак.Арбузова, 8

<sup>2</sup>Физико-технический институт им.Е.К. Завойского, ФИЦ Казанский научный центр РАН, 420029, Россия, г. Казань, ул.Сибирский тракт, 10/7

<sup>3</sup>Институт автоматики и электрометрии СО РАН, 630090, Россия, г.Новосибирск,  
пр-т акад. Коптюга, 1  
mbalakina@yandex.ru

Исследована квадратичная нелинейно-оптическая (НЛО) активность полимерных композитов на основе оригинальных дипольных хромофоров, содержащих гетероциклические фрагменты и объемные группы в разных структурных компонентах. В большинстве случаев в качестве матрицы использовался полиметилметакрилат (ПММА), содержание хромофоров варьировалось от 10 до 50 масс.%. НЛО активность материалов исследована методом генерации второй гармоники с рабочей длиной волны 1028 и 1064 нм; определены значения НЛО коэффициентов,  $d_{33}$ , установлено оптимальное содержание хромофоров в материале, исследована релаксационная стабильность НЛО отклика.

Исследованные композиты демонстрируют достаточно высокие значения  $d_{33}$  (от 60 до 100 пм/В); оптимальное содержание хромофоров 20-25 масс.% [1-4]. Долговременная стабильность НЛО активности является высокой: более 90% сохраняется в течение длительного времени при температуре окружающей среды, а также после выдерживания при 50 °С в течение 100 часов.

При дизайне НЛО материалов заметную роль играют теоретические исследования: расчеты молекулярных НЛО характеристик хромофоров и атомистическое моделирование, позволяющее прогнозировать оптимальное содержание хромофор-гостей в композите, рассчитывать температуру стеклования, оценивать свободный объем, а также исследовать локальную динамику хромофоров в приложенном электрическом поле [5]. Установлено, что в исследованных материалах реализуется большое число невалентных взаимодействий хромофоров между собой и с полимером-хозяином; возникшие невалентные связи можно рассматривать как физическую сетку, способствующую сохранению квадратичного НЛО отклика материала.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Islamova L.N., Kalinin A.A., Gaysin A.I., Fazleeva G.M., ... Balakina M.Yu.. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, **2022**, 431, 114013.
2. Islamova L.N., Kalinin A.A., Shustikov A.A., Fazleeva G.M., ... Balakina M.Yu.. *Dyes Pigm.*, **2023**, 216, 111316.
3. Kalinin A.A., L.N. Islamova, Sharipova S.M., Fazleeva G.M., ... Balakina M.Yu.. *New J. Chem.*, **2023**, 47, 2296–2306.
4. Kalinin A.A., Shustikov A.A., Islamova L.N., Levitskaya A.I., ... Balakina M.Yu.. *Dyes Pigm.* **2024**, 227, 112184.
5. Fominykh O.D., Sharipova A.V., Balakina M.Yu.. *J. Molec. Liq.*, **2024**, 407, 125224.

## У-14 МАТЕРИАЛЫ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМ ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИБЕНЗИМИДАЗОЛОВ

Холхоев Б.Ч.<sup>1</sup>, Матвеев З.А.<sup>1</sup>, Бардакова К.Н.<sup>2</sup>, Тимашев П.С.<sup>2</sup>, Бурдуковский В.Ф.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия  
670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6.*

<sup>2</sup>*Институт регенеративной медицины, Первый Московский государственный медицинский университет, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва ул. Трубецкая, д. 8-2  
holh\_bat@mail.ru*

В последние годы неослабевающий интерес вызывают полимеры с эффектом памяти формы (ЭПФ), которые способны восстанавливать исходную форму из деформированного состояния под действием внешнего триггера – температуры, растворителя, pH среды, электричества, света, магнитного поля и т.д. При этом, особое внимание привлекают полимеры с высокотемпературным ЭПФ, перспективные для использования в аэрокосмической индустрии, промышленности конструкционных материалов, электронике, сенсорике и др.

В докладе будет представлен ряд новых полимерных материалов с высокотемпературным ЭПФ на основе алифатических полибензимидазолов (ПБИ), которые получены методом высокотемпературной поликонденсации 3,3'-диаминобензидина (ДАБ) и ряда алифатических дикарбоновых кислот, содержащих 7-14 метиленовых фрагментов. Было установлено, что коэффициент фиксации временной формы ( $R_f$ ) для всех ПБИ составляет 99% и практически не меняется при циклических испытаниях, в то время как коэффициент восстановления исходной формы ( $R_r$ ) варьируется в пределах ~91-97% в зависимости от строения макромолекулярной цепи.

В работе также продемонстрированы две возможности направленного регулирования целевых характеристик материалов. Первая из них заключается в получении статистических ароматико-алифатических сополибензимидазолов (соПБИ). Выявлено, что  $R_f$  всех соПБИ составляет >99%, а  $R_r$  варьируется в пределах 47-97%. Наилучшие характеристики ЭПФ демонстрирует соПБИ на основе ДАБ, 4,4'-окси(бис-бензойной кислоты) и додекандикарбоновой кислоты, содержащий 25 мол. % ароматических сегментов. Второй подход к модификации свойств материалов с высокотемпературным ЭПФ заключается в получении полимер-полимерных смесей полностью ароматического ПБИ и гибкоцепного полизифиримида. Показано, что термодинамически совместимые смеси образуются при содержании ПБИ до 50 масс. %. Значения  $R_r$  и  $R_f$  зависят от соотношения компонентов и достигают наиболее высоких значений при содержании ПБИ 25 масс. %. Кроме того, как соПБИ, так и полимер-полимерные смеси обладают высокой термостойкостью и хорошими механическими характеристиками.

В рамках данной работы также разработаны новые фоточувствительные композиции на основе ПБИ, которые могут быть использованы для формирования объемных изделий с использованием технологии LCD 3D-печати. Показано, что полученные композиции пригодны для формирования термостойких, механически прочных трехмерных объектов заданной архитектоники. Более того, полученные материалы имеют превосходные характеристики ЭПФ:  $R_r$  и  $R_f$  достигают 99%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 22-73-10011.

## У-15 ГИБРИДНЫЕ МЕМБРАНЫ ДЛЯ ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ

Кравец Л.И.<sup>1</sup>, Виноградов И.И.<sup>1</sup>, Рессой А.<sup>1</sup>, Горберг Б.Л.<sup>2</sup>,  
Нечаев А.Н.<sup>1,3</sup>, Апель П.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флерова, 141980 Россия, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6*

<sup>2</sup>*Ивановский государственный химико-технологический университет, 153000 Россия, г. Иваново, Шереметевский пр., д. 7*

<sup>3</sup>*Государственный университет "Дубна", 141980 Россия, г. Дубна, ул. Университетская, д. 19  
kravets@jinr.ru*

Разработан метод формирования и исследованы свойства гибридных мембран, состоящих из гидрофильной микропористой подложки и осажденного методом электроформования гидрофобного нановолоконного слоя полимера. В качестве гидрофильной микропористой подложки использовали трековые мембранны (ТМ) из полиэтилентерефталата (ПЭТФ) с различной пористостью, на поверхность которых для обеспечения адгезии нановолоконного покрытия методом магнетронного напыления наносили тонкий слой титана. Данный слой одновременно являлся электродом осадительного коллектора в процессе электроформования нановолоконного покрытия. Применение данного метода формирования полимерных покрытий при использовании в качестве исходного материала поливинилиденфторида (ПВДФ) позволяет получать слой, обладающий высокогидрофобными свойствами, угол смачивания поверхности которого в зависимости от плотности осаждения в среднем составляет  $142.2 \pm 1.3^\circ$ . Исследование морфологии покрытия методом электронной микроскопии показало, что осажденный слой состоит из нановолокон, расположенных случайным образом, то есть имеет микроструктуру, типичную для нетканых материалов. Нановолокна, образующие пористую систему этого слоя, имеют широкий разброс размеров по диаметру. Функционализация гидрофильных микропористых ПЭТФ ТМ путем нанесения нановолоконного покрытия из ПВДФ на их поверхность приводит к созданию мембран, обладающих высокой селективностью разделения водного раствора хлорида натрия в процессе мембранный дистилляции. Коэффициент солезадержания для мембран с плотностью нановолоконного покрытия от  $20.7 \pm 0.2$  до  $27.6 \pm 0.2$  г/м<sup>2</sup> в исследованном режиме процесса мембранный дистилляции составляет 99.97 – 99.99%. Сочетание в структуре гибридных мембран тонкого высокогидрофобного слоя из ПВДФ, имеющего развитую пористую структуру, с гидрофильной микропористой основой позволяет повысить производительность процесса мембранный дистилляции за счет снижения сопротивления массопереносу.

Вопрос получения высокоэффективных гибридных мембран разработанного образца с целью их применения для обессоливания воды заключается не только в установлении достаточной и необходимой плотности нановолоконного слоя из ПВДФ, но и в правильном выборе пористости исходной трековой мембранны. Повышение пористости ТМ приводит к росту производительности мембран в процессе мембранный дистилляции. Это означает, что для формирования высокоэффективных гибридных мембран для обессоливания воды методом мембранный дистилляции с высокими значениями производительности и коэффициента солезадержания, следует выбирать оптимальные значения плотности осажденного нановолоконного покрытия и пористости исходной трековой мембранны.

## У-16 АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ: УСПЕШНЫЕ КЕЙСЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Крайнов А.А., Булашов К.И.

*<sup>1</sup>ПАО «Казаньоргсинтез», Казань, Россия  
420051, г. Казань, ул. Беломорская, 101  
[kos@kos.sibur.ru](mailto:kos@kos.sibur.ru)*

Актуальность развития импортозамещения в России обусловлена необходимостью обеспечения продовольственной, экономической, технологической безопасности страны.

Замена традиционного термопластичного полиуретана (ТПУ) на компаундный материал на основе полиэтилена низкой плотности (LDPE) и этиленвинилацетата (EVA) позволила достичь значительных преимуществ в производстве. Данное решение обеспечило снижение себестоимости готовой продукции за счет использования более доступных сырьевых компонентов и упрощения технологического процесса. Кроме того, переход на LDPE/EVA повысил экологичность изделий благодаря снижению углеродного следа при производстве и возможности вторичной переработки материала, что соответствует глобальным трендам устойчивого развития. Важным результатом стала также повышенная гибкость в переработке: компаунд демонстрирует улучшенные реологические свойства, совместимость с различными методами формования и устойчивость к деградации, что расширяет его применение в таких отраслях, как упаковка, строительство и потребительские товары. Этот кейс подчеркивает потенциал компаундных полимерных систем для оптимизации экономических, экологических и технологических параметров современных производств

Разработка отечественного аналога иономера SURLYNTM 8940 для ударно-волновых трубок неэлектрических систем инициирования зарядов стала критически важной задачей в условиях ограничения импорта. Проект направлен на создание смесевой полимерной композиции, сочетающей высокую прочность, прозрачность и адгезию, с использованием доступных материалов, преимущественно от компании СИБУР. В рамках работы были выделены ключевые свойства, на основе которых осуществлялся подбор компонентов, испытания лабораторных и опытно-промышленных образцов, а также оптимизация рецептур на основе обратной связи от ключевых производителей. Успешные предварительные результаты омоложения подтвердили жизнеспособность подхода, что позволило перейти к масштабированию производства и повторному тестированию. Реализация проекта не только решает проблему импортозамещения, но и укрепляет технологический суверенитет РФ в области специализированных полимерных материалов

## У-17 ФОСФОРНЫЕ ЭФИРЫ ДЛЯ СИНТЕЗА РАЗЛИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Загидуллин А.А.<sup>1</sup>, Стрелков И.А.<sup>1</sup>, Амиров Р.Р.<sup>2</sup>, Амирова Л.М.<sup>2</sup>, Миленин С.А.<sup>3</sup>, Музафаров А.М.<sup>3</sup>

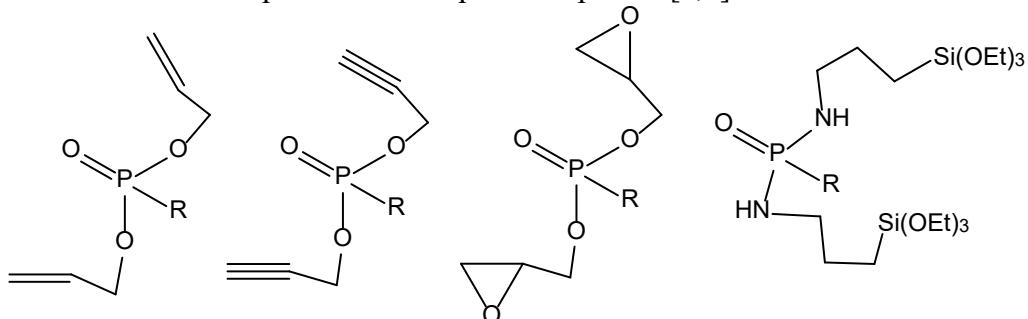
<sup>1</sup>Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ, Казань, Россия.

<sup>2</sup>Химический институт им. А.М. Бутлерова, Казанский федеральный университет, Казань, Россия

<sup>3</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва, Россия  
[almaz\\_zagidullin@mail.ru](mailto:almaz_zagidullin@mail.ru)

Новые виды полимерных материалов привлекают большой интерес исследователей и практиков. Использование элементоорганических соединений (фосфор- и кремнийорганических) является одним из перспективных путей расширения круга олигомеров, отвердителей и модификаторов, применяемых для получения различных функциональных полимеров с необходимыми свойствами. В этой связи большой интерес вызывают различные эфиры фосфора (V), которые можно использовать для получения собственных полимеров, а также для модификации свойств известных полимеров. Использование соединений фосфора, способных химически сшиваться с полимерными цепями, предотвращает потери добавки вследствие "выпотевания" ее на поверхность. Кроме того, в этом случае сохраняется заданное распределение модифицирующей добавки, что приводит к более стабильным во времени физико-механическим и теплофизическим характеристикам полимерных материалов и изделий.

В рамках данной работы были синтезированы и охарактеризованы различные (алкильные, арильные, глицидиловые, аллильные, пропаргиловые, акрилатные, аминопропилтриэтиоксисилильные) эфиры фосфора (V) для синтеза негорючих, люминесцентных полимерных материалов. К примеру, на основе эпоксидиановых полимеров, отверженных аминами и модифицированных фосфорсодержащими эпоксидами созданы негорючие полимеры и покрытия [1,2].



### ЛИТЕРАТУРА

1. Gaifutdinov, A. M., Andrianova, K. A., Amirova, L. M., Milyukov, V. A., Zagidullin, A. A., Amirov, R. R. *Results in Engineering*, **2022**, 14, 100421.
2. Gaifutdinov, A. M., Andrianova, K. A., Amirova, L. M., Milyukov, V. A., Zagidullin, A. A., Amirov, R. R. *Materials Today Communications*, **2024**, 40, 109340.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН.

## У-18 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ СТРУКТУР, КАЛИКСАРЕНОВ В СОЧЕТАНИИ С НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ

Брусницын Д.В., Рамазанова А.Н., Медянцева Э.П., Баишева Д.В., Смирнова А.А., Зиганшин М.А., Бурилов В.А., Хамидуллин Т.Л., Макаров Е.Г.

Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
Химический институт им. А.М. Бутлерова, Казань, Россия,  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18.  
brussman@mail.ru

Большой интерес вызывают гибридные материалы в силу их широкого применения благодаря комплексу заданных практически полезных качеств, в частности электропроводности, наличия множества активных сайтов связывания, синергетический эффект и возможности управления свойствами структур в процессе их функционализации [1-4].

В рамках работы нами исследованы электрохимические особенности поведения функциональных гибридных материалов на основе сочетаний углеродных композитов (бумага из углеродных нанотрубок, углеродные нанотрубки, восстановленный оксид графена), каликс[4]аренов и их производных (каликс[4]аренов, тиакаликс[4]аренов, аминотиакаликс[4]аренов), наночастиц никеля (НЧNi) и золота (НЧAu) в режиме вольтамперометрии.

Наночастицы металлов (НЧNi, Au) были получены осаждением из растворов в режиме циклической вольтамперометрии путем многократного сканирования потенциала в буферных растворах.

Гибридные материалы исследованы атомно-силовой микроскопией, что позволило определить размер частиц, шероховатость и их распределение на поверхности электрода. Нанесение гибридных материалов на электрод приводит к значительному изменению параметров шероховатости. По данным микроскопии размер НЧNi составляет 80 нм, а для НЧAu – 60 нм. Нанесение НЧNi и НЧAu в сочетании с каликс[4]аренами и их производными приводит к более равномерному распределению наночастиц на поверхности электрода.

Установлено, что гибридные материалы сильно влияют на токи пика НЧNi и НЧAu по данным вольтамперометрии, то есть приводят к сдвигам потенциалов наночастиц металлов и в некоторых случаях увеличению тока пика наночастиц металлов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Choudhary F., Mudgal P., Parvez A., Sharma P., Farooqi H. *Nano-Structures & Nano-Objects*, **2024**, 38, 10118.
2. Liu Y., Liu H., Guo S., Zhao Y., Qi J., Zhang R., Ren J., Cheng H., Zong M., Wu X., Li B. *Carbohydrate Polymers*, **2024**, 323, 121445.
3. Fu Y., Liu T., Wang H., Wang Z., Hou L., Jiang J., Xu T. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, **2024**, 9, 100694.
4. Ahmed M.A, Zhernakov M.A, Gilyazetdinov E.M, Bukharov, M.S., Islamov, D.R., Usachev, K.S., Klimovitskii, A.E., Serov, N.Y., Burilov, V.A., Shtyrlin, V.G. *Inorganics*, **2023**, 11, 1-13.

## У-19 ЭЛЕКТРОДЫ С ПОЛИМЕРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ ДЛЯ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛАВОНОИДОВ

Зиятдинова Г.К.

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18  
Ziyatdinovag@mail.ru*

Создание электродов с полимерными покрытиями различного типа является одним из перспективных направлений развития в области модифицированных электродов. Большое разнообразие мономеров и возможности их сочетаний с другими модификаторами позволяют конструировать электроды, обеспечивающие высокочувствительный и селективный отклик на различные по природе органические соединения, что расширяет возможности практического применения электроанализа. Электрохимическая полимеризация позволяет контролировать толщину и варьировать свойства образующегося *in situ* покрытия. Такой подход исключает применения вспомогательных реагентов, в том числе и токсичных органических растворителей, является достаточно простым в реализации процесса электрополимеризации в сочетании с высокой воспроизводимостью характеристик получаемого полимера.

В качестве мономеров, подвергающихся электрополимеризации, представляют интерес фенольные соединения различной природы, формирующие электрохимически неактивные покрытия. Кроме того, такие полимеры обладают достаточной низкой проводимостью, поэтому в качестве платформы для их иммобилизации применяют проводящие материалы, в частности, углеродные наноматериалы, обладающие высокой проводимостью и пористой структурой.

Разработаны электроды с полимерными покрытиями для вольтамперометрического определения флавоноидов (кверцетина, рутина, нарингина, гесперидина), в том числе при совместном присутствии. Для этого использовали послойную модификацию стеклоуглеродного электрода многостенными углеродными нанотрубками или функционализированными полиаминобензолсульфоновой кислотой одностенными углеродными нанотрубками и электрополимеризованными фенольными кислотами (галловая, эллаговая или феруловая) или трифенилметановыми красителями, содержащими фенольные фрагменты (тимолфталеин и алюминон). Электрополимеризацию проводили в потенциодинамическом режиме, условия которой были предварительно оптимизированы по вольтамперометрическому отклику целевых анализаторов. На циклических вольтамперограммах мономеров присутствуют выраженные пики окисления, токи которых уменьшаются с ростом числа циклов сканирования потенциала, что свидетельствует о формировании непроводящего полимера. Данные сканирующей электронной микроскопии подтверждают успешную модификацию электродной поверхности.

Достигнутые в условиях дифференциально-импульсной вольтамперометрии аналитические характеристики рассматриваемых флавоноидов сопоставимы или улучшены по сравнению с описанными ранее для других модифицированных электродов, а в ряде случаев превосходят все существующие аналоги. Значимым преимуществом разработанных электродов является селективность их отклика на флавоноиды в присутствии структурно родственных соединений. Это позволяет расширить область практического применения предложенных электродов, что было подтверждено на реальных объектах (лекарственном растительном сырье и продуктах питания).

## У-20 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИ СТОЙКОГО УДАРОПРОЧНОГО ПОЛИСТИРОЛА

Зайнуллина Л.Р.<sup>1</sup>, Камалиев И.Ф.<sup>1</sup>, Ткачева Е.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>СИБУР, ПАО «Нижнекамскнефтехим»,  
423570, Россия, г. Нижнекамск, ул. Соболековская, д. 23.  
ZainullinaLiR@nknh.sibur.ru, KamalievIF@nknh.sibur.ru,  
TkachevaEN@nknh.sibur.ru

Полимерная промышленность является одной из самых динамично развивающихся отраслей в России и за рубежом. Полимерные материалы довольно широко используются в различных областях техники и технологии, в связи с чем, к ним предъявляются высокие эксплуатационные требования. Получаемые в промышленности крупнотоннажные полимеры обладают уникальными физико-механическими свойствами, но, как показывает практика, они оказываются не всегда достаточными для обеспечения требуемой «функциональности» [1]. Достижение заданных эксплуатационных характеристик целевого полимера, чаще всего, достигается путем модификации, которая заключается в направленном изменении свойств материала.

Разработка новых материалов с улучшенными характеристиками стала важной задачей для компании ПАО «СИБУР Холдинг». Одним из таких материалов является химически стойкий ударопрочный полистирол (УППС), который обладает высокой стойкостью к воздействию агрессивных веществ и делает его незаменимым в производстве холодильных камер [2]. Развитие производства бытовой техники, использование в качестве изоляции в ней полиуретана (ППУ), пенопластов, вспенивание которых производится циклопентаном непосредственно при сборке, способствовало появлению химически стойких марок ударопрочного полистирола (УППС). Пространство между внешней металлической и внутренним пластиковым коробом холодильника заполняется теплоизолирующим элементом, который чаще всего вспенивается циклопентаном. При недостаточной стойкости полистирола к циклопентану, внутренняя часть холодильного короба размягчается и деформируется.

В центре прикладных разработок полимерных материалов Стирольные пластики ПолиЛаб Нижнекамск была разработана технология получения химически стойкого ударопрочного полистирола и в 2024 г. успешно внедрена на производство. В настоящее время ПАО «Нижнекамскнефтехим» является единственным в России предприятием выпускающий ударопрочный полистирол стойкий к растрескиванию под воздействием окружающей среды с использованием собственной сырьевой базы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.Н. Каҳраманлы. *Несовместимые полимерные смеси и композиционные материалы на их основе.* - Баку-«ЭЛМ», 2013. -152 с.
2. Егорова, Е.И. *Основы технологии полистирольных пластиков* / Егорова Е.И., Коптенармусов В.Б. – СПб.: Химиздат, 2005. – 300 с.

## У-21 ОЦЕНКА КОМПОЗИЦИОННОЙ ОДНОРОДНОСТИ СОПОЛИМЕРОВ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Соколов Ю.П., Ловчиков В.А., Кулаченков С.А., Емельянов Г.А., Чернявский Г.Г.

*Федеральное Государственное бюджетное учреждение «Ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт синтетического каучука имени академика С. В. Лебедева» (ФГБУ «НИИСК»)*

Данные о составе и усредненной микроструктуре сополимеров могут быть достаточно легко получены в результате анализа ЯМР спектров высокого разрешения. Следующий шаг – получение информации о механизме полимеризации (применимость Марковской модели, расчет матрицы переходных вероятностей и т.д.) – требует соблюдения определенных условий, в противном случае попытка решения системы нелинейных уравнений, связывающих переходные вероятности с долями соответствующих последовательностей в спектре ЯМР, приводит к некорректным результатам [1,2]. Соответственно, использование стандартных методов расчета, не всегда позволяет перейти к следующему шагу – оценке отклонения усредненной микроструктуры реального сополимера от микроструктуры сополимера, полученного в идеальных условиях, то есть оценке композиционной однородности сополимера [3].

Предлагаемый метод оценки композиционной однородности, не предъявляющий столь жестких требований к качеству ЯМР спектров, применим к сополимерам, процесс получения которых может быть описан с помощью теории цепей Маркова. Метод включает в себя три этапа:

1. Съемка ЯМР спектра высокого разрешения с соблюдением следующих условий: область интегрирования включает все сигналы цепи, каждому сигналу должна быть сопоставлена определенная последовательность звеньев или группа последовательностей (для плохо разрешенных сигналов). Получение набора относительных долей последовательностей звеньев (набор А).

2. Нахождение «усредненной» матрицы Марковских переходных вероятностей, дающей при расчете набор относительных долей последовательностей звеньев (набор Б) максимально близкий к набору А, полученному из изучаемого ЯМР спектра.

3. Расчет количественного критерия композиционной однородности сополимера на основании сравнения наборов А и Б.

Метод проверен на ряде лабораторных и промышленных образцов двойных сополимеров. Для оценки композиционной однородности двойных сополимеров, где оба сомономера имеют несимметричную структуру, в алгоритм может быть включена дополнительная стадия – расчет укрупненной Марковской модели с целью существенного снижения времени расчета.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Cheng H.N. Markovian Statistics and Simplex Algorithm for Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance Spectra of Ethylene-Propylene Copolymers // Anal.Chem., 54, 11, 1982, 1828-1833.
2. В.М. Родин, С.А. Кулаченков, Г.А. Емельянов, В.А. Ловчиков. Способ укрупнения марковской модели сополимеризации симметричного и несимметричного мономеров // Известия СПбГТИ(ТУ) 2018. № 45(71). С. 53–55.
3. В.А. Мягченков, С.А. Френкель. Композиционная неоднородность сополимеров // Изд. «Химия», 1988, 248 С.

## У-22 РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИКАРБОНАТА

А.Р. Фазылзянов, Г.Ф. Мингалиева, З.З. Файзулина, Бурдина М.Л,

*ПАО «Казаньоргсинтез», Казань, Россия  
420051, г. Казань, ул. Беломорская, 101  
[kos@kos.sibur.ru](mailto:kos@kos.sibur.ru)*

Одним из перспективных направлений развития в сфере полимерных материалов является разработка специальных марок композиционных материалов на основе поликарбоната.

На мировом рынке полимерных медицинских изделий существует тенденция к переходу от стерилизации этилен оксидом на радиационную стерилизацию в связи с возникновением у пациентов аллергической реакции. В связи с этим, актуальным направлением считается разработка медицинской марки поликарбоната, устойчивой к радиационной стерилизации. Исследована и разработана композиция поликарбоната, позиционирующаяся как стойкая к электронно-лучевой стерилизации и применяемая в отрасли Медицина. Получена композиция поликарбоната, которая после радиационной стерилизации 30 и 50 кГр сохраняет физико-механические и прочностные характеристики на уровне образцов до стерилизации. Разработанная марка показала себя технологичной при изготовлении деталей корпусов диализаторов.

Не менее важная задача, разработка трудногорючих полимерных материалов, не поддерживающих самостоятельного горения, с трудом воспламеняющихся и не образующих капель горящего полимера. Особенно важны такие материалы для строительства, авто- и приборостроения, рекламной индустрии, по причине роста тенденции на ужесточение требований пожарной безопасности. Исследована и разработана композиция с использованием поликарбоната в смеси с антипиренами разного типа действия, проведена оценка равномерного распределения добавок при введении в полимерную матрицу. Предложена комбинация антипиренов разного состава, обладающие синергическим эффектом, подтверждена эффективность галогенированных составов. Разработанные композиции обладают высокими физико-механическими и прочностными показателями, имеют высокие оптические показатели «коэффициент светопропускание» и «мутность». Результатами разработки являются смесевые композиции прозрачного трудногорючего поликарбоната с категорией воспламеняемости по международному стандарту UL94 V-0 на толщине 2 мм.

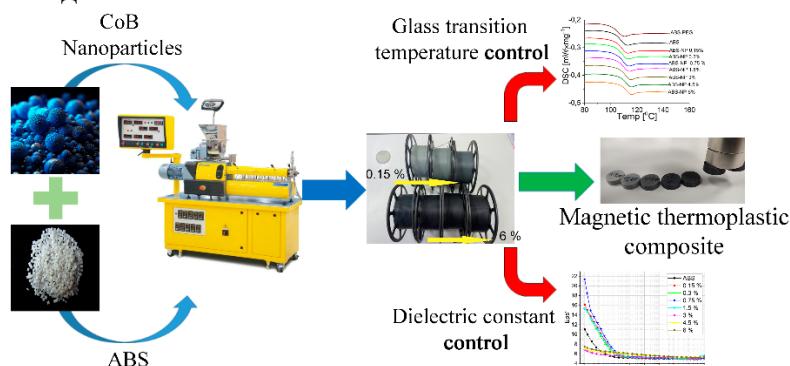
## У-23 УПРАВЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ, МЕХАНИЧЕСКИМИ И ТЕРМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ АБС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОЧАСТИЦ СОВ

Артур Ханнанов<sup>1</sup>, Анастасия Бурматова<sup>1</sup>, Динар Балкаев<sup>1</sup>, Анастасия Россова<sup>1</sup>, Константин Зимин<sup>1</sup>, Айрат Киямов<sup>2</sup>, Михаил Черосов<sup>2</sup>, Иван Лунев<sup>2</sup>, Марианна Кутырева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Химический институт им. А.М. Бутлерова, Казанский Федеральный Университет, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18

<sup>2</sup> Физический институт, Казанский Федеральный Университет, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18

Современные требования к полимерным композитам включают сочетание функциональных свойств (магнитных, механических, термических) с возможностью вторичной переработки. Однако традиционные магнитные наполнители на основе оксидов железа обладают гидрофильностью, что ограничивает их совместимость с гидрофобными полимерами, такими как ABS. В данной работе предложен новый подход к синтезу магнитных наночастиц борида кобальта (СоВ) с повышенной термической стабильностью и их внедрению в промышленный термопласт ABS. Цель исследования — создание композитов с регулируемыми свойствами для применения в электротехнике и аддитивном производстве.



Наночастицы СоВ синтезированы методом химического восстановления в расплаве PEG-4000 без растворителей. Полученные частицы (средний размер  $24\pm3$  нм, ядро-оболочка СоВ/Со<sub>3</sub>О<sub>4</sub>) охарактеризованы методами TEM, XRD, FT-IR и NTA. Композиты ABS с содержанием СоВ от 0,15% до 6% изготовлены методом соэкструзии. Образцы получены литьём под давлением и 3D-печатью. Исследованы термические (DSC, TG-DTG), механические (DMA, MFI), магнитные (PPMS-9) и диэлектрические (анализатор Novocontrol BDS) свойства.

Разработан экологичный метод синтеза наночастиц СоВ, обеспечивающий их равномерное распределение в матрице ABS. Композиты демонстрируют регулируемую температуру стеклования (107,5–112°C), повышенную термоокислительную стабильность (+30°C) и суперпарамагнитное поведение с линейной зависимостью магнитной восприимчивости от концентрации СоВ. Сохранение диэлектрических свойств и возможность 3D-печати делают материалы перспективными для создания электротехнических устройств и магнитоуправляемых систем. Результаты подтверждают эффективность подхода для модификации промышленных термопластов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ 22-73-10036 (<https://rscf.ru/project/22-73-10036/>).

## У-24 НОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ И ИНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С УЛУЧШЕННЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИУРЕТАНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Безруков Н.П.<sup>1</sup>, Яковлев Ю.Ю.<sup>1</sup>, Яворский Ю.И.<sup>2</sup>, Короткова Н.П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Институт нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиеva РАН, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, 29  
bezrukov@ips.ac.ru*

<sup>2</sup>*РГУ им. А.Н. Косыгина, Москва, Россия  
119071, Россия, г. Москва, ул. Малая Калужская, д. 1*

<sup>3</sup>*ООО “НПП “Макромер”, г. Владимир, Россия  
600016, Россия, г. Владимир, ул. Большая Нижегородская, д. 77*

Эпоксидные смолы (ЭС) – один из наиболее широко используемых классов реакционноспособных олигомеров. Материалы и изделия на их основе обладают высокими прочностными характеристиками и жесткостью, но они оказываются недостаточно гибкими и имеют невысокую устойчивость к ударным и знакопеременными нагрузкам. Для устранения указанных недостатков использована химическая модификация полимерной цепи гибкоцепными уретановыми фрагментами, что позволяет совместить положительные качества эпоксидных и уретановых матриц. В настоящее время перспективным представляется неизоцианатный способ получения эпоксиуретанов (ЭУ), заключающий в совместном отверждении эпоксидных и эфирциклокарбонатных (ЭЦК) олигомеров аминными отвердителями. Отличительной особенностью данного исследования является использование в композициях различных комбинаций моно-, ди- и трифункциональных ЭЦК, позволяющих получать изделия и материалы, обладающих широким диапазоном эластичности: от резиноподобной (лаки, клеи, герметики и т.д.) до жестко-упругой (угле- и стеклопластики).

Модифицирование эпоксидиановых смол осуществляли с помощью моно-, ди- и трифункциональных ЭЦК (НПП «Макромер»). В композициях использовали как стандартные аминные отвердители, так и разработанные опытные системы. ЭУ композиции получали смешением указанных ЭС и ЭЦК, в полученные смеси добавляли стехиометрические количества аминов. На основе полученных композиций изготавливали эмали, клеи, герметики, угле- и стеклопластики.

В качестве объектов сравнения клеев были использованы клей 88-НТ (АО «Петрохим»), полиуретановый эластичный клей («Анлес»); для гибких пластиков (аналогов гибких печатных плат) – пленки из полиэтилентерефталата и полиимида; для угле- и стеклопластиков конструкционного назначения – связующие от ООО «ИТЕКМА», АО «ЭНПЦ Эпител»; для эмали – эмаль ЭП-140 (ООО «СпецЭмаль»). В результате выполнения работы было установлено, что при определенных соотношениях три-, ди- и монофункциональных ЭЦК в составе композиций удается достигнуть значительного, а для ряда субстратов - кратного увеличения адгезионной прочности склеек по отношению к образцам сравнения. При использовании ЭУ композиций в качестве связующего для гибких композитов и композитов конструкционного назначения также удалось получить лучшие результаты в сравнении с ПЭТФ и полиимидными пленками, а также коммерческими эпоксидсодержащими угле- и стеклопластиками. Полученные ЭУ эмали при сопоставимых с эпоксидными эмелями эксплуатационных характеристиках обладают значительно лучшей устойчивостью к воздействию растворов солей, щелочей, окислителей и растворителей, чем указанный объект сравнения.

## У-25 ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ ИОНОМЕРЫ НА ОСНОВЕ ФОСФОРОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛИОЛОВ

Сазонов О.О.<sup>1</sup>, Давлетбаева И.М.<sup>1</sup>, Низамов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань,  
420015, Россия, г. Казань, ул. К.Маркса, 68*

<sup>2</sup>*Казанский государственный энергетический университет, Казань,  
420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51  
SazonovOO@corp.knrtu.ru*

В настоящее время существует проблема обезвоживания водно-спиртовых растворов, которые содержат воду в низкой концентрации. Эффективным способом обезвоживания водно-спиртовых азеотропов является первапорационное разделение, которое может быть единственной стадией или сочетаться с дистилляцией. Для разделения водно-спиртовых растворов в качестве селективного слоя первапорационных мембран используются полимеры гидрофильной природы. Один из наиболее развивающихся подходов здесь связан с синтезом иономеров, представляющих собой полимерные материалы, имеющие небольшое количество ионных групп. Практический и научный интерес в этом направлении представляют полиуретановые иономеры (ПУИ). Полиуретановые иономеры могут быть синтезированы различными способами, в том числе путём использования ионогенных диолов или пост-ионизации полиуретанов. Перспективными полиольными компонентами для получения полиуретановых иономеров являются эфиры *ортого*-фосфорной кислоты.

В данной работе путём этерификации *ортого*-фосфорной кислоты полипропиленоксидом (ППГ) и триэтаноламином получены фосфорорганические полиолы (АЭФК-ППГ) в качестве разветвлённого ионогенного полиольного компонента для синтеза полиуретановых иономеров. Установлено, что при использовании в качестве катализатора триэтаноламина протекает неполная этерификация ОФК, в результате которой в составе фосфорорганических полиолов остаются ионогенные фосфат-анионы. Показано, что диффузия молекул воды возрастает с увеличением содержания фосфат-ионов в составе полиуретанов на основе фосфорорганических полиолов, синтезированных с использованием полиоксипропиленгликоля и обусловлена их кластеризацией.

Путём замены ППГ на полизиленоксид (ПЭГ) синтезированы соответствующие фосфорорганические полиолы – АЭФК-ПЭГ, так же послужившие основой для синтеза полиуретановых иономеров. Благодаря гидрофильности полиоксизиленгликоля, присутствию в составе полиуретанов на основе синтезированных с его использованием аминоэфиров *ортого*-фосфорной кислоты фосфат-ионов и их ассоциативному связыванию с непрореагировавшей *ортого*-фосфорной кислотой, усиливается диффузия молекул воды в таких полиуретанах и достигаются значительно более высокие значения паропроницаемости и индекса первапорационного разделения в сравнении с ПУИ, полученными с использованием АЭФК-ППГ. Полиуретановые мембранны проявляют высокую производительность, возрастающую с повышением содержания ионогенных групп в их составе.

Работа выполнена за счет предоставленного в 2024 году Академией наук Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и прикладных научных работ в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан».

## У-26 ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СМОЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИБЕНЗИМИДАЗОЛА: ОСОБЕННОСТИ 4D-ПЕЧАТИ, СВОЙСТВА И СТРУКТУРА ИЗДЕЛИЙ

Бардакова К.Н.<sup>1</sup>, Тимашев П.С.<sup>1</sup>, Бурдуковский В.Ф.<sup>2</sup>, Холхоев Б.Ч.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт регенеративной медицины Первого московского государственного медицинского университета им. И.М.Сеченова, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8*

<sup>2</sup>*Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия  
670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6  
arie5@yandex.ru*

4D-печать – это технология аддитивного производства, позволяющая получать трехмерные изделия, которые могут изменять свою форму в ответ на внешние стимулы (температура, свет, пр.), что делает её актуальной для областей, где требуются функциональные материалы с подобными адаптивными свойствами: медицина, робототехника и т.д. Для использования 4D-печати в такой стратегически важной области как аэрокосмическая промышленность требуется разработка широкой номенклатуры фоточувствительных смол и формирование на их основе трехмерных изделий, способных выдерживать высокие дозы радиации и обладающие термической и механической стабильностью.

Доклад сфокусирован на прикладных аспектах 4D-печати смол, в состав которых введен представитель класса полибензимидаолов – поли-2,2'-(*p*-оксидифенилен)-5,5'-дibenзимидаол (ОПБИ), отвечающий за термическую и механическую стабильность готовых изделий; в качестве фоточувствительного мономера использован N,N-диметилакриламид. Исследованы три смолы, различающиеся природой сшивающих агентов: би- и трифункциональные кросслинкеры с концевыми акриламидными [1] и акрилатными группами.

Установлены оптимальные параметры LCD 4D-печати изделий с толщинами слоя печати 50–200 мкм. Изменения компонентов в составе смол позволили регулировать в широких пределах эксплуатационные свойства готовых изделий: прочность на разрыв находилась в пределах 101–144 МПа; температуры стеклования 130–185 °С; термостойкость достигала 408 °С. Помимо этого для изделий с сшивающим агентом трис[2-(акрилоилокси)этил]изоциануратом продемонстрирована устойчивость к воздействию ионизирующего излучения (гамма-кванты кобальта-60; дозы до 10<sup>6</sup> Гр).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Bardakova K.N., Kholkhoev B.C., Farion I.A., Epifanov E.O., Korkunova O.S., Efremov Y.M., Minaev N.V., Solovieva A.B., Timashev P.S., Burdukovskii V.F. *Advanced Materials Technologies*, 2022, 7, 2100790.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 22-73-10011.

## У-27 МАЛОСЛОЙНЫЙ ГРАФЕН СИНТЕЗИРОВАННЫЙ В УСЛОВИЯХ СВС И ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Возняковский А.А.<sup>1</sup>, Возняковский А.П.<sup>2</sup>, Кидалов С.В.<sup>1</sup> Подложнюк Н.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия  
153045, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26.*

<sup>2</sup>*ФГБУП “НИИСК” имени Лебедева, Санкт-Петербург, Россия  
119991, Россия, г. Москва ул. Ленинские Горы, д. 1  
alexey\_inform@mail.ru*

Углеродные наноматериалы, в частности, графеновые наноструктуры (ГНС), уже давно используются исследователями для создания полимерных композитов (ПК). Теоретические расчеты показывают, что за счет рекордных характеристик ГНС (например, модуль Юнга однослоистого графена составляет до 1 ТПа), использование даже небольших объемов ГНС (до нескольких % ГНС по объему) должно приводить к получению ПК с рекордными характеристиками. В ходе исследований было показано, что хоть ГНС и позволяет получать значительный рост свойств конечных ПК, превосходящий эффективность классических наполнителей, из-за различных факторов (дефектность, агрегированность частиц и т.д.) рост свойств ПК значительно ниже теоретических ожиданий.

Однако, не смотря на перспективность ГНС они до сих пор не применяются на практике из-за несовершенства методик их синтеза, которые не позволяют синтезировать большие объемы материала высокого качества с приемлемой себестоимостью.

В данной работе представлены результаты применения малослойного графена (МГ, не более 5 слоев) синтезированного в условиях СВС из биополимеров циклического строения в т.ч. из различных отходов (лигнин, кора деревьев, борщевик Сосновского, рисовая шелуха) [1] при создании ПК на основе различных матриц.

Метод синтеза является легко масштабируемым (на уровне лаборатории до 10 кг/мес.) и позволяет получать материал с низкой дефектностью (без дефектов Стоуна-Уэйлса) [2].

В ходе сравнительных испытаний синтезируемого МГ как с классическими наполнителями, так и другими углеродными наноматериалами, было установлено, что МГ демонстрирует более высокую эффективность при создании ПК на основе эпоксидной смолы, коммерческих фотополимерных смол, бутадиен-нитрильного каучука, технических резин и т.д.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Voznyakovskii A. P., Vozniakovskii A. A., Kidalov S. V. *Nanomaterials*, **2022**, 12(4), 657.
2. Voznyakovskii A. P., Neverovskaya A. A., Vozniakovskii A. A., Kidalov S. V. *Nanomaterials*, **2022**, 12(5), 883

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-79-10254.

## У-28 ПОЛИМЕРНЫЕ И БИОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ НАНОСКАВЕНДЖЕРЫ ДЛЯ СВЯЗЫВАНИЯ И ГИДРОЛИЗА ЭФИРОВ КИСЛОТ ФОСФОРА

Паширова Т.Н.<sup>1,2</sup>, Татаринов Д.А.<sup>2</sup>, Шайхутдинова З.М.<sup>1,2</sup>, Габдурахманов К.Ф.<sup>1</sup>,  
Дудников С.А.<sup>1</sup>, Васильева О.С.<sup>1</sup>, Маланьева А.Г.<sup>1</sup>, Фетин П.А.<sup>3</sup>, Зорин И.М.<sup>3</sup>,  
Массон П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт фундаментальной медицины и биологии, 420008, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

<sup>2</sup>Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный центр РАН, Россия, 420088, г. Казань, ул. Академика Арбузова, д.8

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, Россия, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9  
tatyana\_pashirova@mail.ru

Разработка наноскавенджеров является инновационным решением для проблемы детоксикации фосфорорганических соединений (ФОС) и создания наноантидотов нового поколения. Быстрое и специфическое связывание скавенджеров с молекулами ФОС в кровотоке способствует их молниеносной инактивации, прежде чем токсиканты смогут достигнуть своих биологических мишней и тем самым обеспечению защиты от отравления [1-3]. Наноскавенджеры представляют собой стабильные биодоступные полимерные наночастицы (НЧ), которые могут содержать один или несколько ферментов/катализитических антител (биоскавенджеров). Эффективные наноскавенджеры должны обладать низкой утечкой ферментов из НЧ, проницаемой для субстратов/токсикантов мембраной, длительным временем пребывания в системном кровотоке и отсутствием иммунной активности. Реакция разложения токсикантов должна проходить во внутренней, строго ограниченной среде и объёме НЧ. В настоящей работе для разработки наноскавенджеров-антидотов были получены полимерсомы на основе амфифильных блоксополимеров полиэтиленгликоль-полисульфид и полиакриловая кислота-полистирол, содержащие ферменты (бутирилхолинэстераза человека и бактериальная мутантная фосфотриэстераза). Проводилось варьирование структуры блок-сополимеров, параметра гидрофильности, молекулярной массы. Для мониторинга проницаемости мембранны НЧ варьировалась природа субстратов (липофильность и заряд). Внутривенное профилактическое введение полученных наносистем обеспечивало защиту мышей отравленных ФОС (параоксон, подкожное введение) в дозах до 17ЛД<sub>50</sub> [4-5].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Masson P., Rochu D. *Acta Natura*. **2009**. 1, №1. P. 68-79.
2. Pang Z. et al., *ACS Nano*. **2015**, № 9, 6, 6450-6458.
3. Свентицкая А.М. и др. Российский биомедицинский журнал. **2020**, 21, 452-473.
4. Pashirova T. et al., *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2022**, 14, 19241.
5. Pashirova T. et al., *Int. J. Mol. Sci.*, **2023**, 24(21), 15756
6. Fetin P.A. et al., *Biomolecules*, **2024**, 14, 1555.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Академии наук РТ, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан».

## У-29 ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ АКТИВНЫХ РАЗБАВИТЕЛЕЙ И ОТВЕРДИТЕЛЕЙ НА ТОПОЛОГИЮ ХИМИЧЕСКИХ СЕТОК ЭПОКСИДНЫХ СИСТЕМ

Пономаренко А.Д., Валиуллин Т.А., Шапагин А.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук;  
119071, г. Москва, Ленинский проспект д. 31, корп.4.

Широкое использование эпоксидных компаундов в различных отраслях промышленности определяется разнообразием номенклатуры олигомеров, отверждающих агентов и возможностью модификации эпоксидных систем. В этой связи актуальным является вопрос исследования модификации эпоксидов активными разбавителями с одной и двумя эпоксигруппами на топологию эпоксидных сеток, отверженных двух- и трехфункциональными аминными отвердителями.

В качестве объектов исследования использовали: эпоксидный олигомер KER-828 (Kumho P&B Chemicals, Южная Корея); разбавители: АГЭ (Nanjing Chemical Material Corp., Китай), BGDDE LS-622 (Wuhan Biet Co., Ltd, Китай), ФГЭ (ООО «Дорос», Россия); отвердители: двухфункциональный амин Jeffamine D230 и трехфункциональный – T403 (Huntsman Performance Products, Китай).

Исследование температур стеклования проводили методом ДСК (Netzsch DSC 204F1 Phoenix) в интервале 25–200 °C (скорость нагрева 10 °C/мин, атмосфера N<sub>2</sub>). Вискозиметрические исследования – на ротационном вискозиметре HAAKE RheoStress 1 при 25°C (режим сдвига 100 s<sup>-1</sup>). Анализ макромолекулярной подвижности осуществляли посредством определения коэффициентов взаимодиффузии методом оптической интерферометрии (диффузиометр ОДА-2, ИФХЭ РАН). Влияние топологии пространственной сетки химических связей на эксплуатационные характеристики устанавливали физико-механическими испытаниями при растяжении на универсальной машине Zwick/Roell Z010 (стандарт ISO 527).

Помимо экспериментального изучения влияния топологии химической сетки на физико-химические свойства эпоксидных модифицированных систем проведено моделирование химического строения сеток методом инкрементов, предложенным Аскадским А.А. Для охарактеризовывания строения сеток рассчитывали ван-дер-ваальсов объем, модифицированных различными активными разбавителями и отверженных различными агентами, эпоксидных систем. По полученным данным рассчитаны температуры стеклования, значения которых верифицированы экспериментальными данными ДСК. Установлены концентрационные зависимости деформационно-прочностных свойств (предела прочности при растяжении, модуля упругости и относительного удлинения) от структуры пространственной сетки химических связей. Макромолекулярная подвижность в исходных системах исследована методами ротационной вискозиметрии и методом оптической интерферометрии. Полученные значения коэффициентов взаимодиффузии коррелируют с показателем вязкости систем, значения которого уверенно прогнозируются по методике Грюнберга–Ниссана.

Результаты работы демонстрируют перспективность применения комбинированных подходов (теоретическое моделирование + экспериментальная верификация) для проектирования эпоксидных композиций с заданной структурой химической сетки и, как следствие, необходимыми функциональными свойствами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

## У-30 РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ СУПЕРАБСОРБИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ ИХ ПЛАСТИФИКАЦИИ

Лавлинская М.С., Сорокин А.В.

*Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия  
394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1.  
maria.lavlinskaya@gmail.com*

Композиционные суперабсорбенты (КСАП) представляют собой сетчатые полимерные структуры, способные удерживать значительные количества жидкости и содержащие в своем составе синтетические – акрилатные – и биодеградируемые (чаще всего – полисахаридные) звенья. Такие материалы – перспективные кандидаты для решения проблем орошения, опустынивания и эрозии сельскохозяйственных угодий, так как антропогенная нагрузка на почвы в случае их использования ниже по сравнению синтетическими аналогами. Однако в химии КСАП существует проблема обратной зависимости водопоглощения от содержания полисахаридной фракции, т.е. чем более экологически безопасен материал, тем меньшее количество жидкости он способен поглотить. Последнее ограничивает широкое практическое применение КСАП в агротехнологиях. Перспективным решением обозначенной проблемы является использование пластификаторов, что приводит к снижению общей жесткости структуры и повышению доступности сорбционных центров макромолекул для взаимодействия с сорбатами различной природы. При этом подобный подход ранее не применялся с целью повышения влагоемкости композиционных суперабсорбентов.

Целью настоящей работы является исследование влияния пластифицирующих добавок – сложных эфиров янтарной и яблочных кислот со спиртами С<sub>4</sub> различного строения – на влагопоглощающую способность композиционных суперабсорбентов на основе натрий-карбоксиметилцеллюлозы или хитозана, акрилата калия и акриламида.

В ходе исследования показано, что строение молекулы пластификатора оказывает непосредственное влияние на влагопоглощающие свойства синтезированных КСАП, количественно характеризуемые равновесной степенью набухания  $Q_e$ . Использование эфиров янтарной кислоты приводит к повышению равновесной степени набухания до 65 %, причем усиление эффекта наблюдается в случае использования соединений, содержащих остатки разветвленных спиртов. В случае применения эфиров яблочной кислоты наблюдается снижение значений  $Q_e$ .

В результате исследования полученных образцов КСАП, осуществленного методами ИК-спектроскопии, ДСК и дифракции рентгеновских лучей, установлено, что пластификаторы на основе янтарной кислоты препятствуют образованию дополнительных водородных связей внутри сетки композиционного суперабсорбента, что повышает доступность сорбционных центров для молекул воды. В случае использования эфиров яблочной кислоты, отличающейся от янтарной наличием ОН-группы, происходит образование дополнительных поперечных сшивок, препятствующих взаимодействию сетки КСАП с водой.

Таким образом, показано, что пластификация – эффективный способ повышения водопоглощающей способности композиционных суперабсорбентов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-73-00251.

## У-31 ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ В ПРОЦЕССЕ ВЛИЯНИЯ АГРЕССИВНЫХ ФАКТОРОВ

Подзорова М.В.<sup>1</sup>, Тертышная Ю.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия  
115054, Россия, г. Москва, Стремянный переулок, д.36.*

<sup>2</sup>*Институт биохимической физики имени Н. М. Эмануэля Российской академии наук,  
Москва, Россия  
119334, Россия, г. Москва ул. Косыгина, д. 4  
mariapdz@mail.ru*

Полилактид (ПЛА), биоразлагаемый полиэфир, используется для различных применений (медицина, упаковка, текстильные волокна и технические изделия). Благодаря присущим ему свойствам ПЛА занимает ключевую позицию на рынке биополимеров, являясь одним из наиболее перспективных кандидатов для дальнейшего развития. К сожалению, ПЛА обладает некоторыми недостатками, которые ограничивают области его применения [1]. Одним из перспективных способов улучшить эксплуатационные свойства ПЛА является получение композитов на его основе [2, 3]. Говоря про смеси полимеров, стоит отметить, что они могут быть термодинамически несовместимы. Так, полимерные смеси на основе полилактида при добавлении полиэтилена низкой плотности или поли(ε-капролактона) относятся к таким. Несмотря на это, термодинамически несовместимые полимеры могут быть совместимы в аморфных областях с образованием межфазных слоев.

В качестве образцов использовались пленки на основе полилактида (4043D, Nature Works, США), с добавлением поликапролактона (Полиморфус, Китай) и полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) (марка 15803 – 020, Россия). Анализ проводился на смесях содержащих основную матрицу ПЛА с добавлением 10-30 мас.% как ПКЛ, так и ПЭНП. Исследование проводилось при влиянии УФ-излучения (254 и 365 нм), почвы (120 суток) и дистиллированной воды (120 суток).

Оценка подверженности материалов фотодеструкции показала, что наличие ПКЛ и ПЭНП немного сдерживает процесс фотолиза, что отражается на температуре плавления и степени кристалличности компонентов материала. В то же время ПЛА эффективно подвергается фотодеструкции (в основном по механизму Норриша II). При инкубации в почве лучше всего показали себя материалы с содержанием поликапролактона. Это связано с тем, что ПКЛ подвергается большему воздействию со стороны различных микроорганизмов, чем полилактид [4]. При этом все смеси подвергаются гидролизу за счет присутствия ПЛА.

Добавка ПЭНП улучшает механические характеристики, повышая эластичность, но снижает подверженность внешним факторам окружающей среды. При этом важно отметить, что наличие межфазных слоев способствует более активной деструкции, в сравнении с чистым полиэтиленом.

В целом происходит изменение структуры и свойств во всех материалах на основе полилактида, что свидетельствует о начальном этапе разрушения всех материалов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Zhao X., Cornish K., Vodovotz Y. *Environ. Sci. Technol.*, **2020**, 54, 4712–4732.
2. Murariu M., Dubois P. *Advanced Drug Delivery Reviews*, **2016**, 107, 17–46.
3. Vayshbeyn L.I., Mastalygina E.E., Olkhov A.A., Podzorova M.V. *Appl. Sci.* **2023**, 13, 5148.
4. Khan I., Dutta J.R., Ganesan R. *Int. J. Biol. Macromol.* **2017**, 95, 126–131.

## У-32 СИНТЕЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ СУПЕРАБСОРБИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Сорокин А.В., Лавлинская М.С.

*Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия  
394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1.  
andrew.v.sorokin@gmail.com*

Широкое распространение сельскохозяйственного растениеводства на территории Российской Федерации приводит к существенному накоплению различных отходов возделывания и переработки промышленно значимых культур. Наиболее распространенным способом их утилизации является сжигание, приводящее не только к образованию смогов и выбросу парниковых газов в атмосферу, но и к потери ценного сырья, имеющего высокий потенциал для использования в различных химических технологиях. Одним из таких типов растительных отходов является рисовая шелуха, содержащая в своем составе соединения кремния – перспективный источник прекурсоров для микроэлектроники, а также полисахариды и лигнин – компоненты для разработки и создания новых экологически безопасных материалов широкого спектра применения. В связи с этим, целью настоящей работы является синтез композиционных суперабсорбирующих материалов на основе продукта переработки рисовой шелухи и исследование их водопоглощающих свойств.

На первом этапе работы из рисовой шелухи путем последовательного кислотного и щелочного гидролиза выделялась полисахаридная составляющая. Методом ИК-спектроскопии показано, что полученный продукт представляет собой целлюлозу, содержащую не более 10 % лигнина – т.н. небеленая целлюлоза (НЦ). Далее для повышения водорасторимости НЦ подвергалась карбоксиметилированию (КМНЦ) и использовалась в синтезе композиционных суперабсорбентов, содержащих 10 или 20 % КМНЦ, а также акриловую кислоту и акриламид.

В ходе исследования водопоглощающих свойств полученных материалов установлено, что с увеличением доли КМНЦ в составе суперабсорбирующего материала величина равновесной степени  $Q_e$  уменьшается, при этом найденные значения статистически неотличимы от аналогичных, полученных для суперабсорбентов, синтезированных с использованием товарной карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), а также превосходят параметры коммерчески доступных суперабсорбентов.

Исследование механизма сорбции воды путем обработки кинетических профилей набухания математическими кинетическими моделями выявило, что процесс набухания различен для суперабсорбентов на основе КМНЦ и КМЦ. Это обусловлено снижением скорости диффузии молекул воды в фазе суперабсорбента, содержащего в своем составе жесткоцепной лигнин. При этом, движущая сила набухания одинакова для обоих типов исследуемых суперабсорбирующих материалов, а величины их равновесной степени набухания превышают 1000 г/г.

Таким образом, в результате осуществленного исследования показано, что на основе продуктов переработки рисовой шелухи могут быть получены композиционные суперабсорбирующие материалы, не уступающие по своим водопоглощающим свойствам коммерчески доступным аналогам и суперабсорбентам на основе товарной карбоксиметилцеллюлозы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-23-20008.

## У-33 СОВМЕСТИМОСТЬ ИСХОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ, КАК ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ФАКТОР СТРУКТУРЫ РЕАКЦИОННЫХ СМЕСЕЙ

Плюснина И.О., Шапагин А.В.

ИФХЭ РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;  
e-mail: Irinaplyusninar@yandex.ru

В основу современного развития полимерного материаловедения заложено создание новых материалов с заданными свойствами и эксплуатационными характеристиками. Одним из подходов к созданию материалов является модификация известных олигомеров, полимеров и их смесей как нерастворимыми наполнителями другой природы, так и растворимыми или частично растворимыми в них компонентами. В результате совместимость компонентов полимерных смесей вызывает большой интерес в науке о полимерах.

В термо-реактопластичных системах наблюдается фазовое разделение, поскольку совместимость компонентов смеси ухудшается в результате роста молекулярной массы эпоксида в процессе химической реакции отверждения. При этом фазовое разделение может происходить по спинодальному или нуклеационному механизму, и конечная структура материала может характеризоваться фазовой структурой типа матрица-дисперсия, взаимопроникающие фазы или инвертированная матрица-дисперсия. Понимание эволюции фазовых равновесий и диффузионных констант при отверждении, критически важно для регулирования конечной фазовой структуры материала, определяющей его эксплуатационные характеристики.

Наиболее информативным при описании данного процесса является построение фазовых диаграмм аморфного расслоения. При этом системы могут характеризоваться фазовой диаграммой с нижней критической температурой смешения или верхней критической температурой смешения.

В данной работе определено, что вид диаграммы не влияет на конечную фазовую структуру. Основное влияние на тип фазовой структуры оказывает взаимное расположение фигуративной точки системы и критической концентрации на температурно-концентрационном поле при пересечении бинодалью фазовой диаграммы изотермы отверждения. На размеры и состав структурных элементов влияние оказывает совместимость исходных компонентов до реакции отверждения, определяющая степень конверсии начала фазового распада.

Выводы сделаны на основании исследования двух модельных систем эпоксидный олигомер – поликапролактон, эпоксидный олигомер – полилактид. В качестве отвердителя был выбран 4,4'-диаминодифенилсульфон.

Методы исследования данных систем:

- Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) Netzsch DSC 204F1 Phoenix (NETZSCH-GERÄTEBAU GMBH, SELB, Германия);
- Рефрактометрия Abbe ATAGO NAR-2T (ATAGO CO., LTD., Токио, Япония);
- Оптическая интерферометрия (ОИ) на диффузиометре ОДА-2 (ИФХЭ РАН, Москва, Россия);
- Поляризационная оптическая микроскопия (ОМ) (Olympus BX 51, Токио, Япония) с терmostатируемым столиком микроскопа (Linkam LTS350);
- Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) JSM-6060A (JEOL, Япония);
- Инфракрасная Фурье-спектроскопия Nicolet iN10 (Thermo Fisher Scientific, Уолтем, Массачусетс, США).

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

## У-34 ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ КРИСТАЛЛИЧНОСТИ ПОЛИАРИЛЭФИРКЕТОНОВ НА СВОЙСТВА ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ, НАПЕЧАТАННЫХ НА 3D-ПРИНТЕРЕ

Чекалова Т.А<sup>1</sup>, Игашева В.П., Будеева А.В.

ООО «СИБУР-Инновации», Томск, Россия,  
634022, Россия, г. Томск, тракт Кузолевский, д. 2, стр. 270  
chekalovata@innovation.sibur.ru

Полиарилэфиркетоны (ПАЭК) являются высокотемпературными кристаллическими термопластами. ПАЭК широко используют для получения высокопрочных изделий, в т.ч. методом 3D-печати. Полимеры из семейства ПАЭК различаются по молекулярной структуре, что влияет как на свойства полимеров, так и на свойства готовых изделий.

Целью работы является изучение влияния степени кристалличности образцов, выполненных из полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) и полиэфиркетокетона (ПЭКК) на физико-механические свойства изделий, полученных на 3D-принтере.

ПЭКК содержит одну эфирную и две кетоновые группы, в то время как ПЭЭК – две эфирные и одну кетоновую группу. Преобладание кетоновых групп приводит к увеличению жесткости полимерной цепи, повышению вязкости полимера и изменению кинетики кристаллизации [1].

В литературе описано влияние степени кристалличности на свойства готовых полимерных изделий [2]. В связи с чем изделия из ПЭЭК и ПЭКК будут отличаться по прочностным характеристикам.

Исследования проводили на образцах, изготовленных на 3D-принтере из полимеров с разной степенью кристалличности – ПЭЭК, ПЭКК (70/30) и ПЭКК (60/40). По результатам физико-механических испытаний было выявлено нехарактерное снижение прочности изделий с увеличением степени кристалличности полимера.

Также, были проведены исследования по влиянию ориентации заполнения при 3D-печати изделий из ПЭЭК и ПЭКК. При печати в направлениях 0° и 90° лучшие физико-механические свойства показали образцы полимеров, угол направления линии заполнения которых составил 0°. ПЭКК (60/40), обладая наименьшей степенью кристалличности, имеет лучшие прочностные характеристики при углах направления печати 0° и 90°, что может свидетельствовать о снижении межслоевой адгезии для полимеров с высокой степенью кристалличности.

При увеличении степени кристалличности, увеличивается температура размягчения полимера. Таким образом, при печати, наносимый слой материала кристаллизуется до размягчения поверхности предыдущего слоя, из-за чего сцепление между слоями полимера очень слабое.

В результате работы было определено влияние степени кристалличности на свойства изделий, изготовленных методом 3D-печати. Повышение степени кристалличности приводит к снижению межслоевой адгезии и ухудшению физико-механических характеристик изделий из ПАЭК.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Helena Pérez-Martín, Paul Mackenzie, Alex Baidak, Conchúr M. Ó Brádaigh, Dipa Ray, *Composites Part B: Engineering*, **2021**, 223, 109127.
2. Gao S.-L., Kim J. K. *Composites Part A-Applied Science and Manufacturing*, **2000**, 31(6), 517-530.

## У-35 БЛОК-СОПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ЛАКТОНОВ: КАК МОЛЕКУЛЯРНЫЙ СОСТАВ ДИКТУЕТ ПРАВИЛА САМОСБОРКИ В МИЦЕЛЛЯРНЫЕ СТРУКТУРЫ

Кузнецова Е.В.<sup>1</sup>, Чвалун С.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия  
123182, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1.

<sup>2</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук, Москва, Россия  
117393, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 70  
kuznetsova.kate992@gmail.com

В последние десятилетия наблюдается неугасающий исследовательский интерес к процессам самоорганизации в растворах биоразлагаемых амфифильных блок-сополимеров на основе лактонов – циклических сложных эфиров оксикислот. Такие блок-сополимеры в селективном для одного из блоков растворителе самопроизвольно формируют различные мицеллярные структуры, которые, в свою очередь, могут эффективно солюбилизировать широкий спектр биологически активных веществ (БАВ). Однако блок-сополимерные мицеллы оказались способны не только солюбилизировать различные БАВ, но и адресно доставлять их в целевые ткани и органы за счет так называемого эффекта повышенной проницаемости и удержания.

Данная работа сфокусирована на выявлении фундаментальных зависимостей между молекулярным составом амфифильных блок-сополимеров на основе лактонов и их самоорганизацией в водном растворе. В качестве объектов изучения выбраны блок-сополимеры близкого молекулярного состава: поли(L,L-лактид)-блок-поли(этиленгликоль) ПЛА<sub>x</sub>-блок-ПЭГ<sub>113</sub> и поли(ε-капролактон)-блок-поли(этиленгликоль) ПКЛ<sub>y</sub>-блок-ПЭГ<sub>113</sub> с варьируемой от 30 до 200 мономерных звеньев длиной частично кристаллического гидрофобного блока ПЛА и ПКЛ соответственно. Установлено, что несмотря на схожее молекулярное строение лактида и ε-капролактона физико-химические параметры мицелл, сформированных на основе ПЛА<sub>x</sub>-блок-ПЭГ<sub>113</sub> и ПКЛ<sub>y</sub>-блок-ПЭГ<sub>113</sub> сополимеров, существенно различаются. Кроме того, с привлечением взаимодополняющих экспериментальных методов (флуоресцентной спектроскопии, динамического рассеяния света, электрофоретического рассеяния света, просвечивающей электронной микроскопии, рентгеновского рассеяния в больших и малых углах) всесторонне изучено, как длина ПЛА и ПКЛ блока влияет на мицеллообразование ПЛА<sub>x</sub>-блок-ПЭГ<sub>113</sub> и ПКЛ<sub>y</sub>-блок-ПЭГ<sub>113</sub> сополимеров соответственно.

Обнаруженные в работе фундаментальные закономерности самоорганизации амфифильных ПЛА<sub>x</sub>-блок-ПЭГ<sub>113</sub> и ПКЛ<sub>y</sub>-блок-ПЭГ<sub>113</sub> сополимеров в растворе в зависимости от молекулярного состава исходных блок-сополимеров позволят в дальнейшем проводить контролируемый синтез таких мицелл (т.е. регулировать их физико-химические параметры на этапе получения), что важно для их дальнейшего практического применения.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

**У-36 НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ  
ТРУДНОРАЗЛАГАЕМЫХ СТОКОВ ПРОИЗВОДСТВА  
ДИОКТИЛТЕРЕФТАЛАТА (ДОТФ) ПРИ ПОМОЩИ НОВЫХ ШТАММОВ  
ГЕТЕРОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ**

Шилин С.О.<sup>1</sup>, Семочкина А.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ПАО «Нижнекамскнефтехим», Нижнекамск, Россия  
423570, Россия, г. Нижнекамск, ул. Соболковская, д. 23.

Основными компонентами сточных вод производства диоктилтерефталата (ДОТФ) являются изопропанол и этилгексанол. Данные соединения с одной стороны оказывают значительное негативное воздействие на живые микроорганизмы, а с другой – крайне тяжело разлагаются ими. Все это приводит к гибели активного ила очистных сооружений и, как следствие, к снижению качества очистки сточных вод, нарушениям и появлению рисков для предприятий.

В лаборатории биологической очистки сточных вод Полилаб НК (ПАО «Нижнекамскнефтехим») была разработана технология локальной биологической очистки производственных сточных вод от ДОТФ.

Впервые из активного ила очистных сооружений АО «Сибур-Химпром» были выделены в чистую культуру и адаптированы к производственным сточным водам 2 новых штамма гетеротрофных бактерий. Методами секвенирования по Сэнгеру и MALDI-TOF масс-спектроскопии штаммы были идентифицированы как *Pseudomonas monteili* и *Gordonia desulfuricans*. Данные штаммы депонированы во Всероссийскую коллекцию промышленных микроорганизмов (ВКПМ) под номерами В-14322 и АС-2199 соответственно. Штаммы, как и технология очистки сточных вод с их применением, запатентованы.

Использование микробного сообщества из 2х вышеописанных штаммов при очистке сточных вод производства ДОТФ показало снижение ХПК и вредного воздействия на 95%, а концентрации изопропанола и этилгексанола – на 99% в течение 24 часов культивирования в проточном режиме. При этом суммарная биоразлагаемая концентрация спиртов в стоках производства ДОТФ находилась в диапазоне 500-5000 мг/дм<sup>3</sup>. Технология прошла апробацию как в лабораторных условиях на биореакторе BIOSTAT B, так и на площадке АО «Сибур-Химпром» в ходе опытно-промышленных испытаний.

Таким образом, выделенное и апробированное микробное сообщество может быть использовано для локальной биологической очистки загрязненных сточных вод нефтехимических производств, содержащих в высоких концентрациях изопропанол и этилгексанол.

## У-37 РАЗРАБОТКА ОДНОКОМПОНЕНТНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ АДДИТИВНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛОЛЕФИНОВ

Бермешева Е.В.<sup>1</sup>, Антонова П.Е.<sup>1</sup>, Хрычикова А.П.<sup>1</sup>, Топчий М.А.<sup>1</sup>, Асаченко А.Ф.<sup>1</sup>,  
Бермешев М.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиеva РАН, г. Москва, Россия,  
119991, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 29  
[Janebp@ips.ac.ru](mailto:Janebp@ips.ac.ru)

Аддитивные полинорборны обладают рядом преимуществ, такими как высокая хемо- и термостабильность, прозрачность и высокие температуры стеклования. Однако их широкое применение ограничено одним существенным фактором - сложностью процесса их получения. На сегодняшний день, аддитивная полимеризация остается малоизученным процессом, для которого пока не разработаны эффективные катализаторы. Существующие катализаторы весьма чувствительны к функциональным группам, чистоте растворителей и содержанию в них воды. Создание катализаторов аддитивной полимеризации, которые были бы просты в использовании и толерантны к функциональным группам является сегодня одной из актуальных проблем, попытки решения которой неоднократно предпринимались за последние 70 лет. Некоторые из них оказались весьма удачными [1].

В данном докладе будут представлены результаты исследований по созданию однокомпонентных катализаторов аддитивной полимеризации на основе катионных комплексов палладия и никеля с N-гетероциклическими и ациклическими карбеновыми лигандами, а также результаты систематического анализа и оптимизации структуры данных комплексов [2]. Разработанные катализаторы позволили получить серию новых перспективных полимерных материалов.

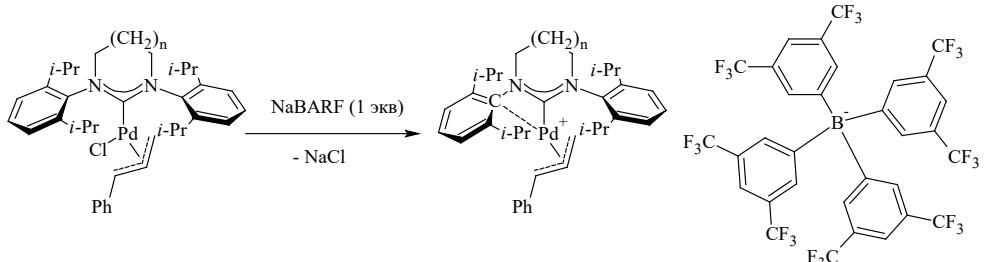


Рисунок 1. Синтез катионных(NHC) Pd-комплексов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Bermesheva Evgeniya V., Bermeshev Maxim Single-component Catalysts for Vinyl-addition Polymerization of Norbornene and its Derivatives//*ChemCatChem* **2023**, 15, 25, e202300818
2. Bermesheva E. V. et al. Air-Stable Single-Component Pd-Catalysts for Vinyl-Addition Polymerization of Functionalized Norbornenes //*ACS Catalysis*. **2022**, 12, 24, 15076-15090.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №21-73-20246-П.

## У-38 ПРОТОНИРОВАННЫЕ ДИАЛЛИЛАММОНИЕВЫЕ ПОЛИМЕРЫ С ВЫСОКОЙ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТЬЮ И НИЗКОЙ ЦИТОТОКСИЧНОСТЬЮ: СИНТЕЗ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА

Симонова Ю.А.<sup>1</sup>, Еременко И.В.<sup>1</sup>, Филатова М.П.<sup>1</sup>, Шлеева М.О.<sup>2</sup>, Еропкин М.Ю.<sup>3</sup>,  
Тимофеева Л.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза Российской академии наук, Москва, Россия, 119991,  
Россия, г. Москва, Ленинский пр-т., д.29

<sup>2</sup> Институт биохимии им. А.Н. Баха, ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии»  
Российской академии наук, Москва, Россия, 119071, г. Москва, Ленинский пр., д. 33

<sup>3</sup>ФГБУ «НИИ гриппа им.А.А. Смородинцева» Минздрава России, Санкт-Петербург,  
Россия, 197376, г. Санкт-Петербург, ул. проф. Попова, д. 15/17  
simonova@ips.ac.ru

Угроза антибиотико-устойчивых инфекций достигла сегодня критического уровня во всем мире. Поэтому создание антимикробных систем, эффективных и малотоксичных, с неспецифическим действием, не вызывающим резистентности микроорганизмов (в отличие антибиотиков) – одно из приоритетных направлений в области синтеза полимеров. В связи с этим большой интерес представляют протонированные вторичные/третичные диаллиламмониевые полимеры (ПДАА), полученные классической и ОПЦ-полимеризацией [1]. Сочетание в пирролидиниевых звеньях значительной гидрофобности с высокой гидрофильностью протонированных аммониевых групп, способных к образованию водородных связей, отличает ПДАА от известных кватернизованных полидиаллиламинов и других полиаминов, и придаёт им новые свойства. В частности, было обнаружено, что ПДАА проявляют высокую неспецифическую антимикробную активность, включающую редкую активность относительно микобактерий *M. Tuberculosis*. Было получено новое семейство антимикробных полимеров в большом диапазоне молекулярной массой (ММ) (8000 – 120000 г/моль). Для получения полимеров с низкой ММ была оптимизирована методология синтеза в избытке радикального инициатора [2].

В исследованиях *in vitro* цитотоксичности на клетках млекопитающих, и бактерицидной активности было показано, что можно выделить две группы полимеров ПДАА, перспективных для применения [3]. Первая - это группа ПДАА с достаточно большой ММ, обладающих высокой биоцидной активностью; их биоцидные концентрации на порядок ниже цитотоксических (ЦТД<sub>50</sub>) концентраций, что дает возможность использовать их как дезинфицирующие. Вторая группа - образцы с низкой ММ. Их биоцидная активность несколько выше, чем умеренная цитотоксичность [3]. Такие полимеры рассматриваются для применения в качестве антимикробных агентов в новых транс-дермальных средствах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Simonova Yu A., Topchiy M.A., Filatova M.P., Yevlampieva N.P., Slyusarenko M.A., Bondarenko G.N., Asachenko A.F., Nechaev M.S., Timofeeva L.M. *European Polymer Journal*, **2020**, 122, 109363.
2. Eremenko I.V., Simonova Yu.A., Filatova M.P., Yevlampieva N.P., Bondarenko G.N., Kleshcheva N.A., Timofeeva L.M. *Russian Journal of Applied Chemistry*, **2024**, 97, 550–560.
3. Timofeeva L.M., Simonova Yu A., Eremenko I.V., Filatova M.P., Topchiy M.A., Kozobkova N.V., Shleeva M.O., Eropkin M.Yu. *International Journal of Molecular Sciences*, **2025**, 26, 1501-1515.

## У-39 ВЛИЯНИЕ ТИПА И ДОЗИРОВКИ СЕРПЕНТИНИТОВЫХ ВОЛОКОН НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА 6

Никифоров А.А.<sup>1</sup>, Файзуллин И.З.<sup>1</sup>, Вольфсон С.И.<sup>1</sup> Панфилова О.А.<sup>1</sup>, Казаков Ю.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань,  
Россия*

*420015, Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 72.*

*nikiforovAA@corp.knrtu.ru*

Полиамид 6 (ПА6) армированный волокнами широко используется в промышленности для автомобилестроения, изготовления деталей в технике и других промышленности. Одним из потенциально перспективных видов армирующего волокна являются серпентинитовые волокна или хризотил. Они обладают высокой температуростойкостью, хорошими прочностными свойствами, сравнительно невысокой стоимостью и доступностью в России. Ранее композиты с асбестом были исследованы преимущественно с реактопластами [1-5].

В работе в качестве наполнителя были выбраны три марки хризотиловых волокон: марка 7-450, марка 5-70, кл. 04 распущенный. Композиции с ПА6 наполняли до 50 % мас. волокна на двухшнековом экструдере Kraussmaffeи KM ZE25x60 при температуре 210-220 °С. Образцы для испытаний получали литьём под давлением на литьевой машине Kraussmaffeи KM CX 50-180 при температурах 220-250 °С. Образцы испытывали на растяжение, изгиб, ударную вязкость. Определяли ПТР и плотность композиций.

Введение хризотила существенно увеличивает физико-механические характеристики композиций на основе полиамида. Увеличение прочности при растяжении составляет 78 % при введении марки 5-70 и 50 % при введении марки 7-450. Прочностные характеристики композиций с хризотилом 5-70 сопоставимы со стеклонаполненными композициями. Такие композиции предположительно могут использоваться в подкапотном пространстве автомобиля для термостойких деталей и топливных систем.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Sung N. H., Churchill G. B., Suh N. P. *Studies of the flexural properties of asbestos-reinforced phenolic composites* //Journal of Materials Science. – 1975. – Т. 10. – №. 10. – С. 1741-1750.
2. (19) RU (11) 2 219 203 (13) С2 Композиция для огнепреградительного материала  
Авторы: Мельникова Н.Л., Коновалов В.Н.
3. (19) RU (11) 2 458 949 (13) С2 Авторы: Мельникова Наталья Лаврентьевна (RU),  
Краснова Надежда Лаврентьевна (RU) *Композиция для огнепреградительного покрытия и способ ее изготовления*
4. (19) RU (11) 2 616 075 (13) С1, *состав для огнезащитных покрытий резин*  
Автор(ы): Каблов Виктор Федорович (RU), Кейбал Наталья Александровна (RU),  
Руденко Константин Юрьевич (RU), Харламов Евгений Викторович (RU)
5. Laramee R. C., Mathis J. R. *Development of low cost ablative nozzles for solid propellant rocket motors, volume 1 Final report.* – 1970. – №. NASA-CR-72641-VOL-1.

## У-40 ДОПИРОВАНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНОЙ КОНДЕНСАТОРНОЙ ПЛЕНКИ: ВЫБОР УСЛОВИЙ

Попова Е. И., Жёрдочкина Ю. С., Лазарева О. Л., Невский Р. Е.. Соковишин А. В.

*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова,  
Россия, 127030, Москва, ул. Сущевская, д. 22*

Полимерные пленки, используемые для создания накопителей энергии, отличаются высокими диэлектрическими свойствами, но слабой стойкостью к воздействию ионизирующего излучения. Создание радиационно-стойкой полимерной пленки возможно за счет допирования промышленно выпускаемых электроизоляционных пленок малыми молекулами – ловушками электронов [1-3].

В настоящей работе предприняты шаги к выбору условий для реализации процесса допирования полиэтилентерефталатной конденсаторной пленки марки ПЭТ-КЭ ГОСТ 24234-80 допантами на основе флуоренона: 2,7-динитрофлуореноном-9 (ДНФ) и 2,5,7-тринитрофлуореноном-9 (ТНФ). Обоснован температурно-временной режим экспериментов, концентрации допирующих растворов. Особое внимание уделено выбору растворителя.

Сравнение полученных экспериментальных данных с известными из литературы позволяет подтвердить зависимость концентрации допанта в пленке от температуры (на примере системы ТНФ – этиленгликоль): рост температуры в экспериментах допирования увеличивает скорость внедрения допанта в полимерную матрицу на ранних стадиях процесса, однако снижает равновесную концентрацию допанта в полимерной пленке. С другой стороны, исследование систем с разными растворителями позволяет сформулировать следующие критерии для выбора растворителя для допанта:

- высокая температура кипения: интервал рабочих температур ограничен температурой стеклования допируемого полимера (88 °С для ПЭТ) снизу и температурой кипения растворителя сверху;
- низкая летучесть растворителя;
- хорошая растворимость допанта в сочетании с низким сродством растворителя к полимерной матрице (высокое сродство приводит к набуханию полимера и блокированию молекулами растворителя полостей свободного объема в аморфной фазе полимера, что снижает равновесную концентрацию допанта в полимерной пленке).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Joseph L. Lenhart, Phillip J. Cole, Shannon M. Cole, John L. Schroeder, Michael E. Belcher. *Journal of Applied Physics*, **2008**, *103*, 024908.
2. Robert J. Klein, Shannon M. Cole, Michael E. Belcher, John L. Schroeder, Phillip J. Cole, Joseph L. Lenhart. *Polymer*, **2008**, *49*, 5541–5548.
3. Robert J. Klein, John L. Schroeder, Shannon M. Cole, Michael E. Belcher, Phillip J. Cole, Joseph L. Lenhart. *Polymer*, **2008**, *49*, 2632-2635.

## У-41 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОНВЕНЦИОННЫХ СРЕД И ПОДХОДОВ ДЛЯ СИНТЕЗА И МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРОВ

Никонов И.Л.<sup>1,2,3</sup>, Алтоби А.М.К.<sup>1,4</sup>, Аль-Итхави В.К.А.<sup>5</sup>, Распутин Н.А.<sup>2</sup>, Баклыков А.В.<sup>1,2</sup>, Ковалёв И.С.<sup>1</sup>, Копчук Д.С.<sup>1,2</sup>, Зырянов Г.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия  
620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19.

<sup>2</sup>Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, Екатеринбург, Россия  
620137, Россия, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 22/20

<sup>3</sup>Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия  
620100, Россия, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37

<sup>4</sup>Университет Шумера, Ди-кар, Ирак  
64005, Ирак, г. Ди-кар, ул. Аль-Рифай-Сило  
<sup>5</sup>Технологический университет Ирака, Багдад, Ирак  
10066, Ирак, г. Багдад, ул. Аль-Синаа, д. 52  
igor.nikonov.ekb@gmail.com

На сегодняшний день остро стоит проблема растущей экологической нагрузки на окружающую среду, прежде всего из-за роста отходов химической промышленности и смежных отраслей. Следствием данной проблемы является потребность в разработках экологически-безопасных и малоотходных технологий для создания новых функциональных материалов, включая полимеры и композиты различного назначения, а также вовлечения в передел бытового и промышленного вторсырья. Таким образом, развитие т.н. «зеленых методов» в химии полимеров связанных с минимизацией стадий синтеза и очистки продуктов, использованием водных растворов или отсутствием растворителей, проведением реакций при комнатной температуре и атмосферном давлении является актуальной научной и технологической задачей. Данными преимуществами выгодно отличаются такие неконвенционные подходы, как использование механоактивации в шаровой мельнице [1], а также метод сусpenзионной полимеризации в среде фторированных алканов [2]. С их помощью произведён синтез ряда сверхвысокомолекулярных полиолефинов, новых функциональных полимеров, а также проведена их постмодификация в том числе поливинилхлорида. Полученные таким образом продукты могут являться перспективными флуорофорами, лигандами и сорбентами по отношению к катионам переходных металлов, а также хемосенорами для обнаружения нитросодержащих взрывчатых веществ. Синтезированные в ходе исследования полимеры детально изучены на наличие указанных выше свойств, а также в ряде случаев опробованы в качестве перспективных материалов для создания новых видов ультрафильтрационных (УФ) мембран.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Al-Ithawi W.A.K., Al-Sammarraie E.S.A., Baklykov A.V., Platonov V.A., Altobee A.M.K., Glebov N.S., Khasanov A.F., Kovalev I.S., Nikonorov I.L., Kopchuk D.S., Zyryanov G.V. *Chimica Techno Acta*, **2024**, 11(3), 202411306
2. Rasputin N.A., Vlasov I.A., Yakovlev S.V., Artem'ev G.A., Nikonorov I.L., Kopchuk D.S., Matern A.I., Charushin V.N. *Dokl. Chem.*, **2023**, 508(2), 56-61.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 25-73-30016.

## У-42 АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДНОЙ МАТРИЦЫ-ХОЗЯИНА С РАЗЛИЧНЫМИ ХРОМОФОРАМИ-ГОСТЬЯМИ

Левицкая А.И., Фоминых О.Д., Балакина М.Ю.

Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова  
ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, Россия  
420088, Россия, г. Казань, ул. Академика Арбузова, д. 8  
april-90@mail.ru

При создании электрооптических (ЭО) устройств перспективными являются органические нелинейно-оптические (НЛО) материалы. Такие материалы обладают рядом преимуществ по сравнению с неорганическими аналогами – существенно более высокими НЛО характеристиками, большей термо- и фотостабильностью и пр. Поэтому создание таких материалов представляет собой актуальную задачу. Традиционные органические НЛО материалы представляют собой полимерную матрицу с введенными в нее хромофорами – сопряженными дипольными молекулами с большим дипольным моментом и первой гиперполяризаемостью, определяющей ЭО отклика материала на молекулярном уровне. Поиск новых структурных компонентов для создания ЭО материалов является одной из важных задач науки о материалах.

В настоящей работе методом молекулярного моделирования исследована [1] структура новых композиционных материалов: в роли матрицы-хозяина были рассмотрены линейные (PI-L) и звездчатые трехлучевые (PI-S) полиимидные олигомеры; в качестве хромофоров-гостей были выбраны хромофоры **DO<sub>3</sub>** и **DBA-V-TCF**, доля хромофоров составляла 10 и 20 масс.%. Особое внимание уделено реализации внутри- и межмолекулярных взаимодействий в материале.

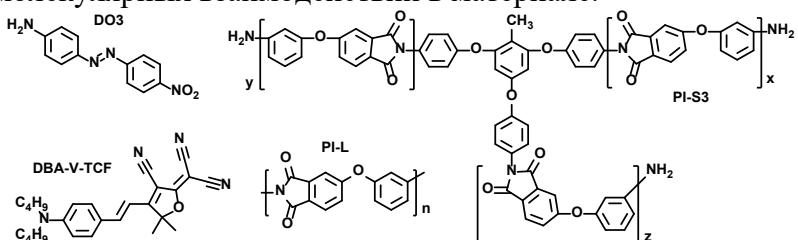


Рисунок 1. Структуры исследуемых полимерных матриц и хромофоров-гостей.

Теоретически рассчитаны температуры стеклования исследуемых полимерных матриц, установлено наличие большого числа невалентных связей между фрагментами полиимидных цепей. При введении хромофоров-гостей **DO<sub>3</sub>** реализуются невалентные взаимодействия между ними, число которых растет с увеличением содержания хромофоров. Хромофор **DBA-V-TCF** образуют невалентные связи друг с другом только при 20 масс.% содержании в матрице. Во всех рассмотренных композиционных материалах хромофоры-гости связаны невалентными взаимодействиями с полимерной матрицей. В матрице **PI-L** связывание хромофоров происходит эффективнее, чем в **PI-S**.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Schrödinger Release 2018-1: Materials Science Suite, Schrödinger, LLC, New York, NY, 2018.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-73-00084.

## У-43 БИОКОМПОЗИТЫ ПОЛИЛАКТИДА С ПОЛИСАХАРИДАМИ И НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА

Алексанян К.В.<sup>1,2</sup>, Масталыгина Е.Е.<sup>1,3</sup>, Смыковская Р.С.<sup>2</sup>, Шахов А.М.<sup>2</sup>, Самойлова Н.А.<sup>4</sup>, Рыжманова Я.В.<sup>5</sup>, Иванушкина Н.Е.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия  
117997, Россия, г. Москва, Стремянный пер., д. 36

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова  
Российской академии наук, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4

<sup>3</sup>Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук,  
Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4

<sup>4</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской  
академии наук, Москва, Россия  
119334, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 28, стр. 1

<sup>5</sup>Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина Российской  
академии наук, Пущино, Россия  
142292, Россия, Московская область, г. Пущино, пр. Науки, д. 5  
aleksanyan.kristine@gmail.com; aleksanyan@chph.ras.ru

В последние годы для решения существующих экологических проблем предлагаются все более новые биоразлагаемые составы, которые помимо способности к биодеструкции обладают еще и дополнительными свойствами. В частности, в данной работе разрабатываются функциональные биокомпозиты на основе пластифицированного полилактида с наночастицами серебра, придающие антибактериальность материалу, а также с введением различных полисахаридов. Для получения биокомпозитов применялся метод совместного воздействия на материал сдвиговых деформаций, давления и высоких температур. Максимальное содержание наночастиц достигало 0,5 мас. %. Затем из полученных биокомпозитов были отпрессованы пленки для проведения дальнейших исследований. С использованием различных методов (оптическая микроскопия, СЭМ) исследовалась морфология пленок на основе биокомпозитов. Анализ СЭМ микрофотографий выявил, что введение полисахарида в структуру биокомпозитов пластифицированного полилактида с наночастицами серебра уменьшает агрегацию/агломерацию последнего и делает систему более равномерной. С целью исследования биоразлагаемости проводили тесты по выдерживанию образцов в почве при определенных условиях. Оказалось, что введение даже в малых количествах полисахаридов приводит к интенсификации процесса биодеструкции. Анализ биокомпозитов до и после выдерживания в почве проводили с помощью ИК-спектроскопии. Для изучения антибактериальных свойств, а также грибостойкости разрабатываемых биокомпозитов использовали набор тест-культур из Всероссийской коллекции микроорганизмов (ВКМ). Как и следовало ожидать, введение наночастиц подавляет рост различных бактерий и дрожжей. Но при этом испытаниями на грибостойкость в среде Чапека-Докса была показано, что данные образцы обладают биоразлагаемостью. Таким образом, полученные биокомпозиты могут представлять интерес для разработки новых функциональных упаковочных материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-73-00076.

## У-44 ПОЛУЧЕНИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ CoNi ЗАЩИЩЕННЫХ ПОРИСТОЙ УГЛЕРОДНОЙ ОБОЛОЧКОЙ И ИХ КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ В РЕАКЦИИ ГИДРИРОВАНИЯ МАГНИЯ

Баймуратова Р.К.<sup>1</sup>, Сидоров В.Л.<sup>1</sup>, Можжухин С.А.<sup>1</sup>, Джардималиева Г.И.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, Черноголовка, Россия  
142432, Россия, г. Черноголовка, пр. академика Н.Н. Семёнова, д. 1

<sup>2</sup>Московский авиационный институт, Москва, Россия  
125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4  
rozab@icp.ac.ru

Чистый магний в качестве материала для хранения водорода демонстрирует плохие кинетические характеристики в процессах абсорбции/десорбции водорода из-за (1) наличия оксидной пленки на его поверхности, (2) медленной скорости диффузии водорода в объеме MgH<sub>2</sub>/Mg, (3) высокой термодинамической стабильности связи Mg–H. Улучшить кинетику абсорбции/десорбции водорода и снизить температуру процесса можно добавлением катализаторов или легированием Mg другими элементами (V, Co, Zr, Ti, Nb, Mo, Ni и т.д.) [1]. Совсем недавно в качестве катализаторов гидрирования/дегидрирования Mg стали использовать материалы, полученные посредством контролируемого термолиза, метал-органических каркасных соединений (МОКС, с англ. MOFs).

В данной работе в качестве катализаторов процессов гидрирования и дегидрирования Mg протестированы гетерометаллические наночастицы CoNi, заключенные в углеродную матрицу. Для получения биметаллических частиц CoNi, инкапсулированных в пористую углеродную матрицу, был использован контролируемый термолиз в вакууме соответствующих координационных полимеров итаконовой кислоты. Состав, строение и дисперсность полученных биметаллических нанокомпозитов были охарактеризованы с помощью методов элементного и рентгенофазового анализа, ИК-спектроскопии, просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии. Показано, что получаемые таким образом наночастицы содержат преимущественно кубическую фазу Co<sub>2</sub>Ni<sub>3</sub> с гексагональной примесной фазой Co, и имеют вытянутую гексагональную и сферическую формы, соответственно, со средними размерами частиц от 15 до 25 нм. Коэрцитивная сила нанокомпозитов варьировалась от 190 до 212 Э, величины удельной электропроводности составляли 0,72–1,4 См/м, близких к значениям полупроводниковых материалов. Пористая структура содержала микро и мезопоры, а удельная поверхность варьировалась от 170 до 235 м<sup>2</sup>/г, доля площади внешней поверхности составляет до 25 %.

Авторы выражают благодарность Министерству науки и высшего образования Российской Федерации за финансовую поддержку (Соглашение № 075-15-2024-654, уникальный идентификатор РФ---2251.61324X0111), а также д.х.н. Тарасову Б.П. и к.х.н. Лотоцкому М.В. за помощь в интерпретации полученных результатов.

Работа выполнена в соответствии с темой государственного задания № гос. Регистрации № 124013000757-0.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Baimuratova R. K., Dzhardimalieva G. I., Mozhzhukhin S. A., Lototskyy M. V., Tarasov B. P. *High Energy Chem* 2024, 58 (S4), S553–S562.

## У-45 НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ФУЛЛЕРЕНСОДЕРЖАЩИЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-1-ВИНИЛ-1,2,4-ТРИАЗОЛА

Усманов Р.Т.<sup>1</sup>, Кузнецова Н.П.<sup>1</sup>, Поздняков А.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского Сибирское отделение Российской академии наук, Иркутск, Россия  
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Фаворского, д. 1.  
usmanov@irioch.irk.ru*

Устройства, использующие чистую энергию, способны изменить мир и избежать энергетического кризиса в будущем. Одним из решений проблемы энергетического кризиса в будущем может стать энергия водорода, получаемая в топливных элементах с протонообменной мембраной [1]. Интенсивно развивающимся направлением разработки протонпроводящих мембран является получение композиционных материалов, содержащих углеродные компоненты. В качестве углеродных наполнителей интерес привлекают функционализированные фуллерены, которые значительно уменьшают набухание мембран и обеспечивают высокую проводимость в условиях низкой влажности [2].

Фуллерены – это молекулярная форма чистого углерода, которая отличается от других своей ярко выраженной молекулярно-сферической структурой. Фуллерены легко подвергаются модификации путём присоединения различных функциональных групп к поверхности углеродного каркаса (экзоэдравльные фуллерены). Фуллерены, функционализированные сульфогруппами, обладают способностью к транспорту протонов. Полимеры на основе 1-винил-1,2,4-триазола являются перспективными объектами при формировании полимерных ионпроводящих мембран по типу кислота–основание с высокими параметрами протонного переноса [3].

Целью данной работы является получение нанокомпозитных протонообменных мембран на основе поли-1-винил-1,2,4-триазола с различным содержанием сульфированного фуллерена C<sub>60</sub> и изучение их основных характеристик. Разработанный оригинальный подход к синтезу полимерных нанокомпозитов обеспечил равномерное распределение наночастиц сульфофуллерена и эффективное их взаимодействие с функциональными группами полимера [4]. Согласно данным просвечивающей электронной микроскопии углеродные наночастицы имеют размеры от 2 до 10 нм. Полученные мембранны обладают протонной проводимостью порядка 10<sup>-2</sup> См/см и термостабильностью до 210°C.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ozsari I. *Energy Storage*, **2023**, 5, 3756–3767.
2. Hao Q., Xiao X., Han M., Huang D., Wang S., Meng Y. *J. Power Sources*, **2022**, 533, 231386–231406.
3. Emel'yanov A., Stepanov M., Bolgova Y., Trofimova O., Prozorova G., Pozdnyakov A. *Applied Materials Today*, **2024**, 41, 102516–102527.
4. Поздняков А.С., Чепенко Д.С., Усманов Р.Т., Емельянов А.И. Патент RU 2823484 С1, **2024**.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-13-00328.

## У-46 МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МИКРОПОРИСТЫЕ ИОННЫЕ ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ 1-ВИНИЛИМИДАЗОЛА: СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ

Головачева А.А.<sup>1,2</sup>, Казарина О.В.<sup>1,2</sup>, Головкина А.И.<sup>1</sup>, Маркин З.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского (ННГУ), г. Нижний Новгород, проспект Гагарина, д. 23.

<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва, пл. Миусская, д.9.

*a.golovachiova@yandex.ru*

Пористые материалы обладают особенными свойствами, такими уникальная структура, большая площадь поверхности и объём пор, что позволяет использовать их в различных сферах: от хранения и разделения газов до катализа, очистки воды, преобразования и хранения энергии. Ионные сверхсшитые полимеры (ИССП) — большое семейство микропористых органических полимеров, характеризующиеся большой площадью поверхности и уникальной структурой. Существует 3 способа синтеза ИССП: (1) прямая сополимеризация ионных и нейтральных мономеров, (2) образование ионных участков *in situ* во время гипершивки и (3) метод постпрививки ионных компонентов на полимерную структуру.

В этом исследовании мы описали двухэтапный процесс синтеза ионных микропористых сверхсшитых полимеров с различными (-OH, -NH<sub>2</sub>, -COOH и др.) и противоионами (-Cl, -Br, -I) в составе (рис. 1).

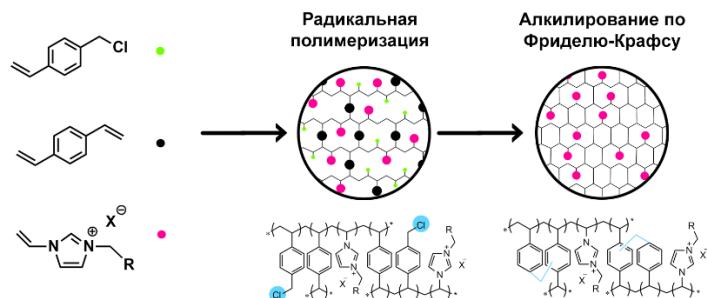


Рис. 1. Схема двухэтапного синтеза ИССП.

На первом этапе был синтезирован свитый предшественник путём полимеризации дивинилбензола (ДВБ), 4-винилбензилхлорида (ВБХ) и имидазольных ионных мономеров (ИМ). Первый этап служил для внедрения ИМ в полимерную структуру. На втором этапе происходило гипершивание предшественника с помощью реакции Фриделя-Крафтса между бензольным кольцом и хлорметилом (-CH<sub>2</sub>Cl) от ВБХ, который является источником внутреннего электрофила и использовался для создания мостиков между соседними ароматическими кольцами. Данная методика позволяет исключить взаимовлияние процессов внедрения ИМ в полимерную структуру и гипершивание. Также было изучено влияние параметров синтеза (соотношение мономеров, концентрация инициатора, тип растворителя, температура и время полимеризации) на структуру и поверхностные свойства полимеров. Была достигнута большая площадь поверхности, большое количество микропор и высокая плотность ионных центров. Также, полученные ИССП с функциональными группами (-OH) продемонстрировали удивительную способность к селективной конверсии CO<sub>2</sub>.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-79-10144.

**У-47 МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ  
ПОЛИ(ПЕНТАФТОРПРОПИЛАКРИЛАТА/ДЕЦИЛ)МЕТИЛСИЛОКСАНА  
ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ БИОБУТАНОЛА ИЗ ФЕРМЕНТАЦИОННОЙ СМЕСИ**

**Рохманка Т.Н.<sup>1</sup>, Грушевенко Е.А.<sup>1</sup>, Голубев Г.С.<sup>1</sup>, Борисов И.Л.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиеva РАН, Москва, Россия  
11991, Россия, г. Москва, Ленинский пр., д. 29.  
rokhmankatn@ips.ac.ru*

Разработка новых мембранных материалов с низкой поверхностной энергией необходима для увеличения эффективности процессов разделения, в частности, выделения биоспиртов из ферментационных смесей. Фторполимеры относятся к классу полимеров с самыми низкими значениями поверхностной энергии. В то же время фторсодержащие полисилоксаны - уникальный класс полимеров, сочетающий в себе свойства амфифобных фторполимеров и спиртоселективных силоксанов. Для получения мембран, устойчивых к образованию осадка на поверхности, впервые была синтезирована серия сополимеров поли(децилметилсилоксан) - поли(пентафторпропилакрилатметилсилоксан)а. Методом <sup>1</sup>Н ЯМР спектроскопии показано практически количественное присоединение 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3 - пентафторпропилакрилата (F5) и 1-децена к полиметилгидросилоксану (ПМГС). Полнота реакции гидросилилирования в сшитых пленках была подтверждена методом ИК-спектроскопии. В спектрах образцов не было обнаружено полос, соответствующих связям Si-H от модифицируемого ПМГС. С помощью поверхностного элементного анализа было показано, что в сополимерах наблюдается ориентация боковых F5 групп к поверхности пленки, что приводит к снижению поверхностной энергии пленок до значений 17-18 мДж/м<sup>2</sup>, что близко к поверхностной энергии тефлоновых поверхностей (18-20 мДж/м<sup>2</sup>). На основе сополимера с 50% мол. содержанием F5 (50F5), характеризующегося минимальным значением поверхностной энергии в исследуемом ряду, а также 0F были получены композиционные мембранны на микрофильтрационной подложке МФФК-1, обозначенные как М1 и М2, соответственно. Сравнительное исследование стабильности транспортных свойств мембран М1 и М2 после 2 месяцев контакта с ацетон-бутанол-этанольной ферментационной смесью показало, что наличие F5 групп в полимере селективного слоя позволяет практически полностью предотвратить снижение проницаемости композиционной мембранны. Так, например, для мембранны М1, снижение проницаемости СО<sub>2</sub> после контакта с ферментационной смесью составило 1.5% (с 0.227 до 0.224 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч·бар), соответственно). В то же время мембране М2, было характерно большее снижение газотранспортных свойств – проницаемость СО<sub>2</sub> снизилась на 40.9% (с 0.22 до 0.13 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч·бар), соответственно). Для определения элементного состава обнаруженного осадка был использован энергодисперсионный анализ поверхности мембранны. Показано, что наибольшее изменение элементного состава поверхности наблюдалось для мембранны М2. Среднее увеличение количества атомов углерода на поверхности селективного слоя мембранны М2 после 2 месяцев контакта с ферментационной смесью составило 11.6%, а для М1 ~8%. Таким образом, применение мембранны М1 для выделения биобутанола из ферментационной АБЭ-смеси позволяет поддерживать эффективное разделение в течение длительного времени, что хорошо сочетается с непрерывным ведением процесса ферментации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 22-79-10332.

**У-48 СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ СТЕАРИЛМЕТАКРИЛАТА С  
ГЛИЦИДИЛМЕТАКРИЛАТОМ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ ПО МЕХАНИЗМУ  
РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ С ПЕРЕНОСОМ АТОМА ИХ  
ПРИМЕНЕНИЕ В КАЧЕСТВЕ ДЕПРЕССОРНЫХ ПРИСАДОК К  
ДИЗЕЛЬНОМУ ТОПЛИВУ**

**Криуличев И.П., Павловская М.В., Замышляева О.Г., Гришин Д.Ф.**

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия  
603022, Россия, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23.  
ivankriulichev@yandex.ru*

Контролируемая радикальная полимеризация (КРП) – один из перспективных способов получения полимеров с заданными молекулярно-массовыми характеристиками и строением. Указанные параметры оказывают существенное влияние на свойства и применение полимеров, в частности, на возможность их использования в качестве присадок к дизельному топливу.

Нами методом КРП по механизму радикальной полимеризации с переносом атома были получены сополимеры на основе стеарилметакрилата с глицидилметакрилатом в широком диапазоне мономерных смесей. Для синтеза сополимеров была использована каталитическая система на основе бромида меди (I) и азотсодержащих лигандов: трис-2-пиридилилметиламина и трис[2-(диметиламино)этил]амина. Архитектура синтезированных образцов варьировалась в зависимости от функциональности инициатора (этил- $\alpha$ -бromoизобутират, этилен-бис- $\alpha$ -бromoизобутират и глицерин-трис- $\alpha$ -бromoизобутират). Установлено, что процесс полимеризации указанных мономеров протекает в контролируемом режиме, характеризующимся линейным ростом молекулярной массы образцов с увеличением конверсии при сохранении узкого молекулярно-массового распределения даже на глубоких степенях превращения. Методами  $^1\text{H}$  ЯМР и ИК-спектроскопии были охарактеризованы и определены составы синтезированных полимеров. Установлено, что использование различных инициаторов не оказывает существенного влияния на конечный состав полимера при одинаковом соотношении мономеров в смеси.

Для изучения процессов самоорганизации полимера на границе раздела фаз «вода-воздух» использовали метод пластиинки Вильгельми на весах Ленгмюра, с помощью которого была определена зависимость площади, занимаемой молекулой полимера в монослое, и поверхностного давления от строения полимеров одной массы и состава.

Синтезированные полимерные образцы на высоких степенях превращения были апробированы в качестве депрессорных присадок к гидроочищенному дизельному топливу при их введении в широком диапазоне концентраций от 200 до 1600 ppm. Оценено влияние состава сополимеров, их молекулярно-массовых характеристик и пространственной архитектуры на низкотемпературные свойства топлива. Установлено, что увеличение разветвленности полимеров при использовании добавок одинаковой молекулярной массы и состава положительно влияет на депрессорный эффект для температуры застывания и предельной температуры фильтруемости топлива.

Исследования выполнены при поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

## У-49 ИНЕСЦЕНТНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ ОБЛАДАЮЩИЕ СПЕЦИФИЧНОСТЬЮ К РЕЦЕПТОРУ ЭПИДЕРМАЛЬНОГО ФАКТОРА РОСТА

Карпов О.Н., Григорьева М.В., Отмахова О.А., Тальрозе Р.В.

*<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиеva Российской академии наук  
119991, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, дом 29.  
o.karpov@ips.ac.ru*

Благодаря своим уникальным оптическим свойствам, таким как настраиваемая длина волны люминесценции, зависящая от размера наночастиц, а также высокой фотохимической стабильности, квантовые точки (КТ) представляют собой многообещающее новое поколение люминофоров. Для высокочувствительного и специфического обнаружения молекул в клинических и экологических условиях ведется разработка различных композитов на основе аптамеров с КТ [1]. Аптамеры могут селективно связываться с широким спектром целевых молекул, включая небольшие химические вещества, белки и даже клетки. Эти свойства позволили расширить их использование в качестве лигандов биораспознавания.

В данной работе в качестве исследуемых ДНК-аптамеров были использованы G011, U8 и U31, обладающие специфичностью к рецептору эпидермального фактора роста (EGFR). EGFR – трансмембранный рецептор, активация внеклеточной части которого запускает внутри клетки каскад биохимических реакций, приводящий к ее делению. Данный белок является маркером онкологических заболеваний, поскольку присутствует в больших количествах на поверхности поражённых клеток. Поэтому создание нанокомпозитов, обладающих люминесценцией за счет присутствия КТ и специфичностью взаимодействия за счет аптамеров, позволит детектировать и различать такие клетки.

В данной работе представлен метод получения и анализ комплексов на основе КТ полупроводников CdSe/ZnS и InP/ZnS с аптамерами. Выбор КТ CdSe/ZnS, продиктован их высоким квантовым выходом люминесценции, а КТ InP/ZnS интересны с точки зрения малотоксичности атомов, образующих неорганическое ядро. В работе проведен синтез самих КТ в органических растворителях, с дальнейшим переводом в водорастворимое состояние, путем замещения стабилизирующих молекул на поверхности частиц гидрофильными полимерными лигандами, синтезированными методом ОПЦ-полимеризации. На основе полученных КТ проведен синтез комплексов с аптамерами (G011, U8, U31) путем взаимодействия карбоксильных групп на поверхности наночастиц, с аминогруппой аптамера на 5'-конце. Полученные комплексы проанализированы методом динамического рассеяния света, показавшим рост гидродинамического радиуса частиц, после присоединения аптамера. Анализ взаимодействия синтезированных комплексов непосредственно с белком-мишенью – EGFR методом иммуноферментного анализа, показал специфическое присоединение КТ за счет присутствия аптамера на поверхности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Dongmin K.D., Seungmin Y. *Chemosensors*, **2021**, 9, 318-338.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-23-00551, <https://rscf.ru/project/24-23-00551/>

## У-50 ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЬ-САЛЕНОВЫХ ПОЛИМЕРОВ

Алексеева Е.В.<sup>1</sup>, Лукьянов Д.А.<sup>1</sup>, Левин О.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт химии, Санкт-Петербургский Государственный Университет г. Санкт-Петербург, Россия  
199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9

Никель-саленовые (NiSalen) полимеры представляют собой перспективные материалы для применения в качестве электродных материалов электрохимических устройств хранения энергии благодаря высокой проводимости и хорошей обратимости окислительно-восстановительных процессов. Однако их эксплуатационные характеристики существенно ограничиваются деградацией в присутствии воды или иных оснований Льюиса. В данной работе исследуется влияние структуры полимеров на электрохимическую стабильность NiSalen-полимеров. Анализ деградации NiSalen-полимеров в водных средах показал, что основным фактором деградации комплексов является координация молекул воды на атом никеля, что приводит нарушению проводимости по сопряженной цепи полимера. Введение объемных заместителей в иминовый мост предотвращает координацию воды к металлическому центру, что существенно увеличивает срок службы полимерных электродов на их основе. Методы циклической вольтамперометрии, электрохимической импедансной спектроскопии и рентгенофотоэлектронной спектроскопии подтвердили, что повышение стерического экранирования Ni-центра приводит к снижению скорости деградации. Квантово-химические расчеты методом DFT продемонстрировали, что повышенная стерическая защита вокруг атома никеля снижает вероятность координации воды и замедляет процессы разрушения. Наиболее стабильные модифицированные NiSalen-полимеры обладают значительно увеличенным сроком службы, что делает их перспективными материалами для катодов суперконденсаторов. Полученные результаты демонстрируют, что введение стерических защитных групп в структуру NiSalen-полимеров позволяют значительно повысить их электрохимическую стабильность. Практическое использование полученных результатов открывает возможности для создания долговечных и эффективных электрохимических устройств хранения энергии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Санкт-Петербургского государственного университета (проект 123042000120-3)

## У-51 ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В ОТВЕРЖДАЮЩИХСЯ ТЕРМО-РЕАКТОПЛАСТИЧНЫХ СИСТЕМАХ

Шаров К.И., Шапагин А.В.

<sup>1</sup>ИФХЭ РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский пр., д.31, корп. 4

e-mail: [Deathknight\\_91@mail.ru](mailto:Deathknight_91@mail.ru)

Отверждающиеся полимерные компаунды часто представляют собой многокомпонентные термо-реактопластичные системы, характеризующиеся гетерогенной структурой. Конечная фазовая структура материала определяется фазовыми равновесиями исходных компонентов системы и их эволюцией в процессе отверждения. Ранее нами было показано, что итоговую структуру отверждённой системы можно регулировать технологическими параметрами или изменением молекулярных масс исходных компонентов [1]. Получение необходимых свойств материала посредством формирования заданной фазовой структуры часто не согласуется с технологическими свойствами компаунда. В данной работе мы рассмотрели физико-химические аспекты внешнего воздействия на формирующуюся в процессе отверждения фазовую структуру. В качестве внешнего воздействия применяли электрическое поле.

Объекты исследования представляли собой отверждённые 4,4'-диаминодифенилсульфоном (ДДС) системы эпоксидный олигомер ЭД-20 – поликапролактон (ПКЛ) / поливинилацетат (ПВА). Отверждение систем проводили при температурах 180 и 120 °С в электрическом поле с постоянным напряжением 9 кВ между двумя медными электродами. Электрическое поле создавали высоковольтным источником питания НТ-15-20Р (Мантигора, Россия). Фазовую структуру исследовали методом сканирующей электронной микроскопии на Jeol JSM 6060A (Япония).

Получены СЭМ-изображения отверждённых систем эпоксидный олигомер (ЭО), модифицированный поликапролактоном (5-30 м.ч. относительно ЭО) / поливинилацетатом (15-30 м.ч. относительно ЭО). Установлено влияние электрического поля на структурообразование: тип фазовой структуры, размеры и ориентацию структурных элементов. Обнаружено, что в системах, отверждённых в электрическом поле и имеющих фазовую структуру типа «матрица-дисперсия», ширина фазового распределения дисперсии по размерам заметно сужается, размер фаз уменьшается, а их количество на единицу площади увеличивается. В системах, обладающих фазовой структурой типа «взаимопроникающие фазы», отверждение в электрическом поле изменяет соотношение объёмных долей фаз относительно системы, отверждённой вне электрического поля. Показано, что независимо от типа фазовой структуры в системах, отверждённых в электрическом поле, распределение фаз становится более регулярным, а изменение объёмных долей существующих фаз коррелирует со смещением фазовой диаграммы по оси концентраций.

Таким образом, обнаружен факт возможности регулирования фазовой структуры, формирующейся при отверждении термо-реактопластичных систем, электрическим полем без изменения физико-химических и технологических параметров. Показано, что влияние электрического поля на конечную фазовую структуру моделируется смещением фазовой диаграммы по шкале концентраций в сторону концентрированных по эпоксиду растворов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Plyusnina I.O., Nikulova U.V., Khasbiullin R.R., Shapagin A.V. Regulation of the Phase Structure in the Crystallizing Curing System PCL–DGEBA // Polymers. – 2024. – Vol. 16. – No. 19. – Article No. 2695.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

# У-52 ВЫСОКОПРОЧНЫЕ САМОЗАЖИВЛЯЮЩИЕСЯ МЕТАЛЛОСОПОЛИМЕРЫ АКРИЛАМИДА И АКРИЛОВЫЙ КИСЛОТЫ: ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Сорин Е.С.<sup>1</sup>, Баймуратова Р.К.<sup>1</sup>, Джардималиева Г.И.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, Черноголовка, Россия, 142432, Россия, Московская область, г.*

*Черноголовка, пр-т академика Семенова, д. 1*

<sup>2</sup> *Московский авиационный институт, Москва, Россия, 125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4*

*sorin\_es@mail.ru*

Самозаживляющиеся полимеры являются основой для создания различных многофункциональных самовосстанавливающихся материалов нового поколения, что в первую очередь обусловлено наличием различных обратимых взаимодействий в макромолекулах: водородных и дисульфидных связей, Ван-дер-Ваальсовых,  $\pi$ - $\pi$ -стекинг и металл-лигандных взаимодействий [1].

Одними из наиболее интересных систем в этом плане являются металлополимеры благодаря возможности тонкой настройки свойств варьированием иона металла или лигандов [2]. Но несмотря на большое разнообразие самозаживляющихся металлополимеров, на сегодняшний день практически отсутствуют примеры успешного сочетания автономных свойств восстановления и высокопрочных характеристик для подобных материалов. Зачастую это обусловлено методом получения, а именно импрегнированием готовых полимеров солями различных переходных металлов.

Данная работа предлагает одностадийный способ получения новых типов самозаживляющихся сополимеров акриламида (ААм), акриловой кислоты (ААс) и металлохелатных мономеров на основе 4'-фенил-2,2':6',2"-терпиридина и акрилатов различных переходных металлов [Co(II), Ni(II), Cu(II)].

Показано, что включение металлокомплекса непосредственно в полимерную цепь, являющееся ключевой особенностью данных систем, не только улучшает механические свойства конечных пленок полимеров, но и приводит к практически уникальному эффекту для материалов с подобными показателями прочности в настоящее время – автономному внутреннему заживлению [3].

В работе приведены исследования структуры, термических и самовосстанавливающихся свойств полученных металлополимеров, а также изучены особенности влагопоглощения и поверхностных свойств полимерных пленок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Hager M.D., Greil P., Leyens C., Van Der Zwaag S., Schubert U.S. *Adv. Mater.*, **2010**, 22, 5424–5430.
2. Dzhardimalieva G.I., Yadav B.C., Singh S., Uflyand I.E. *Dalton Trans.*, **2020**, 49, 3042–3087.
3. Sorin E.S., Baimuratova R.K., Zhidkov M.V., Bubnova M.L., Perepelitsina E.O., Abukaev A.F., Anokhin D.V., Ivanov D.A., Dzhardimalieva G.I. *Polymers*, **2024**, 16, 3127.

Работа выполнена по темам гос. заданий № 124013000757-0 (FFSG-2024-0010), 124013000722-8 (FFSG-2024-0007), 124020800013-7 (FFSG-2024-0017).

## У-53 КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРИВИВАНИЯ ЧАСТИЧНО НЕЙТРАЛИЗОВАННЫХ АКРИЛОВОЙ И МЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТ НА ПОЛИЭТИЛЕНОВУЮ МЕМБРАНУ

Обшицер А.С.<sup>1,2</sup>, Байбурдов Т.А.<sup>1,2</sup> Швецова Е.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия  
410012, Россия, г. Саратов, ул. Астраханская, д.83  
artur.obschiczer@yandex.ru

<sup>2</sup>ООО «АКРИПОЛ», Саратов, Россия 410059, Россия, г. Саратов  
пл. Советско-Чехословацкой дружбы, 1.

Привитая полимеризация является эффективным методом получения новых систем с заданными свойствами на основе полимерных субстратов [1].

Целью работы являлось изучение влияния доли акрилата натрия (АК-На) и метакрилата натрия (МАК-На) на прививание акриловой (АК) и метакриловой кислот (МАК) на мембрану полиэтилена ПЭВД.

Объектами исследований являлись ПЭВД в виде плёнки толщиной 30–35 мкм, предварительно облучённой источником  $\gamma$ -излучения  $\text{Co}^{60}$ , акриловая и метакриловая кислоты, сульфат железа (II)  $\text{FeSO}_4$ . Оценку степени прививания  $P$ , % и равновесного набухания (40% раствор  $\text{KOH}$ )  $W$ , г/г проводили гравиметрически.

Установлено, что степень прививания  $P$ , % (кривые 1, 3) и равновесное набухание  $W$ , г/г (кривая 2,4) возрастили с увеличением доли акрилата натрия АК-На (рис.1а) и метакрилата натрия МАК-На (рис.1б) в реакционной смеси, что согласуется с данными о увеличении начальной скорости сополимеризации АК-На в водных растворах [2]. Влияние температуры реакционной смеси на степень прививания при содержании АК-На и МАК-На 0.1 мол. доли представлено на рис.1в. Для АК и МАК прививания на ПЭВД не происходило при температуре реакционной смеси менее  $97\pm 1^\circ\text{C}$ .

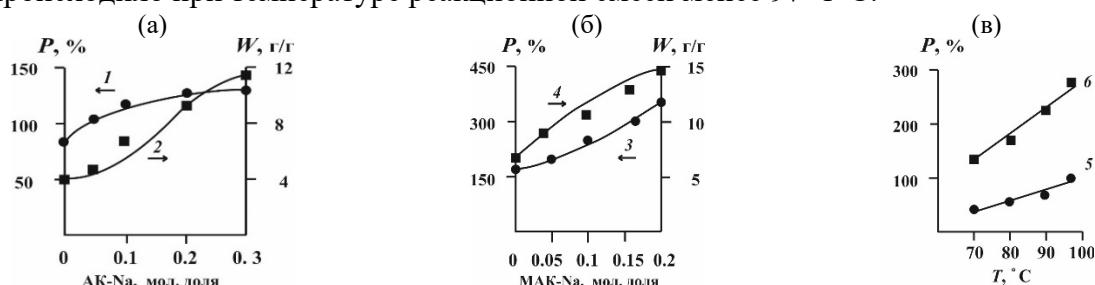


Рис.1а Зависимость степени прививания  $P$ , % для АК (кривая 1) и равновесного набухания  $W$ , г/г пАК-ПЭВД (кривая 2) при  $[\Sigma\text{M}] = \text{const}$ ;  $[\text{AK-На}]/([\text{AK-На}+\text{АК}]) = 0.0-0.3$ ;  $T_0=97\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $t=90$  мин

Рис.1б Зависимость степени прививания  $P$ , % для МАК (кривая 3) и равновесного набухания  $W$ , г/г пМАК-ПЭВД (кривая 4) при  $[\Sigma\text{M}] = \text{const}$ ;  $[\text{МАК-На}]/([\text{МАК-На}+\text{МАК}]) = 0.0-0.2$ ;  $T_0=97\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $t=90$  мин

Рис.1в Влияние температуры р. с. на степень прививания  $P$ , % для АК (кривая 5) и МАК (кривая 6) при мол. доле АК-На и МАК-На 0.1,  $t=90$  мин

Таким образом, показано влияние доли АК-На (МАК-На) на степень прививания АК (МАК), равновесное набухание пАК-ПЭВД (пМАК)-ПЭВД и начальную температуру реакции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Kitaeva N. K., Bannova E. A. *Russ. J. Appl. Chem.*, **2014**, Vol. 87, № 2, 160–166.
2. Куренков В.Ф., Куренков А.В., Лобанов Ф.И. *ВМС*, **2009**, Т. 51, № 8, 1554-1558.



# УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция:

Физико-математическая

## У-54 ПОСТРОЕНИЕ ДВУМЕРНОЙ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ РАЗРЫВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Вьюненко Л.Ф., Цобкалло Е.С.

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия  
191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18  
Viunenko.LF@suitd.ru*

В предыдущих наших работах предложен метод, использующий трехпараметрическое распределение Вейбулла для оценки предельных, не вызывающих разрушения, значений нагрузок и деформаций при растяжении синтетических нитей, который основан не на критических разрывных значениях, а на статистическом анализе значений данных эксперимента. Однако в предложенном методе не учитывалась взаимосвязь разрывных значений нагрузок и деформаций. В настоящей работе на примере синтетических нитей полиамида-6 для изучения физико-механических свойств полимерных материалов использованы инструменты разведочного анализа данных (англ. Exploratory Data Analysis, EDA), под которым понимается предварительное изучение основных свойств массива данных, в том числе результатов измерений характеристик физических свойств материалов, нахождение в них наиболее общих зависимостей для построения математических моделей. Применены следующие инструменты EDA: средства визуализации, изучение вероятностных распределений переменных, построение и анализ корреляционных матриц, кластерный анализ и др. Результаты анализа представлены на рис. 1.

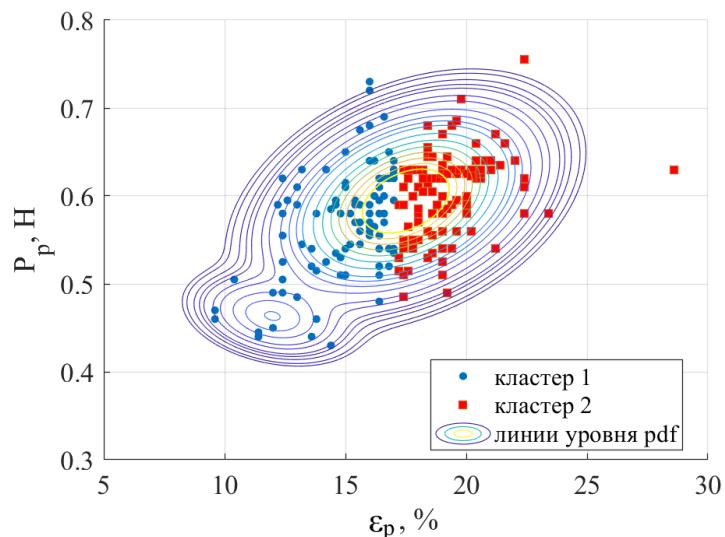


Рис. 1. Разбиение экспериментальных значений разрывных нагрузок  $P_r$  и деформаций  $\varepsilon_p$  на два кластера по методу  $k$ -means и линии уровня функции плотности вероятностей.

На основе результатов EDA полученных в эксперименте значений предложена вероятностная модель разрывных характеристик полимерных синтетических нитей, которая учитывает взаимосвязь значений разрывных усилий и деформаций. Модель может быть построена в виде смеси как двух двумерных нормальных распределений, так и двумерных трехпараметрических распределений Вейбулла, и может быть использована для обоснования выбора оптимальных режимов нагружения изделий из полимерных материалов.

# У-55 ВЫСОКООРИЕНТИРОВАННЫЕ НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ПЛЕНОЧНЫЕ НИТИ И ВОЛОКНА НА ОСНОВЕ НАСЦЕНТНЫХ РЕАКТОРНЫХ ПОРОШКОВ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Лебедев О.В., Голубев Е.К., Тикунова Е.П., Куркин Т.С., Пискарев М.С.,  
Непомнящих В.В., Вороненков А.В., Озерин А.Н.

Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова  
Российской академии наук, Москва, Россия  
117393, Россия, г. Москва, Профсоюзная улица, д. 70  
lebedev@ispmt.ru

Полимерные нанокомпозиты с сегрегированной структурой представляют собой особый класс материалов, обладающих характеристиками, зачастую превосходящими таковые для композитов с равномерным распределением наполнителя. Одним из наиболее интересных примеров композитов с сегрегированной структурой являются композиты на основе насцентных реакторных порошков сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) [1,2]. За счет возможности переработки подобного рода реакторных порошков как растворным [1], так и твердофазным (при температурах ниже температуры плавления СВМПЭ) [2] методами формования, возможно получать материалы характеризующиеся как наиболее равномерным, так и наиболее сегрегированным распределением наполнителя в объеме композита. Дополнительно, проведением ориентационной вытяжки твердофазно переработанных композитных материалов на основе СВМПЭ в условиях однородного сдвига [3], возможно получать высокопрочные (>3 ГПа) пленочные нити, обладающие полным комплексом характеристик СВМПЭ.

В данной работе представлены результаты комплексного исследования структуры и свойств нанокомпозитных материалов на основе насцентных реакторных порошков СВМПЭ и углеродных наночастиц из ряда: одностенные, двустенные, и многостенные нанотрубки, графит, графен, технический углерод, наноалмазная шихта и др. Композитные материалы были сформованы растворным и твердофазными методами и ориентированы до различных кратностей ориентационной вытяжки. Исследованы структура и характеристики полученных волокон и пленочных нитей на основе СВМПЭ в зависимости от большого набора параметров переработки и кратностей ориентационной вытяжки композитов. В частности, были исследованы механические, электрофизические, трибологические, и адгезионные характеристики нанокомпозитов. На основе сформованных высокопрочных электропроводящих пленочных композитных нитей СВМПЭ, уложенных в различной манере, были получены уникальные многомасштабные композиты. Исследовано влияние модифицированного наночастицами связующего на характеристики такого рода композитов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kurkin, T.S., Lebedev O.V., Golubev E.K., Tikunova E.P., Voronenkov A.V., Oleg V. Lebedev, Ozerin A.N. *Journal of Polymer and Composites*, **2024**, 13 (01), 151-165.
2. Lebedev, O.V.; Tikunova, E.P.; Kurkin, T.S.; Golubev, E.K.; Ozerin, A.N. *Polymers*, **2024**, 16, 3423.
3. Kechek'yan, A.S.; Mikhailik, E.S.; Monakhova, K.Z.; Kurkin, T.S.; Gritsenko, O.T.; Beshenko, M.A.; Ozerin, A.N. *Dokl. Chem.* **2013**, 449, 94–97.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 22-13-00359.

**У-56 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
СБОЕУСТОЙЧИВОСТИ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ  
МИКРОСХЕМ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НА РУВЕ ИСТОЧНИКЕ**

Беклемишева А.В., Ефименко Е. В.

*НИЦ Курчатовский институт*

Сбоестойчивость современной микроэлектронной аппаратуры при облучении ставит предел её использований, например, в системах управления аппаратов космического назначения. В исследовании рассматривается результат облучения цифровых микросхем на Рu-Вe источнике со средней энергией, несколько большей, чем в энергетическом спектре нейтронов деления. В случае быстрых нейтронов происходят единичные сбои из-за накопления зарядов на ячейках памяти в результате ионизации, вызванной первично выбитыми атомами (ПВА).

При прохождении нейтрона через микросхему в результате упругого взаимодействия с атомами материала образуются ПВА, которые уже генерируют электронно-дырочные пары, часть из которых заряжают ёмкости характерные для транзистора. В случае, если заряд достаточно большой, то дополнительное напряжение на ёмкости может стать близким к напряжению питания - и это вызывает сбой. Со значительно меньшей вероятностью возникают при облучении отказы, что связано с необходимостью затраты большей энергии для их получения.

Испытания сбоестойчивости различных микросхем широко проводятся в течении последних 20-ти лет. Хорошо известно, что возникающие при этом «мягкие» сбои и «жесткие» сбои (отказы) характеризуются пороговым значением линейной передачи энергии и сечением, при этом для «мягких» сбоев пороговая энергия ниже, а сечение – больше.

Разработана структура, изготовлены и испытаны на радиационную стойкость образцы испытательных микросхем, на основе которых можно создать процессор для цифровой обработки и управления устройством, подверженным облучению высокoenергетичными частицами, в частности для управления системами плазменных ракетных двигателей, для проверки функционирования микросхемы под облучением; исследование работоспособности кристаллов ПЛИС и FPGA под потоком быстрых нейтронов; разработано программное обеспечение для проведения дозиметрических испытаний.

## У-57 СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕГРАДАЦИИ БИОПОЛИМЕРА НА ОСНОВЕ ПОЛИГЛИКОЛЕВОЙ КИСЛОТЫ

Иванов Д.С.<sup>1</sup>, Скирда В.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия Российской 420008, Россия, г. Казань ул. Кремлевская, д. 16а  
ivanovdmitry@kfu@mail.ru

Биополимеры обладают большим потенциалом и широко используются в биомедицинских приложениях благодаря своим свойствам биоразлагаемости и биосовместимости [1]. Наиболее перспективный полимер для создания биосовместимых материалов является полигликолевая кислота (PGA). В тоже время по данным [2,3] создание полимеров на основе полигликолевой кислоты позволяет в значительной степени уменьшить экологическую нагрузку, заменив в ряде отраслей пластиковые изделия из углеводородного сырья. Однако в области влияния внешних факторов, например, УФ-излучение, гидролитических процессов, термобарических условий доступно ограниченное количество исследований [4-6].

В данной работе представлены результаты исследования образцов биополимеров на основе полигликолевой кислоты. Для исследований был применен метод недеструктивного анализа – ядерный магнитный резонанс. В ходе исследований использована импульсная последовательность Solid-echo, предназначенная для изучения твердотельных (кристаллических, стеклющихся и т.п.) компонент высокомолекулярных систем. Показано, что влияние УФ-излучения приводит к деструкции поверхностного слоя полимерного материала на основе PGA. Установлено, что толщина такого слоя составляет не более 100 мкм.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Göktürk E., Erdal H. *Sak. Univ. journ. of sci.*, **2017**, 21, 1237-1244.
2. Dybka-Stępień K. et al. *Polymers*, **2021**, 13, 1-38.
3. Grujić R., Vučadinović D., Savanović D. *Adv. in appl. of indus. biomaterials*, **2017**, 139-160.
4. Boland E.D., Wnek G.E. et. al. *Macromol. Sci. Part A.*, **2001**, 12, 1231-1243.
5. Ju S.P., Huang W.C. et. al. *RSC Adv.*, **2014**, 4, 35862-35867.
6. Schwarz K., Epple M. *Macromol. Rapid Commun.*, **1998**, 19, 613-617.

Данная работа была профинансирована за счет субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FZSM-2023-0016.

## У-58 БАКТЕРИАЛЬНАЯ ЦЕЛЛЮЛОЗА КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ БИОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ

Горшкова Ю.Е.<sup>1,2</sup>, Иванова Л.А.<sup>3</sup>, Копица Г.П.<sup>3</sup>, Смыслов Р.Ю.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт ядерных исследований, 141980, Россия, Дубна,  
ул. Жолио-Кюри, д. 6

<sup>2</sup>Институт физики Казанского федерального университета, 420008, Россия Казань,  
ул. Кремлевская, д. 16а

<sup>3</sup>Петербургский институт ядерной физики Национального исследовательского центра  
“Курчатовский институт”, 188300, Россия, Гатчина, мкр. Орлова роща, д. 1

<sup>4</sup>Филиал Петербургского института ядерной физики Национального  
исследовательского центра «Курчатовский институт» - Институт  
высокомолекулярных соединений, 199004, Россия,  
г. Санкт-Петербург, Большой пр. 31  
[yulia.gorshkova@jinr.ru](mailto:yulia.gorshkova@jinr.ru)

В настоящее время активно разрабатываются новые композитные биоматериалы для регенеративной медицины на основе бактериальной целлюлозы (БЦ). БЦ синтезируется несколькими грамотрицательными штаммами и одним грамположительным штаммом бактерий на границе раздела воздух-вода. Это механически прочный гидрогель, построенный из нанофибриллярной сети целлюлозных цепей, образующих кристаллические (до 90% об.) и аморфные структурные фрагменты.

Выявлено, что ферментативный гидролиз целлобиогидролазой существенно влияет на кристаллическую и надмолекулярную структуру нативной БЦ, в которой 3D полимерная сетка состоит из нанолент толщиной 8 нм, шириной 50 нм с развитой удельной поверхностью  $260 \text{ м}^2\text{г}^{-1}$ . Биодеградация в течение 24 ч приводит к десятипроцентному уменьшению размера кристаллов БЦ, двукратному увеличению размеров нанолент и удельной поверхности до  $100 \text{ м}^2\text{г}^{-1}$ . После ферментативной обработки наблюдается «разрыхление» микроструктуры БЦ, образование и накопление субмикронных частиц в ячейках 3D полимерной сети. Эксперименты *in vitro* и *in vivo* не выявили цитотоксического эффекта при добавлении фермента к повязкам БЦ и показали положительное влияние на лечение обширных ожогов III степени, значительно ускорив заживление ран у крыс. Полученные результаты могут служить основой для дальнейшей разработки эффективных биоразлагаемых повязок для заживления ран [1].

Синтезированы новые композитные гидрогели (КГ) на основе БЦ, продуцируемой штаммом *G. xylinus*, и поли-1-винил-1,2,4-триазола (ПВТ), допированного ортофосфорной кислотой (ОФК) или стабилизированные  $\text{Cu}^{2+}$ . Мезоструктура композитных гидрогелей изучена от 1.6 нм до 2.5 мкм методами малоуглового и сверхмалогоуглового нейтронного рассеяния. Показано, что структура 3D полимерной сетки БЦ при добавлении ПВТ, допированного ОФК, не изменяется (расстояние между нанофибриллами  $\approx 510 \text{ нм}$ ) [2]. Для системы БЦ-ПВТ-ОФК выявлены два иерархических уровня [2], а для композита БЦ-ПВТ- $\text{Cu}^{2+}$  три [3]. Изучение структурообразования в КГ имеет важное значение при создании полимерных материалов с антибактериальными или противогрибковыми свойствами для регенеративной медицины.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ivanova L.A., Ustinovich K.B., et al. *Materials*, **2020**, 13, 2087.
2. Smyslov R.Yu., Emel'yanov A.I., et al. *Biomimetics*, **2023**, 8(7), 520.
3. Smyslov R.Yu., Kopitsa G.P., et al. *Smart Materials in Medicine*, **2022**, 3, 382-389.

## У-59 ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО СШИВАТЕЛЯ И МЕЗОГЕННЫХ ГРУПП НА НАБУХАНИЕ И КОЛЛАПС ПОЛИМЕРНЫХ ГЕЛЕЙ

Ларин Д. Е.<sup>1</sup>, Шибаев А.В.<sup>2</sup>, Емельяненко А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н.Несмеянова Российской академии наук, Москва, Россия

119334, г. Москва, ул. Вавилова, д. 28, стр. 1.

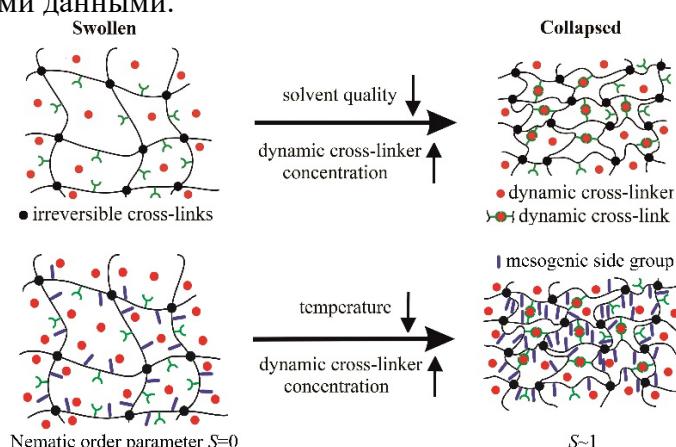
<sup>2</sup>BCMaterials, Basque Center for Materials, Applications and Nanostructures, UPV/EHU Science Park, Leioa, Spain

48940, Leioa, Spain, Pl.3 Parque Científico UPV/EHU, Barrio Sarriena s/n

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия  
19991, Россия, г. Москва ул. Ленинские Горы, д. 1

[larin@polly.phys.msu.ru](mailto:larin@polly.phys.msu.ru)

Полимерные сетки (гели), содержащие лабильные сшивки и мезогенные группы, являются динамическими функциональными материалами и могут быть применены в биомедицине, мягкой робототехнике, электронной промышленности и т. д. благодаря тонкой настройке физических свойств в ответ на изменение внешних условий и способностям к самовосстановлению и упорядочиванию. Во-первых, с помощью теории Флори исследован коллапс полимерных сеток с необратимыми сшивками в присутствии динамического сшивателя. При не очень плохом качестве растворителя (вблизи тетаточки) степень набухания геля, содержащего необратимые и динамические сшивки, меньше, чем для геля только с необратимыми сшивками, тогда как при плохом или хорошем качестве растворителя размеры этих гелей близки друг к другу. Во-вторых, с помощью теории Майера–Заупе изучались полимерные сетки, содержащие необратимые и динамические сшивки, а также мезогенные боковые группы. С понижением температуры происходит непрерывный переход из набухшего в сколлапсированное состояние, затем степень набухания скачкообразно уменьшается, а нематический параметр порядка резко увеличивается от нуля до значения, близкого к единице. Сжатие геля может быть достигнуто также за счет увеличения концентрации динамического сшивателя. Полученные теоретические результаты [1] согласуются с экспериментальными данными.



### ЛИТЕРАТУРА

1. Larin D.E., Shibaev A.V., Liu Ch.-Y., Emelyanenko A.V. *Giant*, 2024, 20, 100341.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 22-73-00323.

## У-60 САМОДИФФУЗИЯ МАКРОМОЛЕКУЛ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ В БИНАРНЫХ РАСПЛАВАХ ПРИ РАЗЛИЧНОМ СООТНОШЕНИИ ДОЛЕЙ КОМПОНЕНТ

Александров А.С.<sup>1</sup>, Скирда В.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Казанский (приволжский) федеральный университет, Казань, Россия  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18.  
artem.s.alexandrov@yandex.ru*

Ранее в ряде работ различными авторами [1-3] показано наличие зависимости формы регистрируемых диффузионных затухания от времени диффузии для расплавов полиэтиленгликолей (ПЭГ) с молекулярными массами выше критической ( $M_k \approx 1$  кДа). Такое поведение явно свидетельствует о наличие в расплаве определенных стохастических молекулярных групп или кластеров и в ходе эксперимента за время диффузии макромолекулы могут покидать кластеры или образовывать новые [1]. Модель рептации, принятая на сегодняшний день для описания динамики зацепленных полимерных систем, в своих основных предположениях исключает образование подобных кластеров макромолекул, что должно существенно влиять достоверность описания. Наиболее явно такие кластеры наблюдается для монодисперсных ПЭГ молекулярных масс 10-20 кДа и для бинарных расплавов ПЭГ, содержащих низкомолекулярную (2-4 кДа) и высокомолекулярную компоненты (10-40 кДа).

В данной работе методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и импульсным градиентом магнитного поля (ИГМП) исследованы бинарные расплавы «ПЭГ 4 кДа + ПЭГ 40 кДа» с различными соотношением долей компонент (массовая доля высокомолекулярной компоненты изменялась от 0.14-0.75). Во всех образцах наблюдается уменьшение доли компоненты с наименьшей подвижностью при увеличении времени диффузии с сохранением среднего коэффициента самодиффузии, т.е. во всех образцах наблюдается образование стохастических кластеров и молекулярный обмен между кластерами различного состава. Доля кластеров в расплаве, полученная при экстраполяции на нулевое время диффузии, всегда меньше доли высокомолекулярной компоненты (ПЭГ 40 кДа) и с ростом доли высокомолекулярной компоненты доля кластеров пропорционально растет от 0.12 до 0.3. Время жизни кластеров также монотонно, однако, нелинейно увеличивается с ростом доли высокомолекулярной компоненты от 1.4 до 5 с. Таким образом, основой подобных кластеров по всей видимости выступает высокомолекулярная компонента бинарного расплава. Данное исследование совместно с другими уже проведенными и будущими позволит построить более достоверную модель динамики полимерных систем в расплаве.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Маклаков А.И., Скирда В.Д., Фаткуллин Н.Ф. *Изд-во КГУ*, **1987**, 224 с.
2. Aslanyan I.Y., Skirda V.D., Zaripov A.M. *Polym. Adv. Tech.*, **1999**, *10*, 157-163
3. Скирда В.Д., Маклаков А.И., Пименов Г.Г., Фаткуллин Н.Ф., Севрюгин В.А., Двояшкин Н.К., Филиппов А.В., Васильев Г.И. *Изд-во АГНИ*, **2021**, 150 с.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности FZSM-2023-0016.

# У-61 МИКРОВОЛНОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕКСТУРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГЕКСАФЕРРИТА Y-ТИПА И МУНТ

Карева К.В., Вагнер Д.В., Журавлев В.А.

*Томский государственный университет, Томск, Россия  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, д. 36  
katkareva1@gmail.com*

Вследствие непрерывной работы техники возникает побочное электромагнитное излучение (ПЭМИ). Ферриты с гексагональной структурой активно применяются для поглощения ПЭМИ в сверхвысокочастотном диапазоне. Гексаферриты Y-типа являются планарными материалами и поддаются обработке магнитным полем, создавая магнитную текстуру в материале. Ферриты являются диэлектриками, и поглощение волн происходит ввиду возникновения только магнитных потерь. Для создания диэлектрических потерь возможна разработка композиционного материала на основе феррита и углеродсодержащих структур.

В данной работе рассматриваются композиты на основе гексаферрита Y-типа  $\text{Ba}_2\text{NiCuFe}_{12}\text{O}_{22}$  (NiCu-Y) и многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ). Гексаферрит NiCu-Y был синтезирован по двухстадийной керамической технологии. МУНТ были изготовлены в Институте катализа имени Г. К. Борескова СО РАН. Содержание наполнителей в композитах составляло: 75 мас. % NiCu-Y, 0–0,3 мас. % МУНТ. Эпоксидный клей ЭД (НПК «Астат») был выбран в качестве матрицы. Композиты каждого состава разделялись на две партии, одна из которых проходила обработку во вращающемся магнитном поле напряженностью 2 кЭ в течение 2 часов.

Был проведен рентгеноструктурный анализ текстурированного и нетекстурированного композитов. Дифрактограммы подтвердили высокое содержание целевой Y-фазы феррита – более 90 об. %. Дополнительно наблюдалось перераспределение интенсивности пиков отражения для текстурированных композитов. По дифрактограммам была оценена степень текстуры по методу [1], которая составила 73 % для композита, не содержащего МУНТ в составе, и 60 % – для композита, содержащего 0,1 мас. % МУНТ.

Спектры диэлектрической и магнитной проницаемостей композитов были рассчитаны на основе измеренных S-параметров по методу [2] в частотном диапазоне от 10 МГц до 18 ГГц. Спектры композитов с МУНТ в составе показали снижение влияния магнитной обработки композитов, подтверждая результаты рентгеноструктурного анализа.

Эффективность поглащающих свойств композитов толщиной 3 мм оценивалась по спектрам коэффициента потерь на отражение  $R_L$ . Наибольшей полосой эффективного поглощения (< минус 10 дБ) обладал текстурированный композит с 0,1 мас. % МУНТ – 5,81 ГГц.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Lotgering F. K. *J. Inorg. Nucl. Chem.* **1959**, 9, 113-123.
2. Chalapat K., Sarvala K., Li J. Paraoanu G.S. *J. Microw. Theory Tech.*, **2009**, 57, 2257-2267.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-79-00048.

**У-62 ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Хайрутдинов В.А.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет*

## У-63 ОСОБЕННОСТИ ТРАНСЛЯЦИОННОЙ ПОДВИЖНОСТИ И НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ КАППА-КАЗЕИНА

Мельникова Д.Л.<sup>1</sup>, Скирда В.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Казанский федеральный университет, Казань, Россия  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18.  
melndaria@mail.ru*

Фосфопротеин каппа-казеин представляет собой модельную систему для изучения свойств внутренне неупорядоченных белков, которые, как известно [1], играют немалую роль при нейродегенеративных заболеваниях. Гель – это образование трехмерной структуры из сшитых между собой каким-либо образом макромолекул. В качестве сшивок могут выступать как физические, так и химические сшивки. Первые, как правило, обратимы при изменении, например, таких условий проведения эксперимента как температура, концентрация полимера в растворе и др. Вторые – необратимы и могут выступать в качестве хорошего модельного объекта для установления характерных признаков геля с точки зрения эксперимента ЯМР с импульсным градиентом магнитного поля [2].

Трехмерная сетка представляет собой аналог макромолекулы с бесконечной молекулярной массой. Поэтому интерес представляет трансляционная подвижность не всей макромолекулы, а ее элементов. Ясно, что она сильно отличается от динамики свободно диффундирующими частицы и может быть охарактеризована некоторым эффективным, зависящим от времени диффузии  $t_d$ , коэффициентом самодиффузии. Для полимерных сеток наибольший интерес представляют исследования в режиме больших  $t_d$ , когда величина среднеквадратичного смещения связана непосредственно с параметрами сетки: молекулярной массой цепей между сшивками, их конформацией и функциональностью сшивок.

В результате исследования трансляционной подвижности молекул каппа-казеина методом ЯМР с импульсным градиентом магнитного поля установлено, что в концентрированных растворах каппа-казеина порядка 40% молекул белка могут быть организованы в надмолекулярную структуру, удовлетворяющую признакам геля. Отличительной особенностью сформированной надмолекулярной структуры, является ее лабильный характер. Так же установлен факт динамического равновесия между свободными молекулами белка и молекулами, входящими в состав сетки геля.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Uversky V.N. *Frontiers in aging neuroscience*, **2015**, 7, 1-6.
2. Skirda V.D., Sundukov V.I., Maklakov A.I., Zgadzai O.E., Gafurov I.R., Vasiljev G.I. *Polymer*, **1988**, 29, 1294-1300.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности FZSM-2023-0016.

## У-64 ТЕРМОДИНАМИКА И МОРФОЛОГИЯ ДНК-КИСИНГ-ЛУПОВ: ОСНОВЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ НАНОСТРУКТУР И СЕНСОРОВ

Фатихова А.В.<sup>1</sup>, Буглаков А.И.<sup>1</sup>, Фескин П.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва ул. Ленинские Горы, д. 1  
fatikhova.av20@physics.msu.ru

Кисинг-лупы (kissing loops, KL) [1] играют ключевую роль в клеточных процессах, обеспечивая специфическое взаимодействие нуклеотидных цепей. Они предотвращают нежелательное связывание с другими молекулами, направляя соединение строго с комплементарной цепью, что делает их важными для моделирования клеточных процессов и разработки молекулярных переключателей и сенсорных систем. Низкая стоимость синтеза и высокая стабильность ДНК-комплексов делают их перспективными для биотехнологических приложений. Исследования показали, что связывание в KL происходит через ограниченный набор нуклеотидов, а их положение определяет пространственную ориентацию шпилек. Варьирование температуры, концентрации соли и длины петель выявило два типа переходов: спад KL с образованием изолированных шпилек и последующим формированием дуплекса; прямой переход без разрыва межпетлевых связей.

Морфология и функциональность KL зависят от распределения нуклеотидов вдоль цепи. Чередующиеся, блочные и стохастические последовательности обладают различными термодинамическими свойствами. Например, уменьшение размера комплементарных блоков снижает температуру плавления, а стохастические последовательности демонстрируют более узкую переходную область. С помощью крупнозернистой молекулярной динамики (oxDNA) изучены морфологии KL, показавшие, что переход между конфигурациями KL и дуплексом может быть индуцирован термическим отжигом, но прямой переход кинетически заблокирован. Полученные результаты были подтверждены экспериментально.

Исследования открывают новые возможности в молекулярной инженерии, включая создание программируемых наноструктур, сенсоров и систем доставки лекарств, а потенциальная интеграция машинного обучения ускорит разработку высокоточных диагностических платформ и умных материалов. Изучение кисинг-лупов углубляет понимание термодинамики и морфологии ДНК-комплексов, что способствует развитию инновационных биотехнологий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Barth A., Kobbe D., Focke M. *Nucleic Acids Research*, **2016**, 44, 1502-1513.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС» (грант № 24-2-1-74-1). Работа поддержана в рамках Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Молекулярные технологии живых систем и синтетическая биология» (соглашение №23-Ш04-13).

**У-65 АНАЛИЗ МЕЖСЛОЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОНОСЛОЕВ  
ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПРЕПРЕГА НА ОСНОВЕ СТЕКЛЯННЫХ ВОЛОКОН  
В ФОРМООБРАЗОВАНИИ ОБОЛОЧЕК МЕТОДОМ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ВЫКЛАДКИ-НАМОТКИ**

Соколов Г.С.<sup>1</sup>, Гареев А.Р.<sup>1</sup>, Диесперов С.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Блок по науке и инновациям, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита «НИИграфит», 111524, Россия, Москва, ул. Электродная, д.2 стр. 1*

Создание тонкостенных оболочек для корпусных изделий, а также несущих обечаек или армирующих слоёв сосудов высокого давления является актуальным направлением в области изготовления полимерных композитных изделий. Традиционная технология мокрой намотки с использованием реактопластичного связующего имеет ряд недостатков, связанных с технологическими особенностями хранения смолы, например временем жизни и вытекающих из него аспектов.

Использование термопластичных композиционных материалов (ТКМ) нивелирует данные проблемы[1-2]. Одним из методов формообразования изделий из них является автоматизированная выкладка-намотка с лазерным наплавлением монослоев термопластичного препрэга, выполненного в форме ленты. Данный способ позволяет сократить продолжительность изготовления и по сравнению с иными технологиями для ТКМ, такими как прессование, без потерь в размеростабильности материала.

Ключевым фактором в проектировании управляющих программ для оборудования, осуществляющего данный метод является соответствие технологических параметров, таких как линейная скорость выкладки, выходная мощность лазера и степень черноты материала для обеспечения высоких значений физико-механических характеристик, одной из которых является межслоевая адгезия, влияющая на прочность готового изделия [3].

В данной работе проведено исследование межслоевой адгезии в образцах, изготовленных методом АВН на плоскости и вращающихся оснастках для решения оптимизационной задачи подбора технологических параметров по достижению лимитирующего значения предела прочности при межслоевом сдвиге. Решение включает моделирование ячейки элементарного представительного объёма (ЭПО) с наиболее встречающимися микродефектами (неоднородная пропитка полимером, агломераты филаментов и т.п.) для установления рабочего диапазона параметров выкладки и мощности нагревания. Модель верифицируется экспериментальными данными.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Карпович О. И., Наркевич А. Л., Дубина А. В.. *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*, **2014**, 4, 71-73.
2. Минькова А.А., Бояршинов М.В., Гринев М.А., Зимнюков И.А., Попова А.Г.. *Всероссийская научно-техническая конференция «Термопластичные материалы и функциональные покрытия»*, **2019**, Т35, 44-54.
3. Сорокин А.Е., Пыхтин А.А., Ларионов С.А., Кондрашов С.В., Кирин Б.С.. *Всероссийская научно-техническая конференция «Полимерные композиционные материалы в аэрокосмической отрасли»*, **2019**, П50, 76-98.



# СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция: Химическая

## С-1 ПОЛИУРЕТАНЫ – СОВРЕМЕННЫЕ МАТРИЦЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТОВ МЕТОДОМ ВАКУУМНОЙ ИНФУЗИИ

Акулиничева А.А.<sup>1</sup>, Яковлев Ю.Ю.<sup>2</sup>, Безруков Н.П.<sup>2</sup>, Макарова В.В.<sup>2</sup>, Яворский Ю.И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ООО “НПП “Макромер” им. В.С. Лебедева”, Владимир, Россия  
600016, Россия, г. Владимир, ул. Большая Нижегородская, д. 77.

*alina.akulinicheva@macromer.ru*

<sup>2</sup>Институт нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиева РАН, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, 29

<sup>3</sup>РГУ им. А.Н. Косыгина, Москва, Россия  
119071, Россия, г. Москва, ул. Малая Калужская, д. 1.

Традиционно полиуретаны (ПУ) используются в качестве пенопластов, клеев, герметиков и т.д. В последнее время появились публикации о возможности применения ПУ в качестве связующих для композитов, получаемых методом вакуумной инфузии. Обычно для этого метода используются эпоксидные, полизифирные и другие матрицы. Интерес к ПУ-матрицам обусловлен сочетанием у них хороших прочностных, упруго-эластических и ударостойких показателей, которые не в полной мере обеспечиваются указанными выше связующими. Непосредственно использование ПУ-связующих, состоящих из взаимодействующих полиольного (А) и изоцианатного (В) компонентов, представляется проблематичным из-за протекания побочных реакций, в частности, с влагой, содержащейся на армирующем наполнителе, оснастке и в окружающей среде.

Целью данной работы являлось как создание рецептур ПУ-связующих, так и разработка технологий, обеспечивающей получение прочных и ударостойких угле- и стеклопластиков. Основной задачей был подбор оптимального сочетания ди- и трифункциональных олигоэфиров в компоненте А и «осушителя» (компонента С), а также возможность применения одного из видов методом инфузии – термовакуумной инфузии. Рецептуры ПУ-связующих разработаны в ООО «НПП «Макромер» им. В.С. Лебедева». Разработка технологии получения композитов и определение их свойств проводились в Институте нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиева РАН и РГУ им. А.Н. Косыгина.

В результате выполнения работы были разработаны оптимальные рецептуры компонента А, установлена взаимосвязь между качественными показателями компонента А (вязкость и гидроксильное число) и прочностными свойствами отверженных ПУ-пленок и композитов, произведен подбор наиболее эффективного осушителя. При помощи метода лазерной микроИФР выявлен характер взаимодействия компонентов А, В и С у полиуретанового связующего. Также было проведено сравнительное исследование смачивания углеродных и стеклянных тканей коммерческими эпоксидными и разработанными ПУ-связующими методом определения краевого угла смачивания. Для получения угле- и стеклопластиков на основе разработанных связующих была изготовлена лабораторная термовакуумная инфузионная установка и отработана технология получения композитов. В результате были определены физико-механические показатели этих образцов (ударная вязкость, механические свойства при изгибе и растяжении). Установлено, что углепластики, полученные на основе ПУ-связующих, обладают лучшими ударостойкими показателями, чем у эпоксидсодержащих образцов, кроме того прочность при изгибе опытных ПУ-композитов выше 1100 МПа, что оказывается намного выше значений, полученных при использовании коммерческих эпоксидных связующих (700 МПа).

## С-2 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГРАДИЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АБС-ПЛАСТИКА, ПОЛУЧАЕМЫЕ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

Алиалшами Я., Балькаев Д.А., Амиров Р.Р.

*Казанский федеральный университет, Казань, Россия  
420008, Россия, г. Казань ул. Кремлевская, д. 18  
yahiaalsami1995@gmail.com*

Функциональные градиентные материалы являются передовыми инновациями в области материаловедения, представляя собой значительный прогресс в дизайне и применении инженерных материалов. Эти материалы характеризуются непрерывным градиентом физических и химических свойств, что позволяет адаптировать их к разнообразным требованиям производительности в различных средах. Способность интегрировать множество компонентов с использованием аддитивных технологий усиливает прочность и долговечность материалов, что делает их идеальными для применения в областях, требующих высокой устойчивости к ударам, повышенных температур и электрических или магнитных свойств, таких как робототехника, авиация, космос и медицина.

Цель данного исследования заключается в изучении технологических свойств производства градиентных материалов, которые сочетают в себе высокую ударную прочность, жесткость и магнитные свойства, используя акрилонитрил-бутадиен-стирольный сополимер (АБС) с различными добавками в разных пропорциях, такими как короткие углеродные волокна и наночастицы. Образцы были изготовлены с помощью технологии 3D-печати, где производились нити с различными пропорциями добавок путем экструзии полимеров с добавлением определенных количеств этих материалов. Были напечатаны армированные и магнитные материалы в различных пропорциях, а также чистый АБС и градиентный АБС, где градиент был однородным, так что в центре находился чистый АБС, а градиент начинался в обоих направлениях от различных материалов в различных пропорциях.

Проведены термические и механические испытания на удар и динамический механический анализ для определения модуля упругости каждого материала, а результаты испытаний были сопоставлены друг с другом и с чистыми и градиентными материалами. Эксперименты показали, что добавление коротких углеродных волокон в АБС значительно улучшило его механические свойства, такие как жесткость и модуль упругости, хотя эти изменения привели к снижению ударной прочности материала. В то же время, добавление магнитных компонентов увеличивало температуру плавления и стеклования АБС, придавая материалу хорошие магнитные свойства. Более того, градиентные материалы продемонстрировали механические свойства, близкие к идеальным армированным материалам, несмотря на наличие незаполненного слоя в центре структуры. Это связано с тем, что эластичный слой в центре материала равномерно распределяет напряжения, предотвращая их концентрацию в определенных точках, что в свою очередь обеспечивает более высокую ударную прочность и лучшие демпфирующие свойства по сравнению с полностью армированными моделями. Таким образом, полученные результаты подтверждают успешную возможность применения этой модели в различных областях машиностроения, где механическая прочность и устойчивость к ударам имеют жизненно важное значение, например, при производстве структурных элементов для автомобильной, авиационной и медицинской промышленности, а также электротехники.

## С-3 ВЫБОР СОСТАВОВ ФОРМОВОЧНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛОВОЛОКОННЫХ ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРИМИДА

Гришков О.Л.<sup>1</sup>, Матвеев Д.Н.<sup>1</sup>, Борисов И.Л.<sup>1</sup>, Анохина Т.С.<sup>1</sup>, Баженов С.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза имени А.В. Топчева, Москва, Россия

119991, ул. Ленинский проспект 29 стр. 4

sbazhenov@ips.ac.ru

Производство аммиака является одним из основных крупнотоннажных химических процессов в мире. Технология синтеза аммиака из смеси водорода с азотом включает процесс мембранный рекуперации водорода из продувочных газов, что повышает ее эффективность [1]. Извлечение водорода с применением газоразделительных мембран отличается: 1) компактными размерами разделительного оборудования благодаря плотной упаковке мембран в аппаратах и отсутствию движущихся деталей; 2) простотой монтажа и минимальными затратами на обслуживание; 3) высокой эффективностью разделения в отсутствии фазовых переходов и без введения дополнительных реагентов [2].

Полиэфиримиды (ПЭИ), содержащие ароматические эфирные связи, обладают хорошей термической и химической устойчивостью, хорошей растворимостью в органических растворителях, сравнительно низкой температурой стеклования и простотой изготовления мембран на их основе фазоинверсионным методом [3]. Газоразделительные мембранные из ПЭИ применяются для очистки сбросных газовых потоков, в нефтехимической промышленности, в том числе в процессах выделения и очистки водорода в производстве аммиака [4].

В работе исследованы образцы полимеров ПЭИ торговых марок Ultem, Siltem, Extem. Произведена оценка растворимости данных полимеров в различных растворителях. Для получения зависимостей вязкости растворов полимеров от концентраций готовили растворы в N-метилпирролидоне (НМП). Например, вязкость Siltem 25% в НМП составила 2350 мПа·с, а у Siltem 30% в НМП – 6740 мПа·с. Скорость осаждения водой составила для Ultem – 5,69 мкм/с, Siltem – 7,31 мкм/с, Extem – 4,8 мкм/с. Исследованы также растворы ПЭИ в НМП с добавлением осадителей в различных концентрациях. Для Siltem 30% в НМП с добавлением 21,5% бутанола вязкость составила 142550 мПа·с, а с 20,5% бутанола – 75990 мПа·с. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования таких растворов для получения половолоконных мембран на основе ПЭИ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Садретдинов, И. Ф., Васильева, С. В. *Совершенствование технологии производства аммиака // Булатовские чтения – 2021*, 2. С. 98-100.
2. Pandey, P., Chauhan, R. S. *Membranes for gas separation. Progress in Polymer Science*, 26(60) – 2001, 853–893.
3. Alent'ev, A. YU., Yampol'skij, YU. P., Rusanov, A. L., Lihachev, D. YU., Kazakova, G. V., Komarova, L. G., Prigozhina, M. P. *Transportnye svojstva poliefirimidov // Vysokomolekulyarnye soedine-niya. Seriya A*, 45(9) – 2003, P. 1566-1573.
4. Sanaeepur, H., Amooghin, A. E., Bandehali, S., Moghadassi, A., Matsuura, T., Van der Bruggen, B. *Polyimides in membrane gas separation: Monomer's molecular design and structural engineering // Progress in Polymer Science – 2019*, 91. P. 80-125.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-49-02058, <https://rscf.ru/project/24-49-02058/>.

## С-4 ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГУБЧАТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КАРКАСОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТКАНЕИНЖЕНЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Базылева К.Ю.<sup>1</sup>, Малахов С.Н.<sup>1</sup>, Григорьев Т.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия  
123182, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1.  
bazyleva.ki18@physics.msu.ru*

В настоящее время тканевая инженерия и регенеративная медицина являются активно развивающимися направлениями современной медицины. Одной из основных задач данной области является создания аналога внеклеточного матрикса, который должен имитировать структуру и физико-химические свойства нативной ткани [1]. Современные исследователи используют несколько подходов для формирования таких каркасов. Множество работы в научном сообществе посвящено созданию нетканых или волокнистых материалов, которые демонстрируют достаточную прочность и эластичность. Однако в силу технологических ограничений в создании нетканых материалов с нужной структурой исследователи также уделяют внимание и другому типу материалов – губчатые структуры, которые тоже имеют свои особенности. Однако, стоит отметить, что, например, сердце, хрящи, кости и другие ткани организма человека имеют комбинированную губчато-волокнистую структуру. Таким образом, для создания более нативоподобного каркаса, имитирующего внеклеточный матрикс, требуется разработать новый композитный материал [2]. Данная работа посвящена первому этапу создания такого матрикса, а именно разработке методики формирования губчатого наполнителя композитного материала с заданной морфологией.

Для создания губчатого наполнителя использовались системы из трех растворителей: 1) 2% раствор хитозана (43040 ChitoClear, молекулярная масса 400 кДа) в 2% водном растворе уксусной кислоты (ООО «Компонент-Реактив»); 2) 2% раствор диацетата целлюлозы (ДАЦ, Sigma Aldrich) в диметилсульфоксиде (ДМСО, хч, ООО «Компонент-Реактив»); 3) 2% раствор ДАЦ в 1,4-диоксане (ООО «Компонент-Реактив»). Полученные растворы замораживали однонаправленно при разных температурных условиях. Для изучения характеристик кристаллообразования зависимость температуры от времени фиксировали с помощью сенсора Termodat-1,3М. В работе также исследовали изменение коэффициента светопропускания полимерного раствора в процессе охлаждения с использованием спектрометра Ocean Optics. После все замороженные материалы лиофилизировали на установке Martin Christ Alpha 2-4LSC installation в течении 72 ч при глубине вакуума 0,250 мбар.

Исследование морфологии образцов проводили при помощи растрового электронного микроскопа Phenom XL (ThermoFisher Scientific, США).

В результате работы были исследованы основные температурные характеристики полимерных растворов в зависимости от условий заморозки и растворителя и морфологические особенности получаемых каркасов. Также были получены первые опытные образцы композитного матрикса.

### ЛИТЕРАТУРА

1. O'Brien, F. J., Harley, B. A., Yannas, I. V., Gibson, L. J. *Biomaterials*, **2005**, 26(4), 433-441.
2. Lukanina, K. I., Grigoriev, T. E., Krasheninnikov, S. V., Mamagulashvili, V. G., Kamyshinsky, R. A., Chvalun, S. N. *Carbohydrate Polymers*, **2018**, 191, 119-126.

Работа выполнена при поддержки государственного задания НИЦ «Курчатовский институт». Авторы благодарят ресурсный центр (РЦ) «Оптика» за исследование морфологии образцов.

## С-5 ОЦЕНКА ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ И СТАБИЛЬНОСТИ ФОТОАКТИВНЫХ КОМПОЗИТОВ $\text{Fe}_3\text{O}_4/\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3@\text{Fe-MOF}$ ДЛЯ РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

Сидоров В.Л.<sup>1</sup>, Баймуратова Р.К.<sup>1</sup>, Джардимилиева Г.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, Черноголовка, Россия  
142432, Россия, г. Черноголовка, пр. академика Н.Н. Семенова, д. 1  
bobik\_132@mail.ru

Органические загрязнители, попадающие в водоемы, становятся все более серьезной угрозой для окружающей среды и человека. Эффективное удаление органических загрязнителей может быть реализовано посредством их фотокаталитического разложения. Перспективными фотокатализаторами считаются композиты на основе железо-содержащих металл-органических каркасов (Fe-MOFs), способных проявлять активность при поглощении видимой части спектра солнечного излучения вследствие меньшей ширины запрещенной зоны (1,7-2,5 эВ), чем у других распространенных полупроводников, таких как  $\text{TiO}_2$  (3,2 эВ) [1]. В связи с этим, были синтезированы, охарактеризованы (элементный анализ, ИК, РФА, ТГА, СЭМ, вибрационная магнитометрия, термогравиметрический анализ, низкотемпературная сорбция азота) и испытаны в качестве фотокатализаторов для разложения модельного красителя «конго красный» пористые магнитоуправляемые композиты, содержащие в структуре железооксидные магнитные частицы ( $\text{Fe}_3\text{O}_4/\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) и металл-органические каркасы (Fe-MOF). Также было показано, что в сильнощелочной (0,1М КОН) и сильнокислой (0,1М HCl) средах Fe-MOF практически полностью разрушался, а при слабокислой среде (0,015М  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) и добавлении  $\text{H}_2\text{O}_2$  и/или UV Fe-MOF частично разлагался с высвобождением ионов двухвалентного и трехвалентного железа. Предполагается, что образование активных форм кислорода для разложения органических загрязнителей протекает как гетерогенно на активных центрах Fe-MOF, так и гомогенно за счет присутствия в растворе высвобожденных ионов двухвалентного железа. Определенная методом Тауца оптическая ширина запрещенной зоны для композитов  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3@\text{MIL-88b(Fe)}$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3@\text{NH}_2\text{-MIL-88b(Fe)}$  составила 1,8 эВ (Рисунок 1). При этом полученное для композита  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3@\text{MIL-88b(Fe)}$  значение оптической ширины запрещенной зоны оказалось меньше, чем для чистого MIL-88b(Fe) (2,5 эВ), что указывает на перспективность разработки композитных фотокатализаторов для поглощения видимого света.

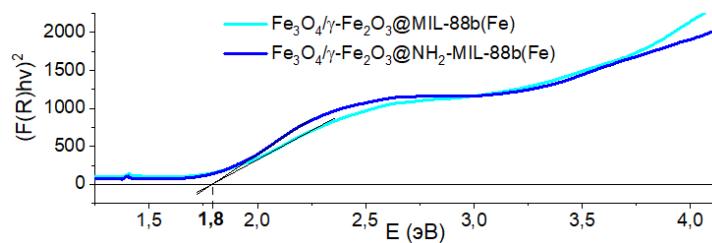


Рисунок 1. Измерение ширины запрещенной зоны композитов  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3@\text{Fe-MOF}$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. Mori R. *Mater. Renew. Sustain. Energy.*, **2024**, 13, 109-132.

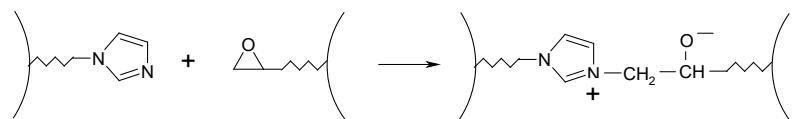
Работа выполнена по теме государственных заданий № гос. Регистрации № 124013000757-0 и 124013000722-8.

## С-6 РЕАКЦИОННОЕ СМЕШЕНИЕ ОКСИРАН- И ИМИДАЗОЛСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРОВ, КАК СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СТИМУЛ-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ

Балаховцев И.Д., Кижняев В.Н., Покатилов Ф.А.

*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия  
664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, д. 1  
kizhnyaev@chem.isu.ru*

Имидазол и его производные служат отвердителями эпоксидных смол при получении конструкционных и композиционных материалов различного назначения. Однако реакцию между оксирановыми и имидазольными циклами можно использовать для создания функциональных гидрогелевых материалов. Если указанные гетероциклы ввести в качестве «якорных» функциональных групп в структуры карбоцепных полимеров, то взаимодействие между оксирановыми и имидазольными циклами



будет способствовать сшиванию разнородных макромолекул в единую пространственную сетку. Если при этом хотя бы один из полимерных реагентов будет водорастворимым полимером, то образующиеся сетчатые продукты также будут обладать термодинамическим сродством к воде и способностью к образованию гидрогелей. Рассмотрена возможность использования процесса реакционного смешения оксирансодержащих полимеров – поли-*N*-винилпирролидона (ПВПД(ВО)) и поли-*N*-винилкапролактама (ПВКЛ(ВО)), содержащих в структуре небольшое количество распределенных случайным образом звеньев винилглицидилового эфира этиленгликоля (ВО) с поли-*N*-венилимидацолом (ПВИ) для получения стимул-чувствительных гидрогелей.

Процесс реакционного смешения ПВПД(ВО) или ПВКЛ(ВО) с ПВИ с формированием пространственной сетки с максимальной скоростью протекает в водной среде в диапазоне температур 25–80 °C для первой системы и при температурах не выше 30 °C для системы с ПВКЛ(ВО). Таким образом, продуктом реакции между полимерными реагентами в водной среде является непосредственно гидрогель. Ускорению образования пространственной сетки как для реакций с участием ПВПД(ВО), так и ПВКЛ(ВО), способствует возрастание молекулярной массы ПВИ и соблюдение массовой эквивалентности полимерных реагентов. Процесс реакционного смешения оксирансодержащих поливиниллактамов с ПВИ в водной среде сопровождается возрастанием значений pH и электропроводности реакционной среды, вследствие взаимодействия образующихся цвиттер-ионов с молекулами воды, и появлением гидроксид-ионов в качестве противоионов имидазолиевым катионам. Таким образом, в результате реакционного смешения оксиран- и имидазолсодержащего полимеров в водной среде получаются гидрогели, обладающие ионной электропроводностью. Кроме того, для получаемых гидрогелей характерно проявление чувствительности на изменение pH-, температуры и ионной силы окружающей среды.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности Минобрнауки России (код темы: FZZE-2023-0006; соглашение № 075-03-2023-036).

# С-7 СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ЛЕСТНИЧНЫХ ПОЛИФЕНИЛСИЛСЕСКВИОКСАНОВ РАЗЛИЧНЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАСС, ПОЛУЧЕННЫХ В СРЕДЕ АММИАКА

Башкова Е.В.<sup>1,2,3</sup>, Ершова Т.О.<sup>1,3</sup>, Щеголихина О.И.<sup>1,3</sup>,  
Темников М.Н.<sup>1</sup>, Анисимов А.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук, Москва, Россия  
119334, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 28.*

<sup>2</sup>*Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия  
141701, Россия, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9.*

<sup>3</sup>*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиеva  
Российской Академии Наук, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 29  
[evbashkova@gmail.com](mailto:evbashkova@gmail.com)*

Лестничные полифенилсилесквиоксаны (л-ПФСС) – кремнийорганические полимеры, более устойчивые к гидролизу, чем обычные силиконы, термостойкие, обладающие высокими диэлектрическими и оптическими свойствами, а также гидрофобностью [1]. Классическим способом получения л-ПФСС является высокотемпературная полимеризация продуктов гидролиза фенилтрихлорсилана, однако данный метод имеет ряд ограничений в использовании связанных с трудоемкостью синтеза [2].

Ранее в нашей лаборатории был разработан новый способ получения л-ПФСС путем конденсации *цис*-тетрафенилциклотетрасилоксантетраола в среде аммиака [3]. Данный метод предлагает такие важные преимущества, как меньшая хрупкость образцов по сравнению с полимерами, полученными классическим способом, а также возможность получения л-ПФСС с заданными молекулярными массами, чего невозможно достичь альтернативными методами. Данным способом нами были получены л-ПФСС с варьируемой в широком диапазоне молекулярной массой (от 20 до 500 кДа) путем изменения температуры синтеза.

Следующим этапом работы стало получение блок-сополимеров на основе гидридных производных л-ПФСС и винильных дифункциональных полидиметилсилоксана или полифенилметилсилоксана, а также винильного монофункционального полидиметилсилоксана, по реакции гидросилирирования в присутствии катализатора Карстедта. Все полученные соединения были исследованы комплексом физико-химических методов анализа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Baney, R. H., Itoh, M., Sakakibara, A., Suzuki, T. *Chem. Rev.*, **1995**, 95(5), 1409–1430.
2. Brown J.F. *J. Polym. Sci. Part C Polym. Symp.* **1963**, 1, 83–97.
3. Ershova T.O., Anisimov A.A., Temnikov M.N., Novikov M.A., Buzin M.I., Nikiforova G.G., Dyuzhikova Y.S., Ushakov I.E., Shchegolikhina O.I., Muzaferov, A.M. *Polymers*, **2021**, 13, 4452.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-79-10256.

## С-8 РАЗРАБОТКА ГИБРИДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРА GPOSS-PDMS И МЕДНО-ЦИНКОВЫХ ПЛЕНОК

Белик П.А., Бузыкин А.Г., Стародубцева К.В., Прилепский А.Ю.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», Санкт-Петербург, Россия*

*197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.  
polinabelik.itmo@gmail.com*

Одной из задач современной микрофлюидики является создание функциональных поверхностей с заданными свойствами. Перспективным материалом является омнифобная полимерная пленка GPOSS-PDMS [1]. Комбинация данного покрытия с неорганическими компонентами открывает возможности для создания гибридных поверхностей с функциональными свойствами. В представленной работе изучаются параметры нанесения полимера GPOSS-PDMS на медно-цинковый каркас и свойства полученного покрытия.

В исследовании использовались медно-цинковые подложки, полученные методом обратного лазерно-индуцированного переноса [2]. Для формирования поверхности с заданными свойствами был выбран полимер GPOSS-PDMS, подготовленный по разработанной ранее методике [3]. Полимерная пленка нанесена на подложку методом спинкоатинга с режимами 600 об/мин и 400 об/мин, концентрация GPOSS в прекурсоре составила 45 мг и 75 мг. Смачиваемость поверхности оценивалась посредством измерения контактного угла для деионизированной воды и диметилсульфоксида (DMSO).

Максимальное значение контактного угла составило  $114,5^\circ$  для воды, что превышает полученные ранее значения [3]. Наибольший контактный угол для DMSO  $73,9^\circ$  был зафиксирован с концентрацией GPOSS 75 мг и режиме спинкоатинга 400 об/минуту. Методом ЭДС картирования в изготовленной поверхности обнаружен сплошной слой меди с примесями цинка. Неровности, выступающие в толще полимера, также состоят из указанных металлов, преимущественно меди. Шероховатость поверхности обуславливает состояния Касси-Бакстера и Венцеля.

В предложенном способе нанесения GPOSS-PDMS на медно-цинковую подложку продемонстрирована высокая адгезия полимера к металлу, а также улучшенные омнифобные свойства поверхности. Варьирование морфологии медной пленки позволит достичь более устойчивого состояния Касси. Конструкция композита обеспечивает контроль морфологии поверхности для точной регулировки смачиваемости в зависимости от типа жидкости.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузина М.А., Карцев Д.Д., Стратонович А.А. Левкин П.А. *Adv. Func. Mater.*, **2023**, 33, 2301421.
2. Бузыкин А.Г., Рамос Веласкес А., Амяга Д.В. *FiO/LS*, **2024**, *JTu5A.17*.
3. Карцев Д.Д., Прилепский А.Ю., Лукьянов И. М., Шарапенков Э.Г., Клавинг А.В., Голтаев А.С., Можаров А.М., Дворецкая Л.Н., Мухин И.С., Левкин П.А. *Adv. Mater.*, **2023**, 10, 2300156.

## С-9 ИЗУЧЕНИЕ ДЕСТРУКЦИИ МАТЕРИАЛОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА

Белоног А.В.<sup>1</sup>, Подзорова М.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия  
115054, Россия, г. Москва, Стремянный переулок, д.36. anissa06@mail.ru

Чтобы свести к минимуму воздействие синтетических полимеров на окружающую среду, были разработаны и внедрены в производство биоразлагаемые полимеры, такие как полимолочная кислота (ПЛА), полибутиленсукцинат (ПБС), поли(бутиленадипаттерефталат) (ПБАТ), поликапролактон (ПКЛ) и другие. Эти полимеры составляют значительную долю от общего объема производств [1-3]. Поскольку биоразлагаемые полимеры состоят из простых, сложноэфирных и амидных функциональных групп, они легко подвергаются гидролизу и окислению и используются микроорганизмами окружающей среды в качестве источников углерода. Одним из возможных применений материалов с добавлением биоразлагаемых полимеров может быть мульчирование почв. Биоразлагаемая мульча аналогична полиэтиленовой мульче или превосходит ее по показателям роста и урожайности сельскохозяйственных культур.

В данном исследовании рассмотрено влияние поликапролактона на смеси на основе ПЛА и ПБАТ в процессе инкубации в почве. Для получения композиций были использованы ПБАТ (TH801T, Shanghai Hengsi New Material Science, Китай), ПЛА (4043D, Nature Works, США) и ПКЛ (Полиморфус (ESUN 600C), Китай). Испытания в почве проводились в течение 90 дней.

После 28 дней инкубации в почве пленки ПБАТ/ПКЛ отмечается изменение температуры плавления ПКЛ и ПБАТ, что свидетельствует о деструкции материала. А также это подтверждают методы ИК-спектроскопии и микроскопии. После 90 дней отмечается значительное разрушение материала и отсутствие возможности дальнейшего испытания. Анализ смеси ПЛА/ПКЛ показали, что пленка становится мутной, что говорит о процессе гидролиза матрицы ПЛА. В связи с тем, что одним из важных факторов в почве для ПЛА является водная среда, т.е. гидролитическая деструкция, было проведено отдельное исследование пленок в водной среде в течение 60 суток при  $T=22\pm2$  °С. Методом ДСК установлено, что в процессе гидролитического разрушения на 2-3 °С повышается температура плавления ПЛА в смеси, степень кристалличности ПЛА увеличивается на 3-5 % вследствие деградации аморфной фазы. При этом пик плавления ПКЛ на термограммах увеличивается незначительно, а степень кристалличности снижается на 3-5%, что связано с деструкцией матрицы поликапролактона в смеси.

Таким образом, добавка ПКЛ в матрицу ПБАТ и ПЛА влияет как на структуру, так и на подверженность материалов влиянию факторов окружающей среды.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Kim H., Jeon H., Shin G., Lee M., Jegal J., Hwang S.Y., Oh D.X., Koo J.M., Eom Y., Park J. *Green Chem.*, **2021**, 23, 2293–2299.
2. Zhao X., Cornish K., Vodovotz Y. *Environ. Sci. Technol.*, **2020**, 54, 4712–4732.
3. Tertyshnaya Y.V., Podzorova M.V., Khramkova A.V., Ovchinnikov V.A., Krivandin A.V. *Polymers*, **2023**, 15, 1930.

Работа выполнена при финансовой поддержке РЭУ им. Г.В. Плеханова.

## С-10 ПАРАМАГНИТНОЕ ПОЛИ(ОСНОВАНИЕ ШИФФА) НА ОСНОВЕ ДИАЦЕТИЛФЕРРОЦЕНА И ПАРА-ФЕНИЛЕНДИАМИНА

Береговский И.Г.<sup>1,2</sup>, Дворикова Р.А<sup>1</sup>, Межуев Я.О.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмиянова Российской академии наук, Москва, Россия  
119334, Москва, ул. Вавилова, д. 28, стр. 1.  
larina@ineos.ac.ru

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Долгопрудный, Россия  
141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д.9.  
info@mipt.ru

<sup>3</sup>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва, Россия  
125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9  
pochta@muctr.ru

Магнитные полимеры — функциональные материалы с магнитными свойствами, такими как пара-, ферро- и ферримагнетики. Они сочетают в себе химическую стабильность и биосовместимость, присущую полимерам, с магнитной активностью, что делает их перспективными для широкого спектра применений, таких как биомедицинская инженерия, электроника и восстановление окружающей среды. [1]

В этой работе мы полимеризовали диацетилферроцен с пара-фенилендиамином в присутствии толуола, а также в отсутствие растворителя. [2] Полученные поли(основания Шиффа) изучены методами элементного и термогравиметрического анализа и гель-проникающей хроматографии, структура подтверждена ЯМР и ИК спектроскопией.

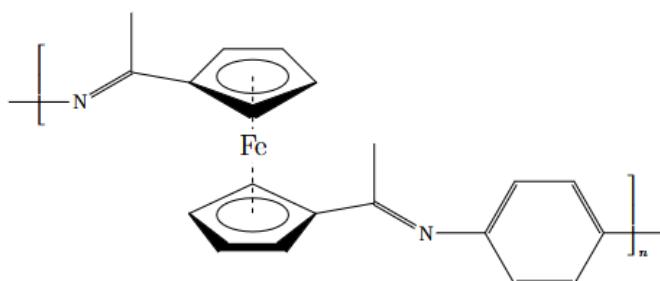


Рис. 1: Структура полимера, полученного в этой работе

У синтезированного в отсутствие растворителя поли(основания Шиффа) обнаружены парамагнитные свойства, что делает его особенно интересным для дальнейшего изучения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Sayan Ganguly, Shlomo Margel. *Micromachines*, **2025**, 16(2), 174.
2. Yuya Tachibana, Senri Hayashi, Ken-ichi Kasuya. *ACS Omega*, **2018**, 3, 5336–5345.

## С-11 НОВЫЙ ДВУХСТАДИЙНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДА

Борисов И.Л.<sup>1</sup>, Матвеев Д.Н.<sup>1</sup>, Анохина Т.С.<sup>1</sup>, Волков А.В.<sup>1</sup>, Галеев А.Р.<sup>2</sup>,  
Балькаев Д.А.<sup>2</sup>, Антипин И.С.<sup>2</sup>, Волков В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза

им. А.В.Топчиеva РАН, Москва, Россия, 119991, ул. Ленинский проспект 29 стр. 4

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО "Казанский (Приволжский) федеральный университет", Казань,

Респ. Татарстан, Россия, 420008, ул. Кремлевская, д.18, корп.1

boril@ips.ac.ru

Актуальной задачей в нефтехимии является поиск энергосберегающих процессов в нефтепереработке. В качестве альтернативы ректификации, требующей значительных энергозатрат, для разделения сырой нефти исследуются баромембранные процессы, в частности, нано- и ультрафильтрацию [1]. Другой важной задачей является регенерация загрязнённых токсичными примесями отработанных масел [2]. Для реализации баромембранного разделения вязких углеводородов необходимо создание термо- и химически стойких пористых мембран. В этой связи, особый интерес представляет полифениленсульфид (ПФС), обладающий высокой коррозионной стойкостью, химической и термической стабильностью [3].

В работе был разработан новый метод получения пористых мембран из ПФС путем экструзии пленок ПФС-наполнитель и последующей экстракцией наполнителя в аprotонном растворителе. В качестве порообразующей добавки были изучены полисульфон (ПСФ), полиэфирсульфон и полифениленсульфон с различной массовой долей (20–30%) наполнителя. Удаление наполнителей проводилось в диапазоне температур 25–202°C в таких растворителях, как N-метил-2-пирролидон (НМП), диметилсульфоксид, хлороформ, 1,2,4-трихлорбензол. Так, например, для пленки из ПФС с добавкой ПСФ 30% после 12 ч экспозиции в НМП (T = 202°C) потеря массы составила 29,2%, что соответствует практически полному извлечению порообразующей добавки. Методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) показано, что поверхность мембраны приобретает открытую пористость (рисунок 1). Средний размер транспортных пор мембранны, определенный методом прецизионной жидкостной порометрии, составил 160 нм.

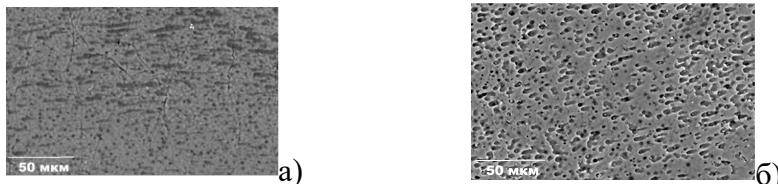


Рисунок 1. СЭМ микрофотографии поверхности мембраны, полученной из пленки ПФС и 30% ПСФ: а) исходная; б) после 12 ч экспозиции в НМП (T = 202°C).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Chisca S., Musteata V.E., Zhang W., Vasylevskiy S., Falca G., Abou-Hamad E., Emwas A.-H., Altunkaya M., Nunes S.P. *Science*, **2022**, 376, № 6597, 1105-1110.
2. Маркелов А.В. *Совр. науки. техн.. Региональное приложение*, **2023**, 3, 69-76.
3. Lu D., Mai Y.W., Li R.K., Ye L. *Macromol. Mater. Eng.*, **2003**, 288, № 9, 693-698.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-63-00026, <https://rscf.ru/project/24-63-00026/>.

## С-12 НОВЫЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЕ ПАВ ДЛЯ ГЕТЕРОФАЗНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

Борисова Д.М.<sup>1</sup>, Борисов К.М.<sup>1</sup>, Калинина А.А.<sup>1</sup>, Музаров А.М.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н. С. Ениколопова РАН,  
Москва, Россия

117393 Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д. 70

<sup>2</sup>Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмейнова РАН, Москва,  
Россия

119334 Россия, г. Москва ул. Вавилова д.28

*borisova@ispmt.ru*

Полимерные суспензии широко используются в производстве лакокрасочных составов, для пропитки текстильных материалов, в производстве пленок и одежды. В настоящее время широкое распространения находят акриловые дисперсии, в частности монодисперсные полиметилметакрилатные (ПММА) микросфера, которые характеризуются отличной прозрачностью и биосовместимостью, низкой стоимостью и т.д. [1]. Микросфера из ПММА могут быть получены различными методами радикальной полимеризации [2], однако в промышленности чаще используют гетерофазную полимеризацию - экологически чистый метод получения микросфер с высокой молекулярной массой, с использование воды в качестве реакционной среды [1]. Повышение концентрации полимера, устойчивости суспензий к различным видам воздействий, уменьшение содержания остаточного мономера и замена токсичных ПАВ являются актуальными направлениями развития и по сей день [3]. Внедрение в химические процессы (в т.ч. в гетерофазную полимеризацию) кремнийорганических ПАВ становится все более популярным направлением в последние годы. В основном, для этих целей используются кремнийорганические ПАВ, представляющие собой полидиметилсилоксан, содержащий концевые или распределенные по цепи гидрофильные блоки [4].

Данная работа посвящена использованию сверхразветвленных полиметилэтоксисилоксанов, модифицированных полиэтиленгликолем (ПМЭОС-ПЭГ), способных к химическим превращениям в ходе полимеризационных процессов, в качестве ПАВ для гетерофазной полимеризации метилметакрилата.

В докладе будут показаны результаты исследования влияния состава синтезированных сверхразветвленных ПМЭОС-ПЭГ на характеристики полимерных суспензий, полученных гетерофазной полимеризацией метилметакрилата. Размер частиц, дисперсность полимерной суспензии, а также электрокинетический потенциал  $\xi$ , были определены с помощью анализатора частиц ZetasizerNano ZS Malvern (Великобритания).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Gao Y., Zhang J., Liang J., Yuan D., Zhao W. *Eur. Polym. J.*, **2022**, 175, 111379.
2. Rao J. P., Geckeler K. E. *Prog. Polym. Sci.*, **2011**, 36(7), 887-913.
3. Zlotin S.G., Egorova K.S., Ananikov V.P. et al. *Russ. Chem. Rev.*, **2023**, 92 (12), RCR5104.
4. Gritskova I. A., Prokopov N. I., Ezhova A. A. et al. *Polymers*, **2023**, 15(11), 2464.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 21-73-30030\_П.

## C-13 НОВЫЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ РЕАКЦИОННЫЕ ОЛИГОИМИДЫ

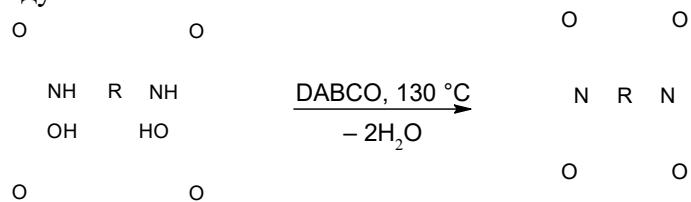
Боченков В. С., Кузнецов А. А., Цегельская А. Ю.

*Институт синтетических полимерных материалов РАН им. Н. С. Ениколопова  
117393 Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, 70  
v.bochenkov@ispmt.ru*

Традиционно для синтеза малеимидов используют реакцию циклизации соответствующих малеамидокислот в присутствии ацетата натрия и уксусного ангидрида в качестве катализатора и дегидратирующего агента. В настоящее время этот способ остаётся одним из наиболее простых и распространенных. Впервые данный метод был описан в патенте [1].

В настоящее время представляет интерес разработка нового способа синтеза малеимидов без использования уксусного ангидрида. Для этой цели является актуальным вопрос поиска новых катализитических систем и катализаторов, которые были бы коммерчески доступны, позволяли осуществлять селективную реакцию циклизации малеамидокислот с образованием малеимидов, а также предупреждали протекание побочной реакции Михаэля.

В данной работе показана возможность осуществления катализитической циклизации малеамидокислот в присутствии диазабициклооктана (DABCO) в среде пропионовой кислоты (ПК) при температуре 130 °C. Реакция протекает в течение 0,5-1 ч, образующийся при циклизации продукт переходит в раствор. Выделение продукта из раствора происходит путём его охлаждения до комнатной температуры и высаждения в дистиллированную воду.



С использованием данного способа получен ряд бисмалеимидов. Полученные бисмалеимиды обладают способностью к отверждению благодаря наличию в их структуре двойных связей, что делает возможным образование межмолекулярных сшивок. Химическую структуру полученных бисмалеимидов подтвердили с помощью методов ИК- и протонной ЯМР-спектроскопии. Термические свойства бисмалеимидов исследовали с помощью ДСК.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Edward S.N. Synthesis of N-aryl-maleimides, US Patent No. 2444536, July 6, 1948

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, номер темы FFSM-2024-0002.

## С-14 ЗАВИСИМОСТЬ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПЕРЕХОДОВ ЭПОКСИДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ ОТ РАЗМЕРА И СОДЕРЖАНИЯ НАНОЧАСТИЦ $\text{TiO}_2$

Букичев Ю.С., Богданова Л.М., Бубнова М.Л., Закиев С.Е., Джардималиева Г.И.

*Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, Черноголовка, Россия  
142432, Россия, г. Черноголовка, просп. Академика Семенова, д. 1.  
uresbuki4eff@yandex.ru*

Эпоксидные полимеры широко применяются в авиационной, автомобильной и электронике. Для модификации их свойств используются нанонаполнители, которые влияют на механические, термические и диэлектрические и другие характеристики материалов [1]. Введение наночастиц  $\text{TiO}_2$  может изменить динамику релаксационных процессов в матрице, что требует детального изучения. Поэтому целью работы стало установить влияние наночастиц  $\text{TiO}_2$  различного размера и содержания на релаксационные процессы и температуру стеклования эпоксидных нанокомпозитов.

В качестве полимерной матрицы использовалась эпоксидная смола ЭД-20 с отвердителем 4,4'-диаминодифенилметаном. Наночастицы  $\text{TiO}_2$ , полученные плазмохимическим методом со средними размерами ( $d_{cp}$ ) 46 и 100 нм использовались в качестве наполнителя. Изменение релаксационных процессов матрицы устанавливали с применением динамического механического анализатора DMA 242 C (Netzsch-Gerätebau GmbH, Германия) при температурах от -140 до 210 °C, при частотах 0,1, 1 и 10 Гц.

Обнаружены две основные области релаксации:  $\gamma$ -релаксация в низкотемпературной области (от -150 до -10 °C) и  $\alpha$ -релаксация в области температуры стеклования ( $T_g$ ) от 120 до 180 °C. В области  $\alpha$ -перехода показано увеличение интенсивности релаксационных пиков, что обусловлено образованием межфазных взаимодействий, повышающих локальные напряжения и ограничивающих подвижность участков полимерных цепей. В нанокомпозитах с  $\text{TiO}_2$  ( $d_{cp} = 100$  нм) обнаружены дополнительные релаксационные максимумы в диапазоне температур от -25 до 25 °C, что, вероятно, связано с формированием областей с пониженной степенью сшивки в результате нарушения сшивки матрицы крупными частицами.  $\text{TiO}_2$  ( $d_{cp} = 46$  нм) способствуют увеличению  $T_g$  (7-16 °C по  $\text{tg}\delta$ ), тогда как для  $\text{TiO}_2$  ( $d_{cp} = 100$  нм) – снижению  $T_g$  (8-21 °C по  $\text{tg}\delta$ ), также, вероятно, из-за стерического препятствия процессу сшивки эпоксидной матрицы. В дополнение, согласно графикам Коула-Коула нанокомпозиты с  $\text{TiO}_2$  ( $d_{cp} = 46$  нм) являются более структурно однородными, тогда как в нанокомпозитах с добавлением  $\text{TiO}_2$  ( $d_{cp} = 100$  нм) наблюдается гетерогенность структуры.

Размер и концентрация наночастиц  $\text{TiO}_2$  оказывают влияние на релаксационные процессы и, как следствие, свойства нанокомпозитов.  $\text{TiO}_2$  ( $d_{cp} = 46$  нм), благодаря малому размеру, успешно встраиваются в структуру сетки матрицы, повышая  $T_g$ , в тоже время более крупные  $\text{TiO}_2$  ( $d_{cp} = 100$  нм) становятся препятствием для сшивки матрицы, в результате чего формируются локальные области с пониженной степенью сшивки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Bukichev Yu.S., Bogdanova L.M., Lesnichaya V.A., Chukanov N.V., Golubeva N.D., Dzhardimalieva G.I. *Applied Sciences*, **2023**, 13(7), 4488.

Работа выполнена по теме Государственного задания (№ гос. регистрации 124013000722-8, 124013000757-0 и 124020800013-7) с использованием оборудования аналитического центра коллективного пользования ФИЦ ПХФ и МХ РАН.

# С-15 КОМПОЗИТЫ ИЗ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОГО КОМПЛЕКСА ХИТОЗАНА С АЛЛОТРОПНЫМИ ФОРМАМИ УГЛЕРОДА ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРОННОГО ЯЗЫКА

Булышева Е.О.<sup>1</sup>, Тарханова Ю.Р.<sup>1</sup>, Зильберг Р.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия  
450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32.  
elenabulysheva@mail.ru

Электропроводные полимерные композитные материалы обладают значительными преимуществами в разработке электронных устройств, электрохимических сенсоров и мультисенсорных систем, делая их привлекательной альтернативой традиционным материалам. Эти преимущества обусловлены уникальной сочетанием свойств полимеров и включенных в них функциональных наполнителей, позволяющих улучшить электропроводность, чувствительность, селективность и стабильность сенсора. Особое внимание уделяется созданию мультисенсорных систем из массивов неспецифических, малоселективных сенсоров, направленных на идентификацию фармацевтических препаратов по производителю, выявление фальсифицированной продукции и установлению срока годности.

Таким образом, разработаны композиты на основе полиэлектролитного комплекса хитозана-сукцинамида хитозана (ПЭК) с углеродными нанотрубками (ОУНТ), оксидом графена (ОГ), CarboblackC, Carborpack. На основе исследованных композитов созданы полевые транзисторы и мультисенсорные системы типа «электронный язык» для идентификации фармацевтических препаратов напроксена «Налгезин» (АО «КРКА», Словения), «Тералив» (АО «Байер Биттерфельд», Германия) и «Нексемезин» (АО «Фармасинтез», Россия). Для приготовления композитов ПЭК@CarboblackC, ПЭК@Carborpack, ПЭК@ОГ, ПЭК@ОУНТ использовали методику, описанную в статье [1]. Растворы препаратов напроксена готовили по методике [2]. Электрохимическое исследование проводили с помощью циклической (ЦВА), дифференциально-импульсной вольтамперометрии (ДИВ) и спектроскопии электрохимического импеданса (СЭИ). Данные ЦВА и СЭИ для композитов свидетельствуют о повышенной электропроводности, эффективной площади поверхности и скорости переноса электронов, что дает возможность для их применения в электроанализе веществ различной природы. По полученным ДИВ трех препаратов напроксена имеются незначительные различия по форме кривой, высотам пиков и потенциалам, что ограничивает идентификацию по производителю. Для повышения надежности вольтамперометрического распознавания применили хемометрическую обработку данных методом главных компонент. Использование четырехсенсорной системы позволяет получить непересекающиеся кластеры на плоскости ГК. По данным, полученным с помощью метода независимого моделирования аналогии классов, видно, что для четырехсенсорной системы доля неверно распознанных образцов сводится к минимуму, что позволяет идентифицировать препараты напроксена по производителю.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zilberg R., Salikhov R., Mullagaliev I., Teres Yu., Bulysheva E., Salikhov T., Ostaltsova A., Vakulin I. *Chimica Techno Acta*, **2024**, 11, 202411302-202411314.
2. Zilberg R.A., Bulysheva E.O., Teres Y.B., Volkova A.A., Ishmakaeva G.I., Mukhametdinov G.R., Vakulin I.V. *Chim. Tech. Acta*, **2025**, 12, 12204-12209.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-73-00119

## С-16 МОДИФИКАЦИЯ ГИДРОГЕЛЯ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРА РЫБНОГО КОЛЛАГЕНА И МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА В ПРИСУТСТВИИ СЛОЖНОГО ОКСИДА $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$

Валетова Н.Б.<sup>1</sup>, Семенычева Л.Л.<sup>1</sup>, Румянцева В.О.<sup>1</sup>, Сулейманов Е.В.<sup>1</sup>, Егорихина М.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, Россия,

603022, Россия, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23

<sup>2</sup>Приволжский исследовательский медицинский университет Министерства  
здравоохранения Российской Федерации, Нижний Новгород, Россия,  
603005, Россия, г. Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, 10/1  
nata-bor-2005@mail.ru

В последние несколько лет активно проводится разработка гидрогелей как тканевых эквивалентов кожи человека для закрытия ран различной этиологии [1]. Синтез привитых сополимеров метилметакрилата (ММА) на тресковый коллаген (ТК) в условиях фотокатализа при облучении видимым светом сложного оксида  $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$  с добавлением ряда модификаторов: диметакрилата триэтиленгликоля, полиэтиленгликоля и др. после нейтрализации реакционной смеси позволяет получить гидрогель сшитой структуры (гель ТК-ММА). Гель ТК-ММА легко отдает воду при сушке в вакууме и образует сухой гель [2]. Однако, при анализе на структурную устойчивость образцы геля ТК-ММА подвергаются частичному разрушению.

Целью данной работы является усовершенствование методики получения геля ТК-ММА с сохранением трехмерной структуры и состава для получения характеристики структурной устойчивости и широким диапазоном пор.

Для решения поставленной цели проведена модификация геля ТК-ММА известными способами: выдерживание гидрогеля в растворе этанола, который изменяет белковые структуры путем дегидратации, и введение в состав исходной смеси незначительных количеств глутарового альдегида (ГА), являющегося эффективным сшивющим агентом для белков.

Результаты испытаний образцов на структурную устойчивость показали, что образцы, обработанные спиртом, подвергались частичному разрушению. В то же время, образцы, полученные с ГА, выдерживали испытания на структурную устойчивость при значениях pH от 6,8 до 7,3 (pH плазмы крови – 7,2-7,4). Показано, что гели ТК-ММА, полученные с ГА, имеют хорошие показатели водопоглощения и достаточно широкий диапазон размеров пор от нескольких мкм до ~70 мкм. Было установлено, что содержание азота и коллагена в сухих образцах геля ТК-ММА и аналогах с ГА идентично и составляет ~ 6-7 % и ~ 37-43 %, соответственно.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Álvarez-Chimal R., Arenas-Alatorre J.A., Álvarez-Pérez M.A. *Eur. Polym. J.*, **2024**, 213, 113093.
2. Semenycheva L.L., Chasova V.O., Sukhareva A.A. et all. *Appl. Sci.*, **2023**, 13, 5455.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (Госзадание проект FSWR-2023-0024), программы "Приоритет 2030" с использованием оборудования ЦКП «Новые материалы и ресурсосберегающие технологии» НИИХ ННГУ.

# С-17 ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ С ДОЛГОВРЕМЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТЬЮ КВАДРАТИЧНЫХ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Валиева А.А.<sup>1</sup>, Вахонина Т.А.<sup>1</sup>, Фазлеева Г.М.<sup>1</sup>, Исламова Л. Н.<sup>1</sup>, Шарипова А.В.<sup>1</sup>,  
Петров Д.Н.<sup>1,2</sup>, Калинин А.А.<sup>1</sup>, Балакина М.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, Россия

420088, Россия, г. Казань, ул. Акад. Арбузова, д. 8

<sup>2</sup>Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, Россия

420029, Россия, г. Казань, Сибирский тракт, 10/7  
[alfiravalieva1@gmail.com](mailto:alfiravalieva1@gmail.com)

При разработке полимерных материалов с нелинейно-оптическими (НЛО) свойствами особое внимание уделяется как достижению высоких значений НЛО характеристик, так и сохранению их долговременной стабильности. Это задача может быть решена путем сшивания цепей полимерной матрицы для ограничения подвижности хромофоров после полинга - процедуры, необходимой для проявления материалом НЛО активности. Для этого нами были синтезированы метакриловые полимерные матрицы **P1** и **P2** (Рис. 1а, б) с различным содержанием реакционноспособных эпоксидных и гидроксильных групп, соответственно.

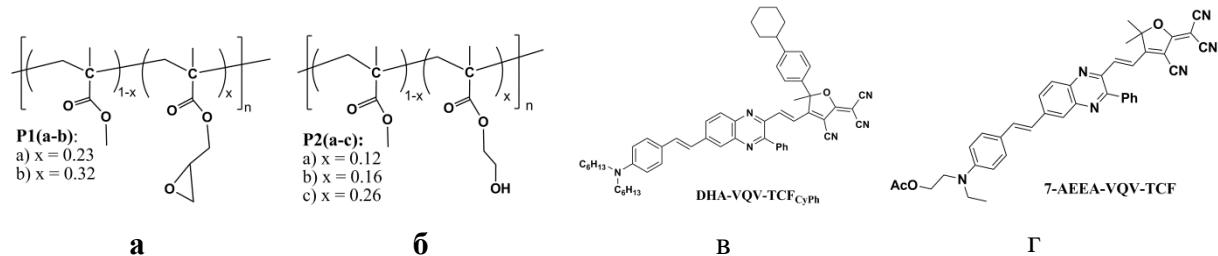


Рисунок 1. Объекты исследования: а, б - полимерные матрицы;  
в, г – гетероциклические хромофоры.

Сшивку полимерной матрицы проводили в пленке при различных режимах (температура, время); процесс контролировали методом ИК-спектроскопии. Для сшивки сополимеров **P1** использовали янтарную или терефталевую кислоты, а для сополимеров **P2** - 4,4'-дифенилметандиизоцианат. В результате проведенных исследований были отобраны полимерные матрицы с оптимальным количеством реакционноспособных групп и определены эффективные режимы сшивания с учетом условий проведения полинга. Для определения НЛО отклика были изготовлены тонкие полимерные пленки композиционного материала с 25 % весовым содержанием гетероциклического хромофора (Рис. 1в, г) с добавлением и без добавления соответствующего сивающего агента. Пленки были поляризованы в поле коронного разряда и методом генерации второй гармоники были определены НЛО коэффициенты,  $d_{33}$ , полученных материалов. Показано, что использованный подход позволяет получить материал с высокой релаксационной стабильностью  $d_{33}$  при повышенных температурах: после выдерживания при 55 °C в течение 100 часов сохраняется 90 и 83 % отклика для материалов на основе **P2** и **P1**, соответственно.

## С-18 ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В ТРОЙНОЙ ОТВЕРЖДАЮЩЕЙСЯ ЭПОКСИДНОЙ СИСТЕМЕ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫМ ПОЛИУРЕТАНОМ

Валиуллин Т. А.<sup>1</sup>, Пономаренко А. Д.<sup>1</sup>, Шапагин А. В.<sup>1</sup>

*ИФХЭ РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;*  
*timur.val.2001@mail.ru*

Эпоксидные отверждающиеся композиции представляют собой один из наиболее распространенных типов связующих (матриц) для полимерных композиционных материалов (ПКМ), используемых в конструкционных целях. Регулирование состава эпоксидных связующих в зависимости от поставленных задач позволяет достичь требуемых технологических параметров на стадии исходного состояния и в процессе отверждения, а также обеспечить заданные эксплуатационные характеристики после отверждения. Для придания ПКМ функциональных свойств, таких как повышенная ударная вязкость, пластичность и трещиностойкость, без снижения теплостойкости, эпоксидные связующие модифицируются жесткоцепными термопластичными полимерами. Известно, что такая модификация может приводить к формированию гетерогенной фазовой структуры в процессе отверждения связующего. Тем не менее, вопросы прогнозирования и управления фазовой структурой и свойствами многокомпонентных отверждающихся связующих, с учетом характеристик исходных компонентов и процессов отверждения, остаются недостаточно изученными.

Целью исследования является комплексное изучение фазовых равновесий, взаимодиффузии и структурообразования в тройных неотверженных и отверждающихся системах, состоящих из двух- и трехфункциональных эпоксидных олигомеров (диглицидилового эфира бисфенола А марки KER 828 и Tactix 742) и термопластичного полиуретана МК 1185с. Отверждающиеся системы моделировали получением частично отверженных смесей эпоксидных компонентов (аддуктов) при введении субстехиометрического количества отвердителя (диаминодифенилсульфона).

Методом оптической интерферометрии (ОДА-2 ИФХ РАН, Россия) исследованы зоны взаимодиффузии в бинарных и псевдобинарных системах для анализа макромолекулярной подвижности и фазовых равновесий в исходных и отверждающихся системах. На основе кинетики движения изоконцентрационных плоскостей рассчитаны коэффициенты взаимодиффузии исследуемых объектов, построены их концентрационные и температурные зависимости и определены энергии активации диффузии. Построены изотермические сечения диаграммы фазовых равновесий неотверженной трехкомпонентной системы. Установлено, что система характеризуется верхней критической температурой растворения. Рассчитаны критические степени конверсии начала фазового распада для систем с различным соотношением компонентов.

Фазовая структура отверженных систем исследована методом сканирующей электронной микроскопии (Jeol JSM 6060A, Япония). Для верификации данных по фазовой структуре применен метод просвечивающей электронной микроскопии (Philips EM-301, Нидерланды). На температурно-концентрационном поле определены области, характеризующиеся фазовыми структурами типа матричной дисперсии, взаимопроникающих фаз и инвертированной матричной дисперсии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

## С-19 СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ NI(RSALEN) В СВЕРХКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ВОДНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ

Волков А.И.<sup>1</sup>, Ахмадишин А.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
199034, Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская наб. 7/9  
a.i.volkov@spbu.ru

Функциональные материалы на основе полимерных комплексов никеля с лигандами саленового типа (поли(NiRSalen)) обладают привлекательными свойствами, включающими высокую электропроводность и возможность запасать заряд, что делает их актуальными для использования в литий-ионных аккумуляторах (ЛИА) [1,2].

Большинство ЛИА использует электролиты на основе органических карбонатных растворителей, однако заметный интерес представляет создание водных аккумуляторов с органическими электродными материалами. Несмотря на привлекательность данного направления, органические материалы обычно нестабильны в водных растворах электролитов, в том числе из-за взаимодействия с молекулами воды. В частности, поли(NiRSalen) демонстрируют от низкой стабильности (поли(NiCH<sub>3</sub>Salen)) до полной неработоспособности (поли(NiSalen)) в водных электролитах [3,4]. Кроме того, диапазон потенциалов стабильности водных электролитов ограничен реакциями разложения воды. Использование «water-in-salt» (сверхконцентрированных) электролитов может устранить данные недостатки. Основным представителем данного типа электролитов является 21 моль/кг ( $\approx$ 14,2 моль/л) раствор LiTFSI в воде [5]. Его преимуществом является наличие примерно 3,5 ионных пар соли на 1 молекулу воды, что практически блокирует отдельные молекулы воды в структуре электролита и предотвращает реакции с её участием.

В данной работе нами продемонстрирована возможность использования 21 моль/кг LiTFSI в воде для электрохимических испытаний электродных материалов на основе поли(Ni[RSalen]). Для поли(NiSalen) в таком электролите удалось расширить диапазон электрохимической стабильности с исходных  $-0,1\dots+1,1$  В до  $-1,0\dots+1,5$  В (отн. Ag/AgCl), однако значительного улучшения циклического ресурса не наблюдалось — материал деградировал практически полностью за 20 циклов перезарядки. Напротив, для поли(NiCH<sub>3</sub>Salen) улучшение оказалось существенным: если в 1 моль/л растворе LiTFSI материал терял 20% ёмкости в диапазоне  $-0,4\dots+1,3$  В уже за 10 циклов, то в 21 моль/кг растворе сохранялось 99% исходной ёмкости после 100 циклов. Предполагается, что механизм стабилизации связан с формированием кластеров  $[\text{Li}(\text{TFSI})_2]^-$ , которые препятствуют прямому контакту молекул воды с активными центрами полимера.

### ЛИТЕРАТУРА

2. Chepurnaya I.A., Eliseeva S.N., Klyamer D.D. *Pure Appl. Chem.*, **2020**, 92, 1239-1258.
3. Eliseeva S.N., Chepurnaya I.A., Logutenko O.A. *Macromol. Chem. Phys.*, **2017**, 218, 1700361.
4. Ershov V.A., Chepurnaya I.A., Klimenko S.A. *Russ. J. Gen. Chem.*, **2018**, 88, 277-283.
5. Alekseeva E.V., Ershov V.A., Vorotyntsev M.A. *J. Electroanal. Chem.*, **2023**, 935, 117310-117318.
6. Dong X., Li T., Li C. *Chem. Eur. J.*, **2017**, 23, 2560-2565.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-73-00160.

## С-20 ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ХРОМОФОР-СОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРОВ НА ИХ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Гайсин А.И.<sup>1</sup>, Вахонина Т.А.<sup>1</sup>, Валиева А.А.<sup>1</sup>, Шарипова А.В.<sup>1</sup>, Шмелев А.Г.<sup>1,2</sup>,  
Хаматгалимов А.Р.<sup>1</sup>, Балакина М.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, Россия  
420088, Россия, г. Казань, ул. Акад. Арбузова, д. 8

<sup>2</sup>Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, Россия  
420029, Россия, г. Казань, Сибирский тракт, 10/7  
[AdelGaysin@ya.ru](mailto:AdelGaysin@ya.ru)

Целью данной работы является изучение влияния методов и условий получения метакриловых сополимеров с азо-хромофорами в боковой цепи на их нелинейно-оптические (НЛО) характеристики, а именно, величину и релаксационную стабильность НЛО отклика. Ранее, по безхлорангидридной технологии на основе N-метиланилина и глицидилметакрилата нами был синтезирован анилинметакрилат; методом <sup>1</sup>Н ЯМР спектроскопии было установлено, что присоединение N-метиланилина к глицидилметакрилату происходит по двум направлениям: в α- и β- положение эпоксидного кольца [1]; в результате был получен продукт АМА, состоящий из смеси α-изомера, α-АМА, и β-изомера в соотношении 70:30. Для получения хромофор-содержащих сополимеров были синтезированы сополимеры АМА-метилметакрилат (ММА) с различным содержанием АМА звеньев в присутствии 2 или 5 масс.% динитрила азобisisомасляной кислоты (ДАК) с последующим проведением реакции азофункционализации. Из смеси изомеров АМА нами был выделен α-АМА и получены сополимеры α-АМА-ММА с различным содержанием звеньев α-изомера [2]. Хромофор-содержащие сополимеры получали функционализацией сополимеров α-АМА-ММА, используя реакцию азосочетания.

На основе синтезированных хромофор-содержащих полимеров были изготовлены тонкие пленки, которые были переведены в электретное состояние в поле коронного разряда. Методом генерации второй гармоники определены их НЛО характеристики.

Установлено, что независимо от способа и условий получения хромофор-содержащих полимеров наилучшие значения НЛО отклика достигаются при содержании хромофоров 17-18 мол.%. Наибольшие значения НЛО коэффициентов были получены для полимеров, полученных на основе смеси α- и β-изомеров АМА в присутствии 5 масс.% ДАК. Исследование долговременной и термической релаксационной стабильности НЛО отклика показало, что для синтезированных полимеров НЛО коэффициенты сохраняют порядка 90% от исходных значений при температуре окружающей среды в течение 5 месяцев. Выдерживание образцов при 55 °C (100 часов) и 65 °C (100 часов) приводит к падению  $d_{33}$  на 13-15 % и 20-25% от первоначального значения, соответственно.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шулындин С.В., Вахонина Т.А., Эстрина Г.А., Розенберг Б.А., Зуев М.Б. *Высокомол. соед. Серия А*, **2007**, 49, 1181-1197.
2. Gaysin A.I., Vakhonina T.A., Yakovleva E.O., Balakina M.Yu., Sinyashin O.G. *Mendeleev Comm.*, **2024**, 34, 332-334.

## **С-21 ПОВЕРХНОСТНАЯ ЭНЕРГИЯ АЛЮМОФОСФАТНЫХ ГЕОПОЛИМЕРОВ И АДСОРБЦИЯ ГЛИЦИДИЛОВЫХ ЭФИРОВ КИСЛОТ ФОСФОРА**

Гайфутдинов А.М., Андрианова К.А., Амирова Л.М.

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им.А.Н.Туполева-КАИ, Казань, Россия  
420115, Россия, г. Казань ул. Толстого, д. 15  
KAAndrianova@kai.ru*

Геополимеры, в том числе алюмофосфатные, вызывают большой интерес исследователей, благодаря возможности их применения в различных областях. Основным недостатком геополимеров является их высокое водопоглощение и хрупкость. Модификация алюмофосфатных геополимеров возможна путем совмещения с органическим полимерами, в частности эпоксидными, например, за счет диффузии органических олигомеров в пористый геополимер в процессе пропитки. Однако большинство эпоксидных олигомеров сложно совместить с алюмофосфатными полимерами. В этом отношении глицидиловые эфиры кислот фосфора открывают большие перспективы благодаря особенностям химического строения и совместимости с эпоксидными олигомерами. Для оптимизации состава модификаторов и технологических режимов совмещения необходимо исследовать процессы на границе раздела «поверхность геополимера – жидкий модификатор».

Целью данной работы является исследование поверхностной энергии ряда алюмофосфатных геополимеров и изучение процесса адсорбции глицидилфосфатов из смесевых композиций с эпоксидными олигомерами. В качестве объектов исследования использовали алюмофосфатный, алюмоборофосфатный и алюмохромофосфатный геополимеры. Для определения свободной поверхностной энергии геополимеров методом контактного угла смачивания применялись тестовые жидкости (анилин, глицирин, вода и др.). В качестве глицидиловых эфиров кислот фосфора были выбраны триглицидилфосфат, диглицидилоксиметилфосфат, диглицидилметилфосфонат. Глицидиловые эфиры кислот фосфора смешивали с эпоксидными олигомерами (ЭД-20, ЭД-22) в определенных пропорциях для исследования их адсорбции алюмофосфатными геополимерами.

Измерения краевого угла смачивания проводились с использованием прибора Kruss DS20 EasyDrop. Расчет значений свободной поверхностной энергии алюмофосфатных геополимеров был осуществлен с использованием метода Фоукса. Адсорбцию компонентов жидких композиций (эпоксидные олигомеры – глицидиловые эфиры кислот фосфора) определяли по изменению показателя преломления жидкости в процессе адсорбции. Реологические свойства смесевых композиций определяли на ротационном реометре DHR2 (фирма «TA Instruments» (США)) с рабочим узлом типа «плоскость – плоскость». Поверхностное натяжение жидкостей определяли с помощью цифрового тензиометра K20 Easy Dyne (Kruss) методом отрыва кольца дью Нуи. Проведен сравнительный анализ адсорбции различных глицидиловых эфиров алюмофосфатными геополимерами, показано влияние химического состава алюмофосфатного геополимера на процесс адсорбции. Проведены расчеты проникновения жидкостей в исследованные геополимеры на основании энергетических характеристик их поверхностей, поверхностного натяжения и вязкости жидкостей. Показано, что расчетные и экспериментальные данные имеют хорошую сходимость.

## С-22 ЭЛЕКТРОПОЛИМЕРИЗОВАННЫЕ ПОКРЫТИЯ КРАСИТЕЛЕЙ ИЗ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СОСТАВЕ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕГКООКИСЛЯЮЩИХСЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Галимзянова Г. И.<sup>1</sup>, Сорвин М. И.<sup>1</sup>, Порфирьева А. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Химический институт им.

*А.М. Бутлерова, Казань, Россия*

*420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 29/1*

*galimzyanova98@mail.ru*

Потенциометрия является простым и экспрессным методом определения широкого круга соединений различной природы. В настоящее время потенциометрические сенсоры используются для определения не только неорганических катионов или анионов, но и нейтральных или заряженных органических соединений. Большинство работ в этой области посвящено определению положительно заряженных органических молекул: лекарственных средств, пищевых добавок и красителей. Кроме того, в последнее время наблюдается переход от потенциометрических сенсоров с внутренним жидкостным контактом к твердоконтактным потенциометрическим сенсорам, в том числе на основе различных электрополимеризованных материалов. Твердоконтактные потенциометрические сенсоры обладают рядом преимуществ, таких как возможность миниатюризации, механическая стабильность покрытия, отсутствие ограничений по геометрии и размеру электродов и простота сборки сенсоров.

Недостаточная растворимость органических мономеров в водных буферных растворах и кислотах снижает эффективность их электрополимеризации. Повысить растворимость мономера можно за счет использования органических растворителей, водно-органических сред и глубоких эвтектических растворителей (ГЭР). Электрополимеризованные покрытия политионина, поли(Нейтрального красного) и поли(Азура С), синтезированные из водных сред и релина или ГЭР на основе лимонной кислоты, глюкозы и воды использовали для сборки твердоконтактных потенциометрических сенсоров для определения легкоокисляющихся органических соединений – гидрохинона, дофамина, кверцетина и аскорбиновой кислоты. Для полученных электроактивных полимерных покрытий органических красителей разных классов было изучено влияние кислотности среды на потенциал сенсора и проведена оценка обратимости потенциометрического отклика. На основе синтезированных покрытий был разработан ряд твердоконтактных потенциометрических сенсоров. Показано, что в зависимости от кислотности среды органические соединения проявляли себя как однозарядные анионы, демонстрируя наклоны, близкие к нернстовским, или как восстановители, которые влияли на соотношение окисленной и восстановленной форм электроактивных полимеров в составе модифицирующего слоя. Потенциометрические сенсоры на основе электрополимеризованных покрытий, полученных из ГЭР, демонстрировали более широкий диапазон определяемых концентраций и большую чувствительность по сравнению с покрытиями, электроосажденными из водных сред. Разработанные твердоконтактные потенциометрические сенсоры были апробированы для определения гидрохинона, дофамина, кверцетина и аскорбиновой кислоты в составе косметических средств, лекарственных препаратов и биологически активных добавок. Степень открытия составила от 92 до 107 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-13-00163.

## **С-23 ИЗНОСОСТОЙКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГРАФЕНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМИ И МАГНИТНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ**

**Гатауллина Р.М.<sup>1,2</sup>, Солодов А.Н.<sup>2</sup>, Амиров Р.Р.<sup>2</sup>, Никифоров В.Г.<sup>1</sup>, Шмелев А.Г.<sup>1</sup>,  
Жарков Д.К.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН, 420029,  
Россия, г. Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7*

*<sup>2</sup>Химический институт им. А.М. Бутлерова, Казанский федеральный университет,  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 29/1  
ramigataullina1999@gmail.com*

В настоящее время одним из действенных методов повышения комплексных характеристик эпоксидных композитов является добавление в матрицу смолы 1D и 2D углеродных наноматериалов. Однако использование высоких концентраций углеродных наноматериалов приводит к ухудшению прочностных свойств материала. Концентрация нанонаполнителя вблизи поверхности, где износ наиболее вероятен, позволяет решить эту проблему, обеспечивая высокое содержание функционального нанонаполнителя на рабочей поверхности без ухудшения прочностных свойств всего материала. Также это способствует снижению межфазного напряжения между полимерной структурой и подложкой, предотвращая их расслаивание. Использование магнитного поля позволяет эффективно контролировать распределение нанонаполнителя в материале.

В этой работе представлен эффективный способ функционализации GO магнитными ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , продукт – MGO) и люминесцентными ( $\text{NaYF}_4:\text{Yb}/\text{Er}$ , продукт – MLGO) наночастицами. Восприимчивость к магнитному полю и наличие апконверсионной люминесценции позволяет управлять распределением двумерного нанонаполнителя и отслеживать профили распределения хлопьев MLGO в объеме материала. Результаты исследования указывают на связывание  $\text{NaYF}_4:\text{Yb}/\text{Er}$  с поверхностью хлопьев MGO, посредством нековалентного взаимодействия алкильных групп защитных олеат-ионов на поверхности  $\text{NaYF}_4:\text{Yb}/\text{Er}$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . На основе MLGO и эпоксидного олигомера NPEL-128 были получены образцы EP/MLGO, отверженные в магнитном поле и без него. Для полученных образцов была исследована смачиваемость поверхности. Самые высокие значения угла смачивания были достигнуты для образцов, отверженных в магнитном поле, где более гидрофобные свойства образцу придают хлопья MLGO, собранные вблизи его поверхности. Последнее также является причиной самой низкой скорости износа и коэффициента трения, проявляемых этими образцами по сравнению с образцами, отверженными без магнитного поля.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-42-10012.

## С-24 НОВЫЕ ГАЗОНАПЛНЕННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ БЕНЗОКСАЗИНА

Гафиатуллин Б.Х.<sup>1</sup>, Бурилов В.А.<sup>1</sup>, Антипин И.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ «Казанский(Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18.  
bull1212@yandex.ru

Ключевой стратегической задачей промышленной политики в стране является разработка перспективных отечественных изделий и конкурентоспособной техники для различных целей. Для достижения технологической независимости в производстве и повышения конкурентоспособности продукции, включая авиационную технику, на мировом рынке необходимо постоянно внедрять новые и усовершенствованные полимерные композиционные материалы. В настоящее время активно развивается новый класс термореактивных соединений, представляющий собой особый вид аминофенолформальдегидных смол - бензоксазины. Основными сырьевыми материалами для синтеза бензоксазинов и их производных служат фенолы и амины с различной структурой и функциональностью. Некоторые мономеры производятся в России в достаточных объемах, и их стоимость относительно невысока.

Композиции, применяемые при производстве изделий из пенобензоксазинов с использованием химического метода вспенивания, состоят из мономеров бензоксазина, пенообразователя (порофора), модифицирующих добавок, улучшающих технологические и механические свойства материала, стабилизаторов пен, активаторов, ускоряющий процесс разложения газообразователя, смазок, наполнителей, а также красителей. При этом эти добавки могут оказывать разнообразное влияние на термодинамику и кинетику пенообразования, что усложняет задачу, стоящую перед исследователями.

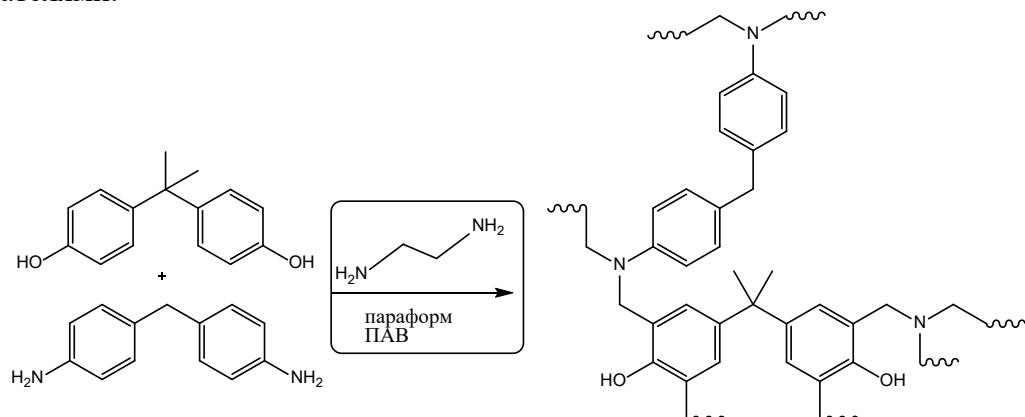


Схема 1. Схема образования полимера на основе бисфенола и бисамина.

В результате нашей работы был разработан новый композитный материал на основе бензоксазина. В качестве гомогенизатора наиболее оптимальным использование этилендиамина, который не только сам вступает в полимеризацию, но и обеспечивает хорошую вязкость расплава олигомера, а также жесткость готовой пены. Наиболее оптимальным наполнителем оказалось стекловолокно, так как имеет низкую стоимость и препятствует усадке пены за счет смачивания расплавом полимера.

**С-25 ИМПЕДИМЕТРИЧЕСКИЙ ДНК-СЕНСОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
АНТРАЦИКЛИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТА ЭХВОГ И  
ПОЛИПРОФЛАВИНА, ЭЛЕКТРОПОЛИМЕРИЗОВАННОГО ИЗ ГЛУБОКОГО  
ЭВТЕКТИЧЕСКОГО РАСТВОРИТЕЛЯ**

Гойда А.И.<sup>1</sup>, Порфириева А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Химический институт им.  
А.М. Бутлерова, Казань, Россия  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 29/1.  
a.goida@mail.ru

Исследования в области электрохимических сенсоров и биосенсоров в существенной степени сконцентрированы на расширении перечня используемых электрополимеризованных покрытий и комбинировании известных модификаторов с носителями/матрицами различной природы. Это позволяет получать новые композитные покрытия с улучшенными аналитическими и операционными характеристиками для определения соединений, востребованных в медицине, экологии и фармакологии. Природные глубокие эвтектические растворители (ПГЭР) – это смеси доноров и акцепторов водородных связей, образующие вязкие жидкости с температурой плавления ниже, чем у исходных компонентов. Углеродные наноматериалы – углеродные нанотрубки, чернь и наноматериалы на основе графена активно используются в составе чувствительного слоя биосенсоров. Профлавин – краситель акридинового ряда, обладающий свойствами интеркалятора ДНК. Электрополимеризованные покрытия на основе полипрофлавина применяют в качестве модификатора поверхности преобразователей сигнала при разработке биосенсоров.

В данной работе ПГЭР на основе лимонной кислоты и глюкозы использовали в качестве среды для электрополимеризации профлавина, диспергирования оксида графена (ОГ) и получения электрохимически восстановленного оксида графена (ЭХВОГ) из ОГ. В качестве диффузионно-свободного редокс-индикатора для установления оптимальной нагрузки ЭХВОГ использовали 0.01 М феррицианид калия. Проведено сравнение послойного и одностадийного протоколов модификации сенсора и выбор оптимального режима электрополимеризации. Потенциостатический режим обеспечивал наибольшую эффективность электрополимеризации профлавина при получении композита. Сравнение протоколов послойного нанесения покрытий ЭХВОГ и полипрофлавина с одностадийной электрополимеризацией для получения композита ЭХВОГ-полипрофлавин показало, что одностадийная электрополимеризация обеспечивала лучшие электрохимические параметры модифицирующих покрытий. Включение молекул ДНК из молок лосося или ДНК из тимуса теленка снижало регистрируемые токи на вольтамперограммах. На основе полученного композита был разработан импедиметрический ДНК-сенсор для определения цитостатических препаратов антрациклического ряда. Различия в гидрофобности антрациклических препаратов доксорубицина, идарубицина и эпирубицина влияли на вид градуировочных зависимостей, диапазоны определяемых концентраций и пределы обнаружения анализаторов с помощью разработанного сенсора на основе композита ЭХВОГ-полипрофлавин и ДНК из молок лосося. Аналитические характеристики определения зависели от механизма взаимодействия лекарственных препаратов с ДНК.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-13-00163.

## **С-26 СИНТЕЗ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ ТКАНЕЙ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ КОЛЛАГЕНА И АЛКИЛ(МЕТ)АКРИЛАТОВ**

Гущина К.С., Вавилова А.С., Кузнецова Ю.Л.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия  
603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23.  
ksesha.gushchina@gmail.com*

Человеческий организм способен к регенерации, вызываемой сложными молекулярными процессами. На неё влияет ряд факторов: возраст, состояние здоровья, стресс, качество жизни, а также характер повреждения ткани. Особенность раны сильно влияет на ранозаживление. В случае сложных повреждений единственным вариантом остается трансплантация. Замена органов осложняется ограниченным количеством доноров, а также имеющимся риском иммунного отторжения трансплантата организмом реципиента.

Тканевая инженерия — раздел регенеративной медицины, занимающийся разработкой бионженерных конструкций, которые за счет состава и структуры активизируют естественное ранозаживление. Ключевым компонентом этой конструкции является скаффолд — 3D-каркас, в который вносятся здоровые клетки ткани и сигнальные факторы. Распространенной формой скаффолда является упругий гидрогель, поскольку за счет своих свойств он позволяет придать имплантируемому материалу необходимую форму. В последние годы набирают популярность гибридные материалы на основе привитых сополимеров природных и синтетических полимеров, обладающие лучшими физико-механическими характеристиками по сравнению с природными полимерами и сохраняющие их биосовместимость, биологическую активность и способность к биоразложению.

В данной работе был осуществлен синтез сополимеров желатин/рыбный коллаген — алкил(мет)акрилат, а также коллаген/желатин — полисахарид (пектин, хитозан) — алкил(мет)акрилат с использованием системы триалкилбор — *n*-хинон. Использование борорганического соединения позволяет сочетать оба типа образования привитых фрагментов «grafting to» и «grafting from», что способствует образованию сшитой структуры необходимой для формирования скаффолда, а *n*-хинон осуществляет дополнительный контроль над молекулярной массой привитого синтетического фрагмента, который в свою очередь задает механические свойства гидрогелю. Для сополимеров было изучено влияние строение *n*-хинона, а также концентраций компонентов полимеризационной смеси на состав, молекулярно-массовые характеристики, морфологию и токсичность полученных сополимеров. Полученные данные свидетельствуют о том, что в присутствии системы трибутилбор — *n*-хинон образуется сополимер сшитой структуры. Были установлены оптимальные условия синтеза и состав сополимера.

На основе синтезированных сополимеров были получены гидрогели, для которых были определены необходимые в скаффолд-технологиях свойства: влагопоглощение, устойчивость в буферном растворе. Полученные результаты позволяют в перспективе рассматривать сополимеры в качестве материалов для регенеративной медицины.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-73-01055.

**С-27 СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ СТЕАРИЛ(МЕТ)АКРИЛАТА С  
N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНОМ МЕТОДОМ КОНТРОЛИРУЕМОЙ  
РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПО МЕХАНИЗМУ ПРИСОЕДИНЕНИЯ –  
ФРАГМЕНТАЦИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КАЧЕСТВЕ ДЕПРЕССОРНЫХ  
ПРИСАДОК К ДИЗЕЛЬНОМУ ТОПЛИВУ**

Долганов Е.Д., Павловская М.В., Гришин Д.Ф.

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия*

*603022, Россия, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23.  
raseroviaraser@gmail.com*

На современном этапе выделяют два пути улучшения низкотемпературных характеристик дизельного топлива. Первый из них направлен на депарафинизацию и гидроизомеризацию парафинов состава C<sub>15</sub> - C<sub>30</sub>, а второй связан с введением в топливо депрессорных присадок, представляющих собой высокомолекулярные соединения на основе сополимеров этилена с винилацетатом, а также высших алкил(мет)акрилатов с мономерами, содержащими в своем составе полярные группы и гетероатомы (азот, кислород и др.), которые способны изменять морфологию растущих кристаллов парафинов и тем самым предотвращать их слипание. Важными характеристиками высокой эффективности депрессорных присадок является молекулярно-массовое распределение вводимых полимеров, их архитектура, а также состав сополимеров. Использование контролируемой радикальной полимеризации позволяет получать сополимеры заданной архитектуры, молекулярной массы и определенного состава, а также проводить полимеризацию в энергетически выгодных условиях и режимах.

Нами методом контролируемой радикальной полимеризации по механизму присоединение – фрагментация были получены сополимеры на основе стеарилметакрилата и стеарилакрилата с N-винилпирролидоном в широком диапазоне мономерных смесей. В качестве агента обратимой передачи цепи и регулятора молекулярно-массовых характеристик был использован 2-цианоизопропилдодецилтритиокарбонат. Установлено, что процесс полимеризации указанных мономеров протекает в контролируемом режиме, характеризующимся линейным ростом молекулярной массы образцов с увеличением конверсии при сохранении узкого молекулярно-массового распределения даже на глубоких степенях превращения. Методами Н<sup>1</sup>ЯМР и ИК-спектроскопии были охарактеризованы и определены составы синтезированных полимеров, а также оценены относительные активности мономеров.

Синтезированные полимерные образцы на высоких степенях превращения были апробированы в качестве депрессорных присадок к гидроочищенному дизельному топливу при их введении в широком диапазоне концентраций от 200 до 1600 ppm. Оценено влияние состава сополимеров и их молекулярно-массовых характеристик на низкотемпературные свойства топлива. Установлено, что наилучший депрессорный эффект для температуры застывания и предельной температуры фильтруемости дизельного топлива наблюдается при использовании сополимеров стеарилметакрилата с N-винилпирролидоном состава 35% на 65% и составляет -21°C и -15°C, соответственно.

Исследования выполнены при поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

## **С-28 СИНТЕЗ КАТИОННЫХ МИКРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-Н-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА И ПРИМЕНИМОСТЬ ИХ КОМПЛЕКСА С АНИОННЫМИ ЛИПОСОМАМИ ДЛЯ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ**

**Жванская Е.С.<sup>1</sup>, Абрамова Т.А.<sup>1</sup>, Ефимова А.А.<sup>1</sup>, Кожунова Е.Ю.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва ул. Ленинские Горы, д. 1  
zhvanskaia.es20@physics.msu.ru*

Микрогели, сочетающие свойства макромолекул, коллоидов и поверхностно-активных веществ, представляют интерес как восприимчивые системы и системы доставки лекарств [1, 2]. Мы исследуем комплексы катионных микрогелей с анионными липосомами, способными инкапсулировать гидрофильные и гидрофобные соединения [3]. Термочувствительные микрогели обеспечивают высвобождение полезной нагрузки двумя механизмами: разрушение адсорбированных липосом при коллапсе микрогелей выше НКТР и разупорядочивание мембран липосом с рН-чувствительным элементом в слабокислой среде, характерной для опухолей и воспалений.

Синтезированы микрогели путём сополимеризации поли-Н-изопропилакриламида (НИПА) и диаллилдиметиламмоний хлорида (ДАДМАХ). На их основе получены комплексы с липосомами первого типа (10 % кардиолипин, 90 % фосфатидилхолин) и второго типа (10 % кардиолипин, 5 % 3-(4-Бутил-1Н-1,2,3-триазолил)-5β-холан-24-овая кислота – рН-переключатель, 85 % фосфатидилхолин).

Динамическое светорассеяние показало, что микрогели коллапсируют при 32 °С, что ниже температуры человеческого тела. Комплексообразование не препятствует этому.

Формирование комплекса подтверждено измерением дзета-потенциала частиц путём микроэлектрофореза: наблюдалась нейтрализация поверхностного заряда микрогеля при добавлении к их дисперсии раствора липосом.

Кондуктометрия показала эффективность высвобождения низкомолекулярного электролита из липосом и оптимальный состав комплекса. Изучен отклик смешанного комплекса с обоими типами липосом на одном микрогеле. В эксперименте первый тип липосом загружали карбоксифлуоресцеином, а второй — солевым раствором. Карбоксифлуоресцеин выбран как модельное соединение, схожее по размерам с лекарственными препаратами; его выход из липосом фиксировался по увеличению флуоресценции. Раздельная инкапсуляция веществ позволила более наглядно отслеживать реакцию каждого типа липосом на раздражители. Разные липосомы проявили независимую реакцию на стимулы, что открывает возможность ступенчатого высвобождения веществ в ответ на заданные физиологические факторы.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Plumper F. A., Richtering W. *Acc. Chem. Res.*, **2017**, 50(2), 131-140.
2. Soni K. S., Desale S. S., Bronich T. K. *J Control Release*, **2016**, 240, 109-126.
3. Allen T.M., Cullis P.R. *Adv. Drug Deliv. Rev.*, **2013**, 65(1), 36-48.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В.Ломоносова и при финансовой поддержке фонда «Базис» (грант № 24-2-1-85-1).

## **С-29 ВЫСОКОПОРИСТЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МИКРОЧАСТИЦЫ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Загоскин Ю.Д.<sup>1</sup>, Кузнецов Н.М.<sup>1</sup>, Захаревич А.А.<sup>1</sup>, Никуленкова О.В.<sup>1</sup>,  
Крупнин А.Е.<sup>1</sup>, Григорьев Т.Е.<sup>1,2</sup>, Чвалун С.Н.<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия  
123182, Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1*

<sup>2</sup>*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский  
университет), Московская область, Россия*

*141701, Россия, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9.*

<sup>3</sup>*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
Москва, Россия*

*117393, Россия, Москва, Профсоюзная улица, 70*

Сегодняшний мир невозможно представить без различных полимерных композиционных материалов. Разработка пористых полимерных микрочастиц является одной из важных практически значимых задач в данной области. Такие частицы могут быть использованы как самостоятельно в медицине, например, при пероральной/легочной доставке лекарств, так и в качестве функционального наполнителя гидрогелевых и стимул-чувствительных материалов [1-3].

В работе представлен подход получения высокопористых полимерных микрочастиц, в том числе композиционных частиц с дисперсиями наночастиц серебра и целлюлозы, из водных или органических растворов полилактида, полиэтиленгликоля, полиакриламида, хитозана, производных целлюлозы, PEDOT:PSS и др. Технология получения частиц основана на принципе сублимационной сушки замороженных при температуре жидкого азота полимерных аэрозолей, которые формировали методом пневматического распыления растворов и/или суспензий в соответствующих растворителях. Средний размер, получаемых описанным образом частиц, варьируется в зависимости от природы полимера и состава исходного раствора в диапазоне 30-150 мкм. Пористость частиц свыше 95 об.%. Строение частиц подтверждено сканирующей электронной микроскопией и характеризуется взаимопроникающими открытыми порами. Стенки частиц по форме являются «отпечатком» формирующихся в процессе охлаждения кристаллов растворителя.

Использование получаемых частиц в качестве наполнителя существенно изменяет как реологические, так и механические свойства композитов. Для описания и прогнозирования механических свойств подобных систем необходимо иметь представление о поведении индивидуальных частиц, при этом исследование столь малых объектов с развитой поверхностью является нетривиальной задачей. В работе была численно решена задача обратного проектирования с применением метода конечных элементов. Показана перспективность предложенного подхода для решения нелинейных задач прогнозирования механического отклика пористых частиц и моделирования механики более сложных систем. Подход был верифицирован на специально полученных крупных частицах (1-3 мм) аналогичного строения.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Zagoskin Y.D. et al. *Biomimetics*, **2023**, 8, 8, 565.
2. Vasilyev A.V. et al. *Inorg. Mater. Appl. Res.*, **2019**, 10, 4, 13–27.
3. Kuznetsov N.M. et al. *Carbohydrate Polymers*, **2021**, 256, 117530.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 22-73-10081.

## С-30 ВОЗДЕЙСТВИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ – ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД УЛУЧШЕНИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ МЕМБРАН ИЗ ПОЛИВИНИЛТРИМЕТИЛСИЛАНА

Зиновьев А.В.<sup>1</sup>, Пискарев М.С.<sup>1</sup>, Скрылева Е.А.<sup>2</sup>, Сенатулин Б.Р.<sup>2</sup>, Гатин А.К.<sup>3</sup>,  
Гильман А.Б.<sup>1</sup>, Сырцова Д.А.<sup>4</sup>, Тепляков В.В.<sup>4</sup>, Кузнецов А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
Россия, 117393, г. Москва, ул. Профсоюзная, 70

<sup>2</sup>Национальный исследовательский технологический университет “МИСИС”, Россия,  
119049, г. Москва, Ленинский просп., 1

<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН,  
Россия, 119991, г. Москва, ул. Косыгина, 4

<sup>4</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчева РАН, Россия, 119991, г.  
Москва, Ленинский просп., 29  
zinovuyev@ispmt.ru

Недостатком газоразделительных ПВТМС мембран при достаточно высокой производительности является невысокая селективность по ряду газов, в частности, селективность по паре  $O_2/N_2$ , составляющая  $\alpha=3.8$ . В данной работе для улучшения газоразделительных свойств был использован метод обработки поверхности пленок ПВТМС в плазме тлеющего разряда постоянного тока пониженного давления. Было установлено значительное улучшение газоразделительных свойств, характеризующееся повышением коэффициента идеальной селективности по паре  $O_2/N_2$  до  $\alpha=10.0$  без потерь проницаемости по целевому газу. Полученный эффект связан, по-видимому, с существенными изменениями химического состава и морфологии поверхности пленок, которые были исследованы с помощью методов РФЭС и АСМ. Было установлено, что химический состав поверхностного слоя модифицированной пленки соответствует тетрагональной координации атомов кремния атомами кислорода, т.е., по-видимому, близок к  $SiO_2$ [1].

Методом прецизионного послойного травления кластерами ионов аргона в сочетании с регистрацией спектров РФЭС модифицированных образцов ПВТМС было установлено образование приповерхностного слоя толщиной 40-50 нм, химическое строение которого градиентно изменяется по глубине, а окружение атомов кремния меняется от  $-Si(-O)_4$  до  $Si-(C)_4$  [2].

Пленки ПВТМС были модифицированы также в разряде с частотой 40 кГц на промышленной установке, после чего было показано, по паре  $O_2/N_2$   $\alpha$  равно 5.2 [3]. Изменения химического строения и морфологии поверхности так же были изучены методами РФЭС и АСМ. Полученные данные свидетельствуют о возможности получения в производственном процессе высоких газоразделительных характеристик при оптимизации условий модификации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Zinoviev A. V., et. all. *High Energy Chemistry*, **2021**, 55 №5, 407-413.
2. Piskarev M. et. all. *Coatings*, **2021**, 11, № 11, 1317-1318.
3. Zinoviev A. V., et. all. *Inorganic Materials: Applied Research*, **2024**, 15 № 2, 545-552.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации, номер темы FFSM-2024-0005.

## С-31 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ СЕЛЕКТИВНОГО РАСТВОРИТЕЛЯ НА ИОННУЮЮ ПРОВОДИМОСТЬ СМЕСЕВОГО ТПЭ.

Иванов И.Д., Гайдадин А.Н., Климов В.В.

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия  
400005, Россия, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28.  
rector@vstu.ru*

Широкое использование литий-ионных аккумуляторов выявило проблемы, связанные с применяемыми электролитами. Жидкие и гелевые электролиты пожаро- и взрывоопасны, имеют ограниченный температурный диапазон и склонны к образованию дендритов лития на катоде, что снижает ёмкость и повышает риск коротких замыканий [1]. Более перспективны твёрдые полимерные электролиты (ТПЭ), которые уменьшают количество органических растворителей и устраниют эти проблемы.

Существующие решения обладают большим недостатком в виде низкой ионной проводимости, которая не превышает  $10^{-4}$  См/см. Перспективным способом повышения ионной проводимости ТПЭ является использование смесей двух полимеров. Этот подход основан на формировании синергетических структур, усиливающих способность полимеров к сольватации ионов лития. Важным параметром для таких смесей является совместимость компонентов, зависящая от молекулярной массы полимеров [2].

Широко распространённым методом получения плёнок твёрдых полимерных электролитов (ТПЭ) является полив из раствора. Этот метод включает приготовление раствора полимеров и соли, его нанесение на подложку и испарение растворителя. В процессе формируется плёнка квази-твёрдого электролита, проходя стадии от раствора до геля. Контроль количества растворителя важен, так как он способствует сольватации ионов лития, образуя комплекс «ион лития-растворитель», который перемещается в полимерной матрице. Растворитель влияет на ионную проводимость, что делает изучение его свойств важным для понимания проводящих характеристик электролитов. В связи с этим еще одним перспективным методом повышения ионной проводимости является введение растворителей, селективных к солям лития [3].

В исследованиях использовался ПВДФ марки Solef 5130 с молекулярной массой 1 000 000 а.е.м.; опытные образцы: ПВДФ-7 (70 000 а.е.м.) и ПВДФ-3 (30 000 а.е.м.). Также использовался гидрированный бутадиен-нитрильный каучук Z2020L. Источником ионов лития служила соль бис(трифторметансульфонил)имид лития (LiTFSI). Для создания растворов была использована смесь растворителей из диметилформамида и тетрагидрофурана. В качестве селективных растворителей использовались пропиленкарбонат и изопропил2,2,3,3-тетрофторпропилкарбонат.

Исследование показало, что ионная проводимость ТПЭ зависит не только от количества, но и от состава растворителя. Использование растворителя, селективного к соли лития, позволяет повысить проводимость при меньшем содержании смесевого растворителя. Для системы Solef:ГБНК проводимость удалось повысить с  $7,98 \cdot 10^{-5}$  См/см до  $5,0 \cdot 10^{-4}$  См/см за счёт применения в системе растворителей поликарбоната.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Chattopadhyay J., Tara Sankar Pathak, Santos D.M.F. Polymers, **2023**, 15, 3907–3907.
2. Иванов И.Д., Гайдадин А.Н., Климов В.В., Навроцкий А.В., Бушуев А.Н., Толстобров И.В. Известия ВолгГТУ, **2024**, 12, 101-109.
3. Barbosa J.C. ACS Applied Energy Materials, **2023**, 6, 5239–5248.

## **С-32 ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГЕЛЬ - ПРОНИКАЮЩЕЙ ХРОМАТОГРАФИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОЛИМЕРОВ В ПОЛИЛАБ КАЗАНЬ**

Ишназарова Л.Р., Назипов М.Р., Ананьева Г.С.

*<sup>1</sup>ПАО «Казаньоргсинтез», Казань, Россия  
420051, г. Казань, ул. Беломорская, 101  
kos@kos.sibur.ru*

Одним из методов, применяющихся для оценки качества полимеров, в частности, композиций на основе полиэтиленов высокой и низкой плотности, является высокотемпературная гельпроникающая хроматография (ГПХ).

Его применение позволяет сократить множество дорогостоящих, трудоемких, продолжительных по времени испытаний, таких как физико-механические испытания, реологические испытания, спектроскопия, поскольку измеряемые методом ГПХ величины, как средние молекулярные массы (ММ), молекулярно-массовое распределение (ММР) и параметры разветвленности (вероятность ветвления  $\lambda$ , частота ветвления  $d$ ) прекрасно коррелируют с основными физико-механическими и реологическими свойствами полимеров, параметрами структуры полимеров.

Метод ГПХ основан на различии времени удерживания материалом хроматографической колонки (пористая структура с заданными размерами и распределением пор) полимерных молекул различной молекулярной массы за счет различия времени их поперечного диффузионного пробега в стационарном потоке элюента. Измеряемые методом ГПХ такие величины, как средние молекулярные массы (ММ), молекулярно-массовое распределение (ММР) и параметры разветвленности прекрасно коррелируют с основными физико-механическими и реологическими свойствами полимеров, параметрами структуры полимеров.

В данной работе продемонстрированы результаты определения ММР и средних ММ (среднечисленной и средневесовой) полиэтилена низкой плотности (высокого давления) марки 10803-020 с учётом длинноцепной разветвленности (ДЦР), а также тех же параметров, но уже без учета ДЦР, для марки HD 02493NP, являющегося полиэтиленом высокой плотности (низкого давления). Обе композиции произведены на ПАО «Казаньоргсинтез».

Экспериментальные данные получены на приборе 1260 Infinity II HT GPC фирмы Agilent, оснащенным системой из трех детекторов – двууглового детектора по светорассеянию, дифференциального рефрактометра и проточного вискозиметра. Данная система позволяет работать методом универсальной калибровочной зависимости, оценивая гидродинамический объем, или радиус инерции молекул элюата – величин, являющихся константами для объектов разной природы.

## С-33 СИНТЕЗ ОЛИГОСИЛОКСАНОВ ТЕЛЕХЕЛЕВОГО СТРОЕНИЯ С 4-АМИНОМЕТИЛФЕНИЛЕН-ЭТИЛЬНЫМИ ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ

Казанцева А.Ю.<sup>1,2</sup>, Транкина Е.С.<sup>1</sup>, Тухватшин Р.Ш.<sup>3</sup>, Музрафаров А.М.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмиянова Российской академии наук, Россия, 119334, г. Москва, ул. Вавилова 28.

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Россия, 141701 Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д.9.

<sup>3</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколова Российской Академии Наук, Россия, 117393, г. Москва, ул. Профсоюзная 70.  
kazantseva2132000@yandex.ru

Олиго- и полисилоксаны с концевыми функциональными группами, в частности амино-группами, представляют большой интерес для синтеза силоксановых блок-сополимеров различными синтетическими методами. Разработка общей стратегии синтеза 4-(аминометилфенилен)этил-замещённых олигосилоксанов и функциональных полисилоксанов на их основе актуальна по нескольким причинам. Первая связана с высокой стоимостью функциональных олигосилоксанов, используемых в качестве строительных блоков для синтеза чередующихся сополимеров<sup>1</sup>. Во-вторых, 4-(аминометилфенилен)этил-замещённые олигосилоксаны являются перспективными мономерами для синтеза полисилоксануретанов, методом аминолиза циклокарбонатов. Данный метод является перспективной альтернативой классического пути синтеза полиуретанов на основе токсичных изоцианатов<sup>2</sup>.

п-(Хлорметил)стирол является коммерчески доступным продуктом, поэтому разработке его силоксановых производных уделяется особое внимание<sup>3</sup>.

В представленном исследовании был разработан метод синтеза дисилоксанов и  $\alpha,\omega$ -олигодиметилсилоксанов с концевыми 4-(аминометилфенилен)этильными группировками посредством реакции гидросилилирования п-(хлорметил)стирола в мягких условиях, с последующей обработкой хлорпроизводных жидким аммиаком в автоклаве. Использованный нами подход введения аминогруппы значительно проще методов, приведенных в предыдущих исследованиях<sup>3</sup>, т.к. позволяет исключить ряд стадий. В присутствии катализатора Спайера были получены искомые продукты с выходами 81-96. %.

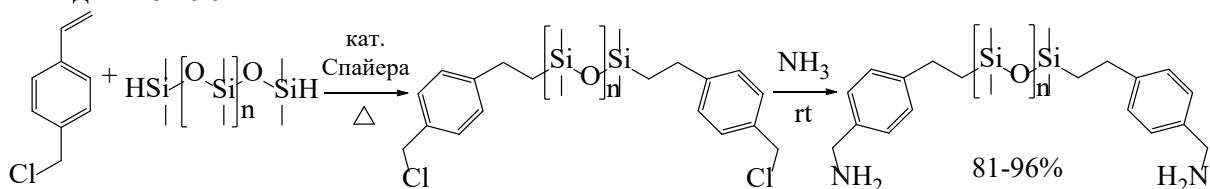


Схема 1. Синтез аминофункциональных силоксанов

### ЛИТЕРАТУРА

1. Auner N., Weis J. Eds. Organosilicon Chemistry V: From Molecules to Materials; Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2003, 856.
2. Haniffa Abd. Cader Mhd., Munawar K., Ching Y.Ch., Illias H.A. *Chem. Asian J.*, 2021, 16, 1281-1297.
3. Drozdov F.V., Cherkaev G.V., Demchenko N.V., Muzafarov A.M. *J. Appl. Polym. Sci.* 2018, 135, 46848-46853.

**С-34 ЭЛЕКТРОПОЛИМЕРИЗОВАННЫЕ ФЕНОЛ-СОДЕРЖАЩИЕ  
КРАСИТЕЛИ  
В КАЧЕСТВЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО СЛОЯ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ  
СЕНСОРОВ**

Калмыкова А.Д., Зиятдинова Г.К.

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18.  
alena.kalmykova.pnb.2000@mail.ru*

Одним из способов получения полимерных материалов, используемых в качестве покрытий, является электрополимеризация. Этот подход характеризуется простотой, экологичностью, поскольку не требует применения большого числа вспомогательных реагентов и исключает стадии очистки и выделения, а также экономичностью. Получаемые покрытия хорошо зарекомендовали себя в качестве чувствительного слоя для электрохимических сенсоров и сенсорных систем при решении широкого круга задач в аналитической химии. В последнее время среди полимерных покрытий уделяется внимание электрополимеризованным материалам на основе соединений фенольной природы, которые показали эффективность в качестве чувствительного слоя вольтамперометрических сенсоров на органические и неорганические соединения.

Предложены новые электрополимеризованные покрытия на основе красителей, содержащих в структуре фенольные фрагменты, в частности, ксантенового красителя пирогаллового красного и триарилметанового красителя фенолового красного. Электрополимеризация этих индикаторов протекает через образование феноксильных радикалов, которые вступают в последующие химические реакции с образованием электрохимически неактивных покрытий. Учитывая низкую проводимость получаемых полимерных покрытий, в качестве подложки использованы стеклоуглеродные электроды, модифицированные различными многостенными углеродными нанотрубками, диспергированными в 1% додецилсульфате натрия. Это обеспечивает стабилизацию полимерной пленки, увеличивает площадь поверхности электрода, скорость электронного переноса и проводимость электрода. Проведен поиск условий электрополимеризации мономеров в потенциодинамическом режиме (число циклов сканирования потенциала, природа и pH фонового электролита, концентрация мономера и параметров электролиза). Так как отклик электрода зависит от природы аналита, то в качестве контролируемого параметра использованы токи окисления эвгенола и *транс*-анетола на электродах с получаемыми полимерными покрытиями. Показано, что электрополимеризацию пирогаллового красного следует проводить из его 100 мкМ раствора в универсальном буферном растворе с pH 7.0 десятикратным циклированием потенциала от 0.0 до 1.3 В со скоростью 75 мВ/с. Такое покрытие в сочетании с карбоксилированными многостенными углеродными нанотрубками обеспечивает наилучший отклик эвгенола. В случае фенолового красного проводили его сополимеризацию с *n*-кумаровой кислотой на подложку из многостенных углеродных нанотрубок путем пятнадцатикратное циклирование потенциала от 0.0 до 1.2 В при скорости сканирования 50 мВ/с в среде универсального буферного раствора с pH 7.0, содержащем 100 мкМ смесь фенолового красного и *n*-кумаровой кислоты.

Разработанные электроды функционируют как чувствительные и селективные вольтамперометрические сенсоры на эвгенол и *транс*-анетол, практическая применимость которых показана на примере анализа эфирных масел.

## С-35 РОЛЬ ПОЛИКАТИОНА В ИЗМЕНЕНИИ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УВЛАЖНЕННОГО КАОЛИНИТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ИПЭК

Киушов А.А.<sup>1</sup>, Панова И.Г.<sup>1</sup>, Молчанов В.С.<sup>2</sup>, Аржаков М.С.<sup>1</sup>, Ярославов А.А.<sup>1</sup>

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, <sup>1</sup>Химический факультет, и <sup>2</sup>Физический факультет, Россия, Москва, ул. Ленинские горы, д. 1

E-mail: [akiushov1@yandex.ru](mailto:akiushov1@yandex.ru)

Каолинит, являясь одним из основных компонентов почв, во многом определяет их отклик на внешние механические нагрузки. Немалый интерес представляет возможность контроля реологических свойств глинистых грунтов, особенно в условиях активно протекающих эрозионных процессов. Перспективным решением проблемы может стать использование полиэлектролитов (ПЭ) и интерполиэлектролитных комплексов (ИПЭК). В работе проведены оценка и анализ реологических параметров увлажненных образцов нативного и модифицированного ПЭ и ИПЭК каолинита, которые представляли собой вязкоупругие пасты. В качестве модификаторов использованы синтетический катионный поли(диалилдиметиламмоний хлорид) (ПДАДМАХ), биостимуляторы растений анионные гуминовые соли калия (ГумК), а также серия различающихся по составу и заряду катионных и анионных нестехиометрических ИПЭК на их основе. Массовое содержание полимеров в образцах ( $\omega$ ) варьировали в диапазоне: от 0.01 до 1.3 мас.% для индивидуальных ПЭ и  $\omega=0.5$  масс.% для ИПЭК. Модуль накопления ( $G'_0$ ) и величина приложенного напряжения ( $\tau_0$ ) в области линейной вязкоупругости (ДЛВ), а также модуль накопления ( $G'_{kp}$ ) и напряжение ( $\tau_{kp}$ ) в точке инверсии упругого и вязкого отклика (точке кроссовера) получены методом динамической амплитудной развертки в осциллярном режиме деформации. Внесение малых добавок ПДАДМАХ в систему приводит к увеличению силовых реологических параметров на 1–2 порядка, наибольший эффект достигается при  $\omega=0.45$  мас. % (Рис. 1, А). Внесение анионных гуматов при  $\omega \geq 0.25$  мас. % приводит к снижению этих параметров на 1–1,5 порядка. Все ИПЭК не зависимо от состава и заряда вызывают увеличение значений  $G'_0$ ,  $\tau_0$ ,  $G'_{kp}$ ,  $\tau_{kp}$ ; степень влияния определяется количеством поликатиона в составе поликомплекса (Рис. 1Б). Таким образом, использование ИПЭК позволяет вносить биостимулирующие ГумК в почву, нивелируя при этом их ослабляющий эффект на реологический отклик модифицированного грунта.

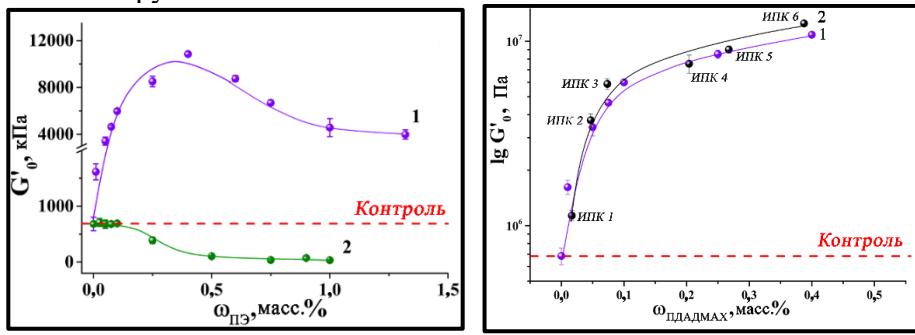


Рис. 1. Зависимость (А) модуля накопления  $G'_0$  от содержания катионного ПДАДМАХ (1) и анионных ГумК (2) в увлажненном каолините и зависимость (Б)  $\lg G'_0$  от содержания ИПЭК (1) и поликатиона в ИПЭК (2)

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по крупному научному проекту по приоритетным направлениям научно-технологического развития (грант № 075-15-2024-553)

## С-36 СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ГИДРОФИЛЬНЫХ РЕДОКС-АКТИВНЫХ МИКРОГЕЛЕЙ С ТЕТРАЗИНОВЫМИ ФРАГМЕНТАМИ

Кожунова Е.Ю.<sup>1</sup>, Сентюрин В.В.<sup>1</sup>, Иноземцева А.И.<sup>2,1</sup>, Николенко А.Д.<sup>2,1</sup>, Магдесиева Т.В.<sup>1</sup>, Хохлов А.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

119991, Россия, г. Москва ул. Ленинские Горы, д. 1

<sup>2</sup>ФИЦ ХФ РАН им. Н.Н. Семёнова, Москва, Россия

119334, Россия, г. Москва, ул. Косыгина, д.4

*kozhunova@polly.phys.msu.ru*

В последнее время наблюдается повышенный интерес к органическим редокс-активным веществам, которые могут применяться как в комбинированных, так и в полностью органических приложениях, к примеру, в аккумуляторах. Органические молекулы более доступны по цене и подлежат переработке, их стоимость не зависит от добычи и запасов редких элементов. Одним из ключевых направлений в этой области является разработка редокс-активных материалов на основе полимеров. Полимеры с функциональными группами, способными к обратимому окислению и восстановлению, демонстрируют высокую способность к переносу и хранению заряда.

В нашем исследовании мы разработали новые виды водорастворимых полимеров с *s*-тетразинами (1,2,4,5-тетразинами) в роли редокс-активных боковых групп. *S*-тетразины — одни из самых малых органических молекул, которые могут обратимо двухэлектронно восстанавливаться в протонных средах и применяться как анолиты. Важные плюсы *s*-тетразинов — хорошая растворимость, отличная химическая устойчивость и возможности дальнейшего изменения их структуры. Мы синтезировали разные водорастворимые производные *s*-тетразина, чтобы потом ввести их в полимерную цепь. При этом были использованы полимеры различной архитектуры — линейные и сшитые в трехмерные частицы микрогелей. Эксперименты показали, что водные растворы таких тетразинсодержащих полимеров демонстрируют устойчивое обратимое окисление и восстановление [1].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Kozhunova, E.Y.; Sentyurin, V.V.; Inozemtseva, A.I.; Nikolenko, A.D.; Khokhlov, A.R.; Magdesieva, T.V. *Polymers* **2025**, 17, 60.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-13-68030).

## С-37 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРОВ ТИОФЕНОВОГО РЯДА И ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Колесник С.С.<sup>1</sup>, Анищенко Д.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9  
staphylinuscaesareus@gmail.com*

Среди множества полимерных материалов существует класс соединений, с каждым годом набирающих все большую популярность – электропроводящие полимеры. Они обладают уникальным сочетанием высокой проводимости и механических, оптических свойств. Они используются в энергозапасающих технологиях (органические перезаряжаемые батареи, суперконденсаторы, связующие для литий-ионных аккумуляторов), химических датчиках, (био)микроэлектронике и биомедицине (доставка лекарств, тканевая инженерия) [1,2]. Особый интерес вызывают электропроводящие полимеры тиофенового ряда – замещенные политиофены – поскольку данные соединения обладают рядом важных характеристик, таких как высокая проводимость, простота получения и экологичность. Политиофены активно внедряются в устройства для хранения электроэнергии, являются перспективными для создания солнечных батарей [3].

Для эффективного внедрения полимеров тиофенового ряда в новые технологии необходимо наиболее полно изучить данный класс соединений, чему и посвящены наши исследования. В данной работе мы исследовали полимеры тиофенового ряда с помощью ряда методов: циклической вольтамперометрии (ЦВА), спектроскопии электрохимического импеданса (СЭИ), потенциостатического прерывистого титрования (ПТТ), электрохимической кварцевой микрографии (EQCM), измерение проводимости. В ходе эксперимента были получены сведения о проводимости и диффузии в полимерной пленке, сопротивлении переносу заряда на границе пленка-подложка и изменение значения емкостей двойных электрических слоев.

Полученные результаты позволили связать изменения электрохимических параметров с процессами переноса заряда, протекающими как на границах раздела фаз, так и внутри пленочного слоя. Сопоставление свойств различных полимеров позволило выявить отличия между изучаемыми полимерами и их композициями, что поможет в подборе полимерных веществ для новых технологических решений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Nguyen, V.A.; Kuss, C. Review—Conducting Polymer-Based Binders for Lithium-Ion Batteries and Beyond. *J Electrochem Soc* **2020**, *167*, 065501, doi:10.1149/1945-7111/ab856b.
2. Sengodu, P.; Deshmukh, A.D. Conducting Polymers and Their Inorganic Composites for Advanced Li-Ion Batteries: A Review. *RSC Adv* **2015**, *5*, 42109–42130, doi:10.1039/C4RA17254J.
3. Kaloni, T.P.; Giesbrecht, P.K.; Schreckenbach, G.; Freund, M.S. Polythiophene: From Fundamental Perspectives to Applications. *Chemistry of Materials* **2017**, *29*, 10248–10283, doi:10.1021/acs.chemmater.7b03035.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ 24-73-10157.

## С-38 СТИМУЛ-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ АНИОННЫЕ СОПОЛИМЕРЫ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ АДГЕЗИВОВ

Кузнецова Е.К.<sup>1</sup>, Кожунова Е.Ю.<sup>1,2</sup>, Плуталова А.В.<sup>1,2</sup>, Черникова Е.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, химический факультет, Москва, Россия*  
*kuznetsova@polly.phys.msu.ru*

Полимерные комплексы с высокой адгезией активно используют во многих областях: модифицированные поверхности в электронике, мягкие «роботы» в медицине, экологически чистые пищевые упаковки. В хирургии медицинские клеи на основе полимеров используются для восстановления повреждений и разрезов как внешних, так и внутренних тканей организма, потому клей для регенеративной медицины должен сочетать в себе биосовместимость, высокую адгезию и не препятствовать росту тканей [1]. Использование комплексных адгезивов позволяет ускорить процедуру закрытия разрезов, снизить травматизм, а также риск передачи инфекционных заболеваний [2].

Решением проблемы учета всех приведенных свойств может стать использование kleев, получаемых путем формирования динамических нековалентных связей между компонентами. В настоящей работе в условиях контролируемой радикальной полимеризации нами были синтезированы группы анионных водорастворимых сополимеров различного состава для дальнейшего использования в качестве матрицы медицинского клея. Полимеризацию с обратимой передачей цепи проводили в водных или органических средах, как в растворе, так и гетерофазно. Были получены и охарактеризованы водорастворимые сополимеры акриловой кислоты (АК) с N-изопропилакриламидом (НИПАМ), стиролсульфоната натрия с НИПАМ и АК со стиролом. С помощью разнообразных исследований, в том числе методом динамического светорассеяния, были изучены особенности термо- и pH-чувствительного поведения полимеров в водных растворах для определения оптимальных составов ради дальнейшего включения в состав адгезивной композиции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang Y., Li X., Zhu Q., Wei W, Liu X., *Biomacromolecules*, **2020**, 21, 5222-5232.
2. Ma C., Sun J., *Nat Commun*, **2021**, 12, 3613.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-43-00049.

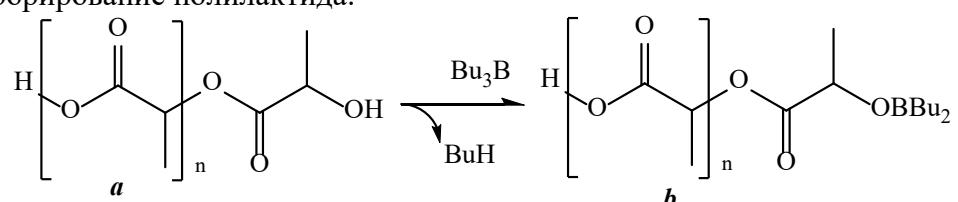
## С-39 ТРИБУТИЛБОРАН В СИНТЕЗЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИЛАКТИДА И ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

Кузнецова Ю.Л.<sup>1</sup>, Хмелевский К.П.<sup>1</sup>, Гришин И.Д.<sup>1</sup>, Гущина К.С.<sup>1</sup>

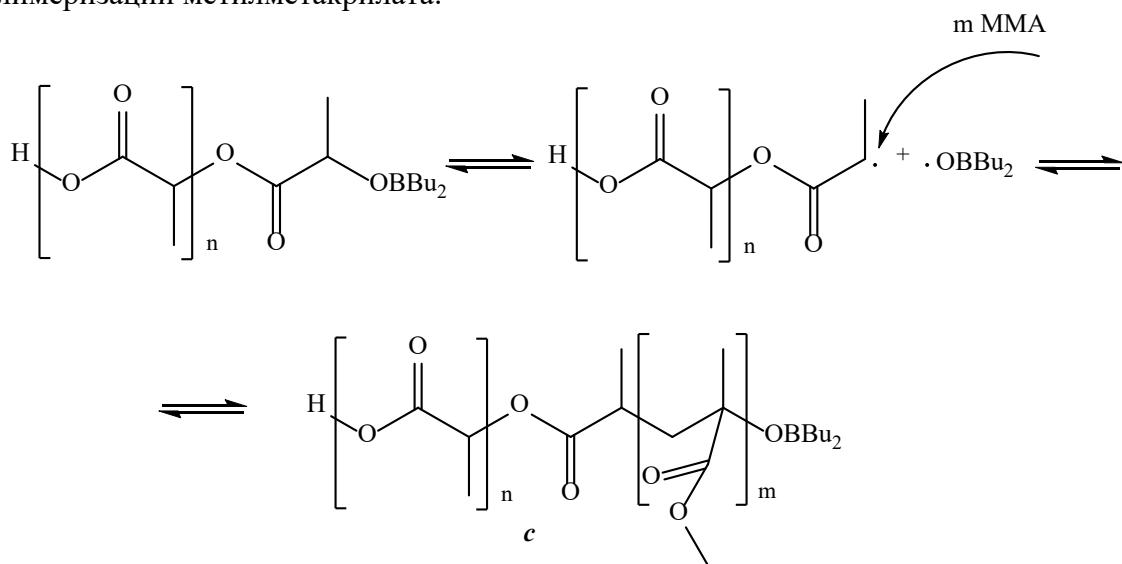
<sup>1</sup>Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия  
603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23.  
kyul@yandex.ru

Триалкилбораны способны принимать участие во всех элементарных стадиях радикальной полимеризации, что делает их универсальными реагентами радикальной (со)полимеризации, в том числе привитой и блок-сополимеризации.

Предложен новый подход к синтезу сополимеров полилактида. Первая стадия - дибутилборирование полилактида:



Модифицированный таким образом полилактид выступает макроинициатором полимеризации метилметакрилата:



Методом МАЛДИ масс-спектрометрии установлено, что массовые числа спектров полилактида, борированного полилактида и блок-сополимеров соответствуют макромолекулам **a**, **b**, **c**. Изменения молекулярно-массовых характеристик сополимеров отвечают контролируемой полимеризации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (базовая часть госзадания, проект № FSWR-2023-0025).

## С-40 ПОЛУЧЕНИЕ СИЛИКОНОВЫХ ПОЛИМЕРОВ ПРИ ЗАДАННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Лакомкина А.Р., Хаматгалимов А.Р., Загидуллин А.А.

Институт органической и физической химии им А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН,  
Казань, Россия  
420088, Россия, г. Казань, ул. Арбузова, д. 8.  
[alena.lakomkina.00@mail.ru](mailto:alena.lakomkina.00@mail.ru)

Для получения силиконовых полимеров и резин используют Pt-катализируемую реакцию гидросилилирования [1]. Эта реакция представляет собой присоединение кремний-гидридной (Si–H) группы к ненасыщенным углерод–углеродным связям (C=C и C≡C). Реакция проходит под воздействием ультрафиолета, высокой температуры или в присутствии катализатора.

В данной работе использовалась система сшивки: Vi-PDMS (1) + H-PDMS (2) + катализатор Карстеда (рис. 1). Добавка ингибитора в систему, содержащей катализатор Карстеда ( $\text{Pt}^0$ ), позволяет варьировать температуру аддитивной сшивки Vi-PDMS и H-PDMS, что определялась с помощью метода ТГ-ДСК.

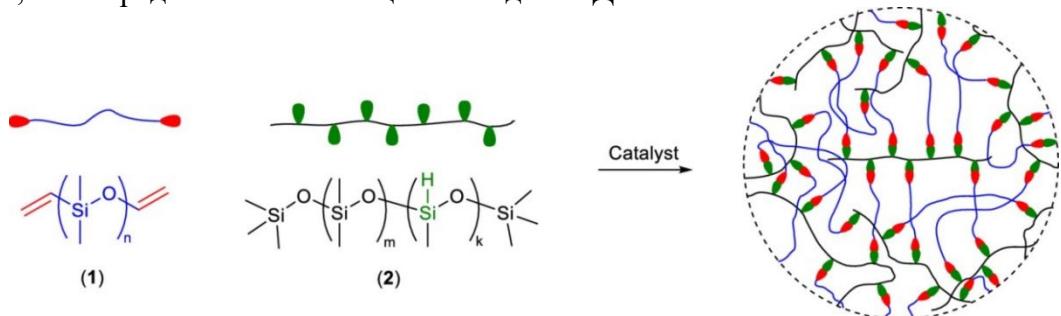


Рис.1. Взаимодействие Vi-PDMS (1) и H-PDMS (2) в присутствии Pt-катализатора.

Изменение температуры реакции позволяет получить силиконовые резины в заданном температурном интервале (25–100 °C), что используется для изготовления изделий медицинского и бытового назначения (рис. 2).



Рис.2. Полученные образцы отверженной силиконовой резины.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Lewis, L. N., Stein, J., Gao, Y., Colborn, R. E., & Hutchins, G. *Platinum Metals Review*, 1997, 41(2), 66-75.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН.

## С-41 СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРИМИДОВ НА ОСНОВЕ ДИАНГИДРИДА, СОДЕРЖАЩЕГО ТЕТРАМЕТИЛЗАМЕЩЕННЫЙ БИФИНИЛЕНОВЫЙ ФРАГМЕНТ

Лисенков К.В.<sup>1</sup>, Баклагин В.Л.<sup>2</sup>, Абрамов И.Г.<sup>2</sup>, Цегельская А.Ю.<sup>1</sup>, Солдатова А.Е.<sup>1</sup>,  
Кузнецов А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФБГУН Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова  
РАН, Москва, Россия

117393, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 70с2

<sup>2</sup>Ярославский Государственный Технический Университет, Ярославль, Россия  
150023, Россия, г. Ярославль, ул. Московский проспект, д. 88  
[lisenkov.lis@yandex.ru](mailto:lisenkov.lis@yandex.ru)

Ароматические полиэфиримиды (ПЭИ) обладают ценным комплексом свойств, а именно высокой тепло- и термостойкостью, деформационной и химической устойчивостью, в области газоразделения данный класс полимеров имеет высокую селективность по легким газам и низкую проницаемость ввиду малых коэффициентов диффузии и растворимости газов в мембране. Сильное межмолекулярное взаимодействие полимерных цепей в большой степени снижает способность ПЭИ к растворению в органических растворителях. Введение объемных заместителей в структуру полимерного звена приводит к увеличению внутреннего объема и, соответственно, повышению проницаемости полимера, а также к снижению межмолекулярного взаимодействия и улучшению растворимости полимеров. В работе был синтезирован диангидрид с четырьмя метильными заместителями (МОФА). Методом высокотемпературной каталитической поликонденсации в расплаве бензойной кислоты [1] на основе МОФА и диаминов различного строения синтезирован ряд ПЭИ со структурой звена приведенной на рис. 1.

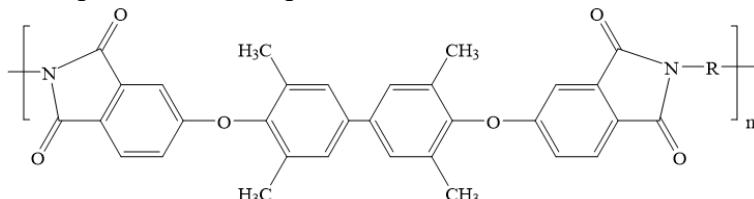


Рис. 1. ПЭИ на основе тетраметилзамещенного диангидрида (МОФА)

Методами ИК и <sup>1</sup>Н ЯМР спектроскопии подтверждалась структура синтезированных полимеров. Исследованы молекулярно-массовые характеристики ПЭИ, растворимость, термические, механические и другие свойства полимеров. Показано, что присутствие тетраметилзамещенного бифениленового фрагмента в структуре диангидрида при использовании определенных диаминов может обеспечить одновременно высокие температуры стеклования и растворимость в органических растворителях ПЭИ на их основе.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Orlova A.M., Tsegelskaya A.Yu., Kuznetsov A.A. *Polymer*, 2022, 256, №125258, 1-11.

Работа выполнена с использованием приборной базы Центра коллективного пользования ИСПМ РАН.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, номер темы FFSM-2024-0005.

**С-42 НОВЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ  
ПОЛИ(НЕЙТРАЛЬНОГО КРАСНОГО), СИНТЕЗИРОВАННОГО ИЗ  
ГЛУБОКОГО ЭВТЕКТИЧЕСКОГО РАСТВОРИТЕЛЯ, И УГЛЕРОДНЫХ  
НАНОМАТЕРИАЛОВ В СОСТАВЕ ДНК-СЕНСОРОВ**

Маланина А.Н.<sup>1</sup>, Дербишева Р.В.<sup>1</sup>, Порфириева А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Химический институт им.  
А.М. Бутлерова, Казань, Россия  
420008 г. Казань, ул. Кремлевская, д. 29/1  
malanast@mail.ru

Понятие «глубокий эвтектический растворитель» (ГЭР) появилось два десятилетия назад с открытием первого представителя этой группы растворителей-релина. ГЭР представляют собой смесь, состоящую из донора и акцептора водородной связи, при смешивании которых образуется жидкость с более низкой температурой плавления, чем у исходных компонентов. Синтез ГЭР как «зеленых растворителей» предполагает использование доступных и распространенных природных соединений, что позволяет снизить затраты времени и ресурсов. Разнообразие исходных компонентов ГЭР позволяет варьировать их физико-химические свойства, что значительно расширяет возможности и границы их использования. В области разработки электрохимических (био)сенсоров наибольший интерес вызывает возможность применения ГЭР как сред для диспергирования углеродных наноматериалов и получения полимерных покрытий.

Нейтральный красный (НК) - краситель класса феназинов, способный к электрохимической полимеризации с образованием электроактивного полимера. Низкая растворимость мономера в воде ограничивает эффективность его электрополимеризации на электроде. Использование углеродных наноматериалов позволяет увеличить эффективную площадь поверхности электрода, что влияет на количество молекул биорецептора, иммобилизованных на поверхности сенсора.

В рамках данной работы был разработан протокол получения композитных покрытий на основе поли(НК), синтезированного из среды ГЭР, и различных углеродных наноматериалов. Электроосаждение красителя из среды ГЭР на печатном графитовом электроде позволило впервые дифференцировать пики окисления мономерной и полимерной форм НК. В качестве углеродных материалов использовали два типа углеродной черни (250G и 350G) и функционализированные углеродные нанотрубки. Введение углеродной черни 350G в состав композита приводило к увеличению эффективной площади поверхности электрода и возрастанию токов пиков модифицирующего покрытия.

Была проведена оценка возможности применения изучаемых покрытий в составе чувствительного слоя ДНК-сенсоров. В случае низкомолекулярной ДНК из молок лосося дискриминация специфических взаимодействий была возможна только по изменению потенциалов пиков восстановления. Введение в состав покрытий высокомолекулярной ДНК из эритроцитов цыпленка позволило дискриминировать термически денатурированную и окисленную ДНК по токам пиков на вольтамперограммах за счет присутствия в структуре биополимера ГЦ-богатых участков. Полученный сенсор был успешно апробирован для оценки общего содержания антиоксидантов в нескольких торговых марках чая и кофе. Полученные результаты были подтверждены методом кулонометрического титрования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-13-00163.

## **С-43 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИФЕНАЗИНОВ ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОПОЛИМЕРИЗАЦИИ**

Медведева А.С<sup>1</sup>, Харькова А.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Тульский государственный университет, Тула, Россия  
300012, Россия, г. Тула ул. проспект Ленина, д. 92.  
[info@tsu.tula.ru](mailto:info@tsu.tula.ru)*

Полифеназины, например, полинейтральный красный, политионин, полиметиленовый синий и полибриллиантовый крезиловый синий - это класс полигетероциклических полимеров, обладающих выраженной редокс-активностью и способностью к медиаторному переносу электронов, что определяет применение полимеров в качестве покрытий рабочих электродов электрохимических микробных и ферментных биосенсоров [1]. В данной работе исследованы изменения константы скорости переноса электронов в системе «электрод – редокс-полимер» полифеназинов, полученных методом электрополимеризации, и выбор перспективного редокс-покрытия для количественного мониторинга биохимического потребления кислорода (БПК).

Константа скорости переноса электронов – это величина, характеризующая скорость перемещения электронов в редокс-полимере под действием электрического поля. Эта константа играет ключевую роль в определении электрической проводимости, важно, что чем выше значение константы, тем быстрее электроны перемещаются, что способствует лучшей проводимости. Для исследования электрохимических характеристик проводящих полимеров применили метод циклической вольтамперометрии. Исследование показало, что значение константы скорости переноса электронов увеличивается в ряду: политионин ( $0,048 \pm 0,005$  см/с), полиметиленовый синий ( $0,24 \pm 0,05$  см/с), полибриллиантовый крезиловый синий ( $0,27 \pm 0,08$  см/с), полинейтральный красный ( $0,401 \pm 0,009$  см/с). Благодаря высокой скорости переноса электронов, полинейтральный красный был выбран в качестве оптимального материала для создания БПК-биосенсора из-за его превосходных электрохимических свойств.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Xiang Qi, Shuyi Wang, Tian Li, Xin Wang, Yong Jiang, Yuexi Zhou, Xiaohong Zhou, Xia Huang, Peng Liang. *Biosensors and Bioelectronics*, Volume 173, **2021**, 112822.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-73-01220,  
<https://rscf.ru/project/23-73-01220/>*

## С-44 ПОЛИМЕРНО-НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ГРАНУЛЫ НА ОСНОВЕ АЛЬГИНАТА НАТРИЯ ДЛЯ ДОСТАВКИ ПРИРОДНЫХ ПОЛИФЕНОЛОВ

Восканян Л.А.<sup>1</sup>, Исакова Е.Н.<sup>1</sup>, Маркарян А.А.<sup>1,2</sup>, Мешина К.И.<sup>1</sup>, Разави Х.С.<sup>3</sup>,  
Оスマловская О.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
199034, Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия*

*195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29 литера Б*

<sup>3</sup>*Тегеранский университет, Тегеран, Иран  
Иран, г. Тегеран, ул. 16 Азар, пл. Энгелаба  
kmeshina99@inbox.ru*

В последние годы наблюдается рост интереса к разработке препаратов, способных уменьшать негативное влияние окислительных процессов в организме на здоровье человека. Для подобных целей предложено применять антиоксиданты, в том числе полифенолы, однако, до сих пор нерешенным вопросом является их пролонгированная пероральная доставка. По нашему мнению, перспективным решением является разработка композитного материала на основе гидрогеля альгината натрия и биосовместимых наночастиц бёмита ( $\gamma$ -AlOOH) и гидроксиапатита ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ). Загрузка материала полифенолами и их выделение должно определяться структурными параметрами композита, которые, в свою очередь, можно регулировать, изменения природу, размер и форму нанонаполнителя.

Для получения наночастиц различной морфологии в случае бёмита варьировали методику внесения реагентов в реакционную среду и её pH, синтез проводили в гидротермальных условиях; наночастицы гидроксиапатита получали с применением микроволнового нагрева при трех температурах. Образцы были охарактеризованы методами РФА (фазовый состав, параметры решетки, размер и форма кристаллитов), ИК-спектроскопии, ПЭМ (размер и форма наночастиц, ПЭМ высокого разрешения и выделенная область электронной дифракции), удельная поверхность была определена по методу БЭТ. Показано, что наночастицы бёмита имеют форму пластин, веретен и стержней; наночастицы гидроксиапатита формируются по механизму ориентированного присоединения и представляют собой стержни различного размера.

Была разработана и оптимизирована методика получения композитных гранул для достижения максимальной загрузки и высвобождения полифенолов. На основании всех синтезированных нанонаполнителей были получены и комплексно охарактеризованы (размер и форма, внутренняя структура, вес и степень набухания) мокрые и высушенные гранулы. В буферном растворе, моделирующем среду кишечника, была определена степень высвобождения полифенолов и процент набухания сухих гранул. Размер мокрых гранул уменьшается в ряду стержни – веретена – пластины, и он тем меньше, чем меньше частицы наполнителя. Размер сухих гранул также зависит от размера частиц; для наполнителя большего размера наблюдается более выраженное набухание. Высвобождение определяется формой и размером частиц нанонаполнителя, оптимальное значение демонстрируют пластины бёмита большего размера. Таким образом, нами продемонстрирована возможность регулирования характеристик композитных гранул путем варьирования параметров наполнителя.

Работа поддержана грантом СПбГУ № 107174568. Автор благодарит РЦ СПбГУ «РДМИ», «МАСВ», «Нанотехнологии», «ДФММФН», «ВМПИ», «ОЛМИВ», «ИТКН».

# С-45 ДВУХКОМПОНЕНТНЫЙ МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГРАФЕН/МИКРОКАПСУЛЫ: ОРТОГОНАЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ

Руднов Василий Сергеевич.<sup>1</sup>, Ван Минюань.<sup>1</sup>, Чжэн Ли.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19  
wmy\_hitcq@163.com

**Аннотация:** В данной статье исследуется баланс между модифицированным оксидом графена и микрокапсулами, применяя метод ортогональных испытаний для композитного добавления. Основными показателями оценки являются прочность на 3, 7 и 28 день, а также коэффициент восстановления. Исследуется влияние этих двух материалов на бетон при композитном добавлении. На основе ортогональных испытаний было установлено, что оптимальная рекомендуемая комбинация добавок для композитного цементного материала соответствует соотношению A2B2C2. Анализ данных показал, что коэффициент восстановления прочности Кх в целом демонстрирует тенденцию к увеличению, и с увеличением числа дней восстановления значение Кх постепенно возрастает. Микроанализ подтверждает, что при высвобождении содержимого микрокапсул образовывается большее количество связующего вещества, что заполняет трещины.

С развитием современных технологий традиционные строительные материалы, включая бетон, начинают не соответствовать высоким требованиям.[1]Бетон, имея хорошую механическую прочность, подвержен растрескиванию из-за своей пористой структуры, что снижает его долговечность и увеличивает затраты на обслуживание.[2.3] В связи с этим, особенно популярна технология самовосстановления, в частности с применением микрокапсул, которая повышает прочность и электророводимость бетона. Данное исследование предлагает метод композитного бетона, подходящего для лёгких проводящих сред, использующего двухкомпонентный модифицированный графен и микрокапсулы. Ортогональные испытания помогут оценить их влияние на характеристики бетона, улучшая его механические свойства и самовосстановление. Исследование направлено на предоставление научных рекомендаций для разработки и применения бетонных материалов.

**Выводы:** В статье исследуется прочность, самовосстановление и свойства бетона с модифицированным окисленным графеном/микрокапсулами через 3, 7 и 28 дней. Определено оптимальное соотношение: 3% микрокапсул, 0,1% окисленного графена и соотношение воды к цементу 0,45 (A2B2C2). Коэффициент восстановления прочности на сжатие Кх увеличивается с увеличением времени восстановления, что связано с повышением вероятности прохождения трещин через микрокапсулы и активизацией реакции силикат-натрия. В результате восстановление прочности достигает 80%. Микроскопический анализ подтверждает разрушительные свойства микрокапсул, что приводит к образованию большего количества связывающих веществ для заполнения трещин.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Joshi Sumit,Goyal Shweta,Mukherjee Abhijit et.al.Protection of concrete structures under sulfateenvironments by using calcifying bacteria // Construction and Building Matererials.-2019.- Vol.209. - P.156-166.
2. Bengisu M.,Ferrara M.Designing withkinetic materials // SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology.2018.P.65-80.
3. Жукова Г.Г., Сайфулина А.И. Исследование применения самовосстанавливющегося бетона // Construction and Geotechnics. – 2020. – Т. 11, № 4. – С. 58–68.

## **С-46 ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭКСПРЕССНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД**

**Мухаметдинов Ч.Р.**<sup>1,2</sup>, Зильберг Р.А.<sup>1</sup>, Волкова А.А.<sup>1</sup>, Ишмакаева Г.И.

<sup>1</sup>*Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия  
450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32/5.*

<sup>2</sup>*ООО ИонПро, Уфа, Россия  
450071, Россия, г. Уфа, б-р Молодёжный, д. 2  
chingizkhan.mukhametdinov@gmail.com*

Выявление фальсификата в товарообороте бутилированных минеральных вод, которые потребляются всеми возрастными группами, представляется весьма актуальной задачей. Минеральный баланс микро- и макроэлементов минеральных вод определяется геохимическими особенностями водоносных слоев источника/скважин и является основой для выработки рекомендаций и противопоказаний по употреблению. Дебит скважин, особенно известных брендов, ограничен, поэтому распространенные способы фальсификации предполагают недостоверное указание источника, смешение минеральных вод разных гидрохимических типов, изменение минерализации добавлением солей. Композитные вольтамперометрические сенсоры в сочетании с элементами искусственного интеллекта позволяют создать комплексную экспрессную аналитическую систему типа «электронный язык» для идентификации по производителю и установления подлинности реализуемых минеральных вод. Решение отличается простотой, доступностью, низкой себестоимостью анализов и хорошей адаптивностью.

Разработанные композитные сенсоры с перекрестной чувствительностью на основе стеклоуглеродных электродов, модифицированных токопроводящими полимерами (полиариленфталидами, полиэлектролитными комплексами хитозана) с различными наночастицами (восстановленный оксид графена, углеродные нанотрубки, наночастицы золота) позволяют быстро и качественно получить многомерную информацию об исследуемых образцах, заменяющую результаты множества аналитических методов, что несомненно является важным преимуществом перед традиционными способами контроля качества, т.к. сокращает время анализов, приборный парк и упрощает требования к квалификации персонала и пробоподготовке. Вольтамперограммы исследуемых образцов минеральных вод (Ессентуки №17, Ессентуки №4, Лысогорская, Donat, Borjomi, STELMAS Mg) зарегистрированные в циклическом режиме обрабатываются хемометрическими методами (PCA, PLS, SIMCA) что обеспечивает одновременно доступность и скорость таких видов анализа минеральных вод, как установление подлинности, срока годности, классификации по производителю, что невозможно с помощью других аналитических методов. Следует отметить, что использование односенсорных систем не позволяет однозначно идентифицировать исследуемые образцы минеральных вод по природе и производителю. С применением же мультисенсорного подхода – хемометрической обработки вольтамперограмм последовательно зарегистрированных на композитных сенсорах с перекрестной чувствительностью, данные аналитические задачи успешно решены.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФСИ договор №3780ГССС15-L/99367 от 29.10.2024

## С-47 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНКОМИЦИНА С ПОМОЩЬЮ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОГО СЕНСОРА НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНО- ИМПРИНТИРОВАННОГО ПОЛИАКРИЛАМИДА

Назыров М.И.<sup>1</sup>, Умутбаев Н.С.<sup>1</sup>, Абдуллин Я.Р.<sup>1</sup>, Ульмаскулова Л.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт химии и защиты в чрезвычайных ситуациях Уфимского университета  
науки и технологий, Уфа, Россия  
450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32.  
tnazyrov@list.ru*

Линкомицин, относящийся к группе линкозамидов, широко применяется в терапии бактериальных инфекций, что делает контроль его концентрации в лекарственных формах и биологических жидкостях критически важным для обеспечения безопасности и эффективности лечения. Традиционные методы анализа, такие как высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) или масс-спектрометрия, обеспечивают высокую точность, но требуют значительных временных и финансовых затрат, а также сложного оборудования. В этой связи разработка вольтамперометрических сенсоров на основе молекулярно-импринтированных полимеров (МИП) представляет собой перспективную альтернативу, сочетающую селективность, скорость анализа и экономичность [1].

Целью данной работы стала разработка вольтамперометрического сенсора на основе МИП с использованием акриламида в качестве мономера для селективного определения линкомицина. Акриламид был выбран благодаря его уникальным свойствам, обеспечивающим эффективное взаимодействие с молекулой антибиотика, а именно амидная группа ( $-\text{CONH}_2$ ) в структуре акриламида способна образовывать водородные связи с гидроксильными ( $-\text{OH}$ ) группами линкомицина. Кроме того, полиакриламид формирует гибкую и пористую полимерную матрицу, которая сохраняет структурную целостность после удаления шаблона, обеспечивая образование полостей, комплементарных линкомицину. Немаловажным фактором является химическая стабильность полимера, устойчивого к окислению и гидролизу в широком диапазоне pH, что повышает долговечность сенсора.

Модификация стеклоуглеродного электрода МИП-покрытием позволила создать сенсор, чувствительный к присутствию линкомицина. Сенсор продемонстрировал воспроизводимость с относительным стандартным отклонением менее 4.5%, линейный диапазон детектирования составил 0.001–0.5 мМ. Практическая апробация метода на фармацевтических препаратах (таблетки, инъекционные растворы), модельных образцах сыворотки крови и определения линкомицина в присутствии других антибиотиков (кларитромицин, азитромицин) и структурного аналога (клиндомицин) показала восстановление линкомицина в диапазоне 98–102%.

Таким образом, использование акриламида в качестве мономера для синтеза МИП обеспечило создание селективного, чувствительного и стабильного вольтамперометрического сенсора для определения линкомицина. Перспективы работы связаны с адаптацией подхода для одновременного анализа нескольких антибиотиков и интеграцией сенсора в портативные устройства для экспресс-диагностики.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Yarkaeva Yu.A., Dymova D.A., Nazyrov M.I., Zagitova L.R. Voltammetric sensor based on molecular imprinted polymer for lincomycin detection. – *Chim. Tecno Acta*, 2023. – V.10. – No. 202310210. DOI: 10.15826/chimtech.2023.10.2.10.

## **С-48 ДИСПЕРТЕСТЕР КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ. ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ.**

Невская В.В., Данилов И.С., Ярцева Т.А., Новикова Т.Н., Муромцев Д.Н.

*Полиглаб Воронеж, АО «Воронежсинтезкаучук», СИБУР, г. Воронеж, Россия, 394014,  
Воронежская Область, г. Воронеж, пр-кт Ленинский, д.2.  
e-mail: [VSKoffice@vsk.sibur.ru](mailto:VSKoffice@vsk.sibur.ru)*

В процессе изготовления резинотехнических изделий одним из наиболее сложных, трудоемких и значимых этапов является подготовка резиновой массы. Качество смешения определяет долговечность, износостойкость и эксплуатационные характеристики конечной продукции, а его контроль является важной практической задачей, оценку которой можно провести по степени диспергирования наполнителя.

Оценку степени диспергирования технического углерода в каучуке определяют визуально по блеску среза смеси и степени неровности его поверхности, однако данный метод не является объективным. Имея вариации рецептур с разным содержанием ингредиентов и результаты физико-механических испытаний возможно провести количественную оценку степени диспергирования наполнителя в резиновой смеси, но для этого необходимо набор статистики, к тому же точный расчет степени диспергирования технического углерода труден [1].

Существует способ оценки качества смешения при помощи определения тангенса угла механических потерь  $\tan \delta$  и сдвигового модуля накопления  $G'$  на приборе RPA [2]. Этот способ информативен и эффективен, однако требует использования дорогостоящего оборудования и распространяется только на резиновые смеси.

Однако, диспертестер позволяет определять степень диспергирования наполнителя как в резиновых смесях, вулканизатах и является достаточно экспрессным. Принцип работы диспертестера базируется на отражении света от поверхности образца и получения ее (поверности) изображений, которые возможно обработать с помощью различного программного обеспечения и провести математический расчет.

В качестве объектов исследования служили образцы сырой резиновой смеси, вулканизированной резины. Дополнительно представляло интерес проверить возможность применимость прибора и метода для окрашенных компаундов, смесевые композиций на основе резиновой крошки.

Результаты проведенных испытаний показали, что лучше всего данный метод оценки распределения подходит для вулканизированных образцов резины. В этом случае прибор дает результаты с лучшей сходимостью по значениям. В отношении резиновой смеси сходимость результатов была хуже, что предположительно возможно нивелировать подбором условий пробоподготовки. Для окрашенных компаундов и смесевых композиций на основе резиновой крошки метод оказался неприменим: в первом случае наиболее очевидной причиной скорее всего являлось некорректная идентификация прибором поверхности компаунда, во втором наблюдался высокий процент расхождения между результатами испытаний, вероятнее всего обусловленный неравномерным распределением резиновой крошки в образце.

1. Переработка каучуков и резиновых смесей (реологические основы, технология, оборудование) / Е.Г. Вострокнутов, М.И. Новиков, В.И. Новиков, Н.В. Прозоровская. М.: Химия, 1980. 280 с
2. Муромцев Д.Н., Пичхидзе С.Я. Оценка степени диспергирования и гомогенности резиноковых смесей на основе этиленпропиленовых каучуков // Вестник СГТУ. 2012. № 4 (68). С.158-163.

## **С-49 ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ ОТ ВРЕМЕНИ ИХ ВЫДЕРЖКИ В СОСТОЯНИИ РАСПЛАВА: ВЛИЯНИЕ ТИПА НАНОРАЗМЕРНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ**

**Непомнящих В.В., Лебедев О.В., Куркин Т.С., Голубев Е.К., Пискарев М.С.,  
Озерин А.Н.**

*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук, Москва, Россия  
v.nepomnyashchikh@ispmt.ru*

Многокомпонентные полимерные системы, в том числе полимерные нанокомпозиционные материалы, в процессе их переработки в состоянии расплава могут находиться в сильно неравновесном термодинамическом состоянии. Установление равновесия в такого рода материалах сопровождается эволюцией морфологии композиционного материала. Это, в свою очередь, может вызвать значительные изменения эксплуатационных и функциональных характеристик материала [1].

Одним из проявлений эффекта установления термодинамического равновесия в расплавах полимерных композиционных материалов является агломерация наночастиц наполнителя или их миграция к границам раздела фаз. При этом в качестве границы раздела фаз может выступать внешняя поверхность расплава, что приводит к формированию насыщенного частицами наполнителя приповерхностного слоя композита [2]. Такого рода градиентная структура композиционного материала может иметь отличные от неравновесного случая – случая равномерного распределения наполнителя – эксплуатационные и функциональные характеристики. Например, в композитных системах с электропроводящими наночастицами, продолжительная выдержка полимерного материала в состоянии расплава способствует повышению его электропроводности, снижая при этом значения порога перколяции.

Целью данной работы являлось исследование структурно-функциональных особенностей композиционных материалов на основе таких термопластичных полимеров, как полипропилен, модифицированных наполнением углеродными наночастицами различного типа. В качестве наполнителей использовались три типа наноалмазной шихты детонационного синтеза, представляющей собой гибридный углеродный материал, и технический углерод. Ключевой особенностью используемых наполнителей является различие в объемном соотношении графитовой и наноалмазной фаз. Была изучена возможность контроля таких характеристик композиционных материалов, как трибологические, механические, и адгезионные характеристики, не только путем вариации объемного содержания наполнителя в полимерной матрице, но и изменением распределения наноразмерного наполнителя в композитах за счет их выдержки в состоянии расплава в течение определенного времени.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Zhang, X.; Wada, T.; Channingkwan, P.; Thakur, A.; Taniike, T. Compos. Part A Appl. Sci. Manuf. **2019**, 126, 105602.
2. Lebedev O. V, Goncharuk G.P., Ozerin A.N. Polymers, **2021**, 13 (7), 1030

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-73-01269.

## С-50 РАЗРАБОТКА БЕСХЛОРНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА ФЕНИЛЭТОКСИСИЛАНОВ И ПОЛИМЕРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Николаева А.Н., Самороднова А.П., Загидуллин А.А.

Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ, 420088, Россия, г. Казань, ул. академика Арбузова, д. 8.  
anastasiyanikolaeva14072002@gmail.com

Кремнийорганические полимеры (силиконы) – высокомолекулярные соединения, содержащие атомы кремния и углерода в составе элементарного звена макромолекулы. Основной класс таких соединений представляют полисилоксаны  $(R_2Si-O)_n$ , в которых основная молекулярная цепь состоит из чередующихся атомов кремния и кислорода, а атомы углерода входят в состав боковых групп. Фенилэтоксисиланы могут использоваться в качестве мономеров для получения силиконовых полимеров и композиций различных составов, в том числе в красках, обеспечивая быстросохнущее, атмосферостойкое покрытие, пригодное для использования в условиях высоких температур [1, 2].

Нами был разработан бесхлорный метод синтеза фенилэтоксисиланов, основанный на реакции Гриньяра с использованием широкодоступных тетраэтоксисилана, хлорбензола и металлического магния. В ходе работы была исследована зависимость выхода продуктов реакции от соотношения исходных реагентов и концентрации растворителя в реакционной смеси.

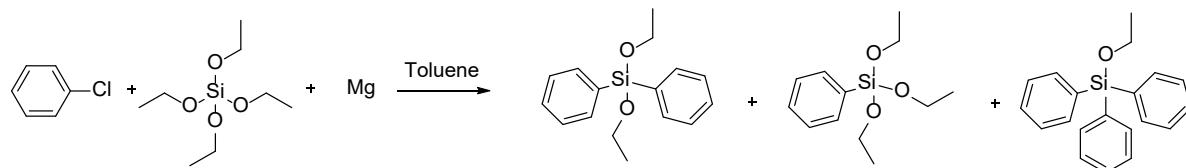


Схема 1. Синтез фенилэтоксисиланов.

Фенилтриэтоксисилан  $PhSi(OEt)_3$  и дифенилдиэтоксисилан  $Ph_2Si(OEt)_2$  были разделены с помощью вакуумной перегонки и в дальнейшем подвергались реакции поликонденсации в «активной среде» (гидролиз водным раствором  $HCl$  или  $CH_3COOH$ ) [3]. «Активная среда» – смесь вещества с органическим растворителем, являющееся одновременно и растворителем, и реагентом, участвующим в химическом процессе. Полученных олигомерные фенилсилоксаны охарактеризованы с помощью методов  $^1H$  ЯМР-спектроскопии, ИК-спектроскопии и ГПХ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ryzhova O.G., Kontorov A.M., Polivanov A.N., Mirgazitova R.S., Katanaev A.I. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, **2014**, 4 (5), 520-530.
2. Mosley D.W., Khanarian, G., Conner, D.M., Thorsen, D.L., Zhang, T.L., Wills, M. *Journal of Applied Polymer Science*, **2014**, 131 (3), 39824–39834
3. Егорова Е. В., Василенко, Н.Г., Демченко, Н.В., Татаринова, Е.А., Музрафов, А.М. *Доклады академии наук*, **2009**, 424 (2), 200-204.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН.

**С-51 ПОВЕРХНОСТНОЕ ФТОРИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНЫМ ФТОРОМ  
ПЛЕНОК ПОЛИСУЛЬФОНА И ПОЛИЭФИРСУЛЬФОНА В СРЕДЕ  
ПЕРФТОРДЕКАЛИНА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ИХ ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ  
СВОЙСТВ**

**Белов Н.А.<sup>1</sup>, Никифоров Р.Ю.<sup>1</sup>, Пашкевич Д.С.<sup>2</sup>, Камбур П.С.<sup>2</sup>, Сырцова Д.А.<sup>1</sup>,  
Хаширова С.Ю.<sup>3</sup>, Гайдар А.И.<sup>4</sup>, Алентьев А.Ю.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук,  
Москва, Россия*

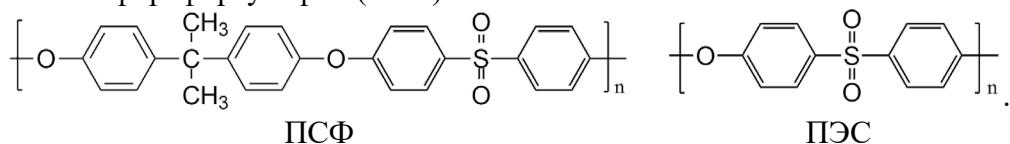
*119991, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 29.*

<sup>2</sup>*Политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия  
195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая улица, д. 29*

<sup>3</sup>*Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик, Россия  
360004, Россия, КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского, д. 173*

<sup>4</sup>*Научно-исследовательский институт перспективных материалов и технологий,  
Москва, Россия  
05187, Россия, г. Москва, ул. Щербаковская, д. 53  
[belov@ips.ac.ru](mailto:belov@ips.ac.ru)*

Прямое поверхностное фторирование пленок и мембран улучшает их газоразделительные характеристики по водород- и метан-содержащим парам газов, в том числе и по паре O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>. Наиболее значительные эффекты возрастания селективностей наблюдаются для высокопроницаемых полимеров (политриметилсилилпропин, полибензодиоксан РИМ-1). Однако, большой практический интерес представляет использование в качестве объектов фторирования промышленно выпускаемых полимеров, также применяемых для изготовления поливолоконных пористых и газоразделительных мембран. Одним из таких представителей являются полисульфон (ПСФ) и полиэфирэфирсульфон (ПЭС):



Поверхностное фторирование полимерных пленок проводили во фторопластовом реакторе фторирующей смесью (10 об. % F<sub>2</sub> + 90 об. % N<sub>2</sub>) в среде перфтордекалина, который перемешивали с помощью магнитной мешалки в течение 60, 120 и 180 мин.

Было показано, что с увеличением размера молекулы пенетранта эффект снижения газопроницаемости от фторирования существенно возрастает и составляет 1.8 – 13 раз для кислорода, 4 – 37 раз для азота и диоксида углерода, 30 – 70 раз для метана. Наибольшее снижение газопроницаемости и увеличение селективности достигается при времени фторирования 60 – 120 мин. Дальнейшее увеличение времени обработки, по-видимому, приводит к образованию более дефектного фторированного слоя с повышенной проницаемостью и меньшей селективностью.

Таким образом, обработка низкопроницаемых коммерческих полисульфонов элементным фтором в среде перфтордекалина значительно улучшает их газоразделительные свойства по водород-содержащим парам газов и для пары O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>, что позволяет рекомендовать эту методику для модификации промышленных поливолоконных газоразделительных мембран на их основе.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИНХС РАН.

## **С-52 ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО НЕОРГАНИЧЕСКОГО АНТИПИРЕНА**

Новиков В.А., Стегно Е.В., Грачев А.В. Бычков В. Ю., Шаулов А.Ю., Берлин А.А.

*Федеральный исследовательский центр химической физики  
им. Н.Н.Семенова Российской академии наук, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва ул. Косыгина, д.4  
viktor.novikov@chph.ras.ru*

Горючность материалов на основе органических полимеров одна из важнейших задач, требующих решения.

Традиционно горючность полимерных материалов уменьшают введением в их состав соединений, ингибирующих процесс горения – антипирены.

Введение в композиции полимеров гетерогенных неорганических антипиренов сопровождается значительными реологическими трудностями и существенным уменьшением прочности материала, что ограничивает его содержание в смесях. Использование же галогенсодержащих антипиренов сопровождается выделением токсичных продуктов деструкции при горении.

Существует класс неорганических термопластичных полимеров – поликосиды, обладающие способностью к значительному ингибираванию окислительных процессов и наряду с этим обладающие температурой текучести расплава, близкой к температуре текучести полиуглеводородов.

В работе рассмотрен новый принцип получения огнестойких полимерных материалов с повышенной деформацией. При использовании антипирена ни как гетерогенной добавки, а как термопластичного антипирена в гибридной полимерной смеси с полиуглеводородом, что позволило увеличить его содержание в смесях с органическими полимером до 80 масс. %.

Важным аспектом исследования является определение достижимого уровня огнестойкости материалов с высоким уровнем деформации и высоким кислородным индексом.

Методом экструзионного смешения при различных температурах получены деформативные гибридные полимерные смеси низкомолекулярного полифосфата аммония (ПФА) с сополимером этилена и винилацетата (СЭВА).

Обнаружено увеличение температура текучести расплава смесей при увеличении температуры смешения.

Предложена химическая схема превращений компонентов в процессе формировании композита, связанных с деполимеризацией фосфатной цепи. Процесс деполимеризации цепи с числом мономерных звеньев  $n = 30$  определен рентгеноструктурным анализом и показано образование новых кристаллических структур ПФА с  $n = 1 - 4$ .

Калориметрические измерения тепловых эффектов реакций окисления исходных компонентов и смеси позволили определить уменьшение теплового эффекта окисления органической фазы с 917 до 296 Дж/г, при этом термостойкость композиций составила 300 °С, что превышает термостойкость исходного ПФА.

Определено, что предельная деформации при удлинении состава с 80 масс. % содержанием ПФА в смеси составляет  $\varepsilon_p = 60 - 213\%$  в зависимости от температуры экструзии, а кислородный индекс равен 55.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ХФ РАН.

## С-53 ПОЛУЧЕНИЕ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ СОПОЛИМЕРОВ И ОЦЕНКА ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ

Осетров К.О.<sup>1</sup>, Ульянова Н.Ю.<sup>1,2</sup>.

<sup>1</sup>ЗАО "Научно-производственный центр материалов и добавок", Санкт-Петербург, Россия

195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 26.

<sup>2</sup>Филиал НИЦ "Курчатовский институт"-ПИЯФ-ИХС, Санкт-Петербург, Россия  
199034, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. Адм. Макарова, д. 2

[ko.osetrov@np-cmid.ru](mailto:ko.osetrov@np-cmid.ru)

Для модификации свойств бетона широко распространено использование поликарбоксилатных эфиров. В основном их применение сводится к пластификации и обеспечению требуемой подвижности бетонных смесей. Однако сегодня пластификаторы должны не только обеспечивать удобоукладываемость бетонной смеси, но и обеспечивать требуемые технологические и физико-механические параметры [1]. Поликарбоксилатные эфиры оказывают влияние на прочность бетона как в начальный период, так и во всем временном интервале твердения. Обширно применяемые линейные полиэфиры не всегда эффективно распределяются в бетонной смеси, даже иногда снижая конечную прочность. Целью получения звездообразных сополимеров (рис. 1) было регулирование кинетики твердения и увеличения конечной прочности бетона.

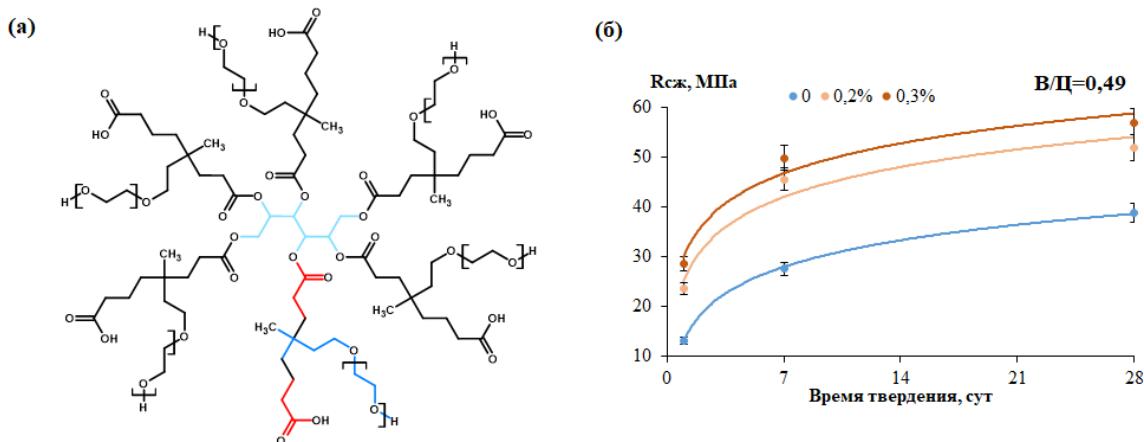


Рисунок 1 – Структура разработанного пластификатора (а) и его влияние на прочность бетона одинакового состава в зависимости от дозировки (б)

В отличии от более часто применяемых линейных поликарбоксилатов со случайным распределением мономеров звездообразные сополимеры получают по более сложной технологии. Однако, они способны обеспечивать лучшее диспергирование, повышая агрегативную устойчивость цементных частиц, увеличивая степень гидратации и приводя к формированию большего числа кристаллизационных центров.

В докладе была показана возможность увеличения предела прочности бетона на сжатие в 1,5 раза при введении 0,3 % полученного пластификатора от массы цемента (ЦЕМ I 42,5).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Усачева Т.Р., Крайнова А.А., Виноградова Л.А., Оганян В.В., Кокурина Г.Н., Мышенков М.С., Ануфриков Ю.А., Шашерина А.Ю., Адамцевич А.О. *Изв. вузов. Химия и хим. Технология*, 2024, 67, 6, 88-93. DOI: 10.6060/ivkkt.20246706.6979.
2. Ibragimov R., Fediuk R. *Construction and Building Materials*, 2019, 226, 839-848. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.313.

## С-54 ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОГО КОМПЛЕКСА ПОЛИАНИЛИНА С РЕДОКС- АКТИВНЫМ ПОЛИАНИОНОМ

Пестерева Ю.Н.<sup>1</sup>, Потапенков В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9  
st116692@student.spbu.ru

Композиты на основе проводящих полимеров и полиэлектролитов обладают множеством полезных свойств и находят применение в самых разных сферах науки и технологии. В частности, коммерчески доступный композит PEDOT:PSS (поли(3,4-этилендиокситиофен) : полистиролсульфонат) имеет высокий уровень электропроводности, близкий к уровню металлов, а также превосходную электрохимическую стабильность, но низкую гравиметрическую электрическую емкость [1].

Ранее был изучен комплекс проводящего полимера PEDOT с сульфированным поливинилпирокатехином (SPVC), который является структурным аналогом PEDOT:PSS [2, 3]. Комплекс PEDOT:SPVC обладает значительно большим уровнем теоретической электрической емкости ( $330 \text{ мАч г}^{-1}$  против  $21 \text{ мАч г}^{-1}$  у PEDOT:PSS), что делает его перспективным кандидатом на роль катодного материала в органических аккумуляторах. Тем не менее максимальная практическая емкость PEDOT:SPVC составила лишь  $95 \text{ мАч г}^{-1}$ , что связано с низким сродством между полимерами: материал был неоднороден, SPVC выделялся в отдельную фазу, обладающую низкой электроактивностью из-за высокого сопротивления самого полимера.

Эту проблему можно решить путем введения SPVC в комплекс с полианилином (PAni), который при определенных условиях существует в виде поликатиона. Согласно первичным результатам, в комплексе PAni:SPVC наблюдается повышенный уровень электроактивности в сравнении с PEDOT:SPVC.

Данная работа будет посвящена изучению методов электросинтеза комплекса PAni:SPVC и исследованию его электрохимических свойств (рис.1).

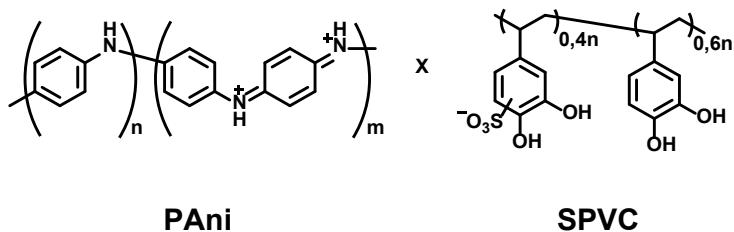


Рисунок 1. Структурная формула полиэлектролитного комплекса PAni:SPVC.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Gueye M.N., Carella A., Faure-Vincent J., Demadrille R., Simonato J.P. *Prog. Mater. Sci.*, **2020**, 108, 100616.
2. Lukyanov D.A., Vereshchagin A.A., Soloviova A.V., Grigorova O.V., Vlasov P.S., Levin O.V. *ACS Appl. Energy Mater.*, **2021**, 4(5), 5070-5078.
3. Vereshchagin A.A., Potapenkov V.V., Vlasov P.S., Lukyanov D.A., Levin O.V. *Nanomaterials*, **2022**, 12(11), 1917.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта СПбГУ № 123042000120-3.

## С-55 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОИЗВОДНЫХ ГЛИЦИДИЛАКРИЛАТА И УГЛЕВОДОВ

Петрова Ю.А.<sup>1</sup>, Евдокимов А.Н.<sup>1</sup>, Липин В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Высшая школа технологии и энергетики

Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и  
дизайна, Санкт-Петербург, Россия

198095, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д.4

[yulia.petrova1997@yandex.ru](mailto:yulia.petrova1997@yandex.ru)

Полимеры на основе глицидилакрилата обладают различными свойствами благодаря наличию эпоксидной группы в молекуле мономера, что позволяет создавать материалы с заданными характеристиками для широкого применения в различных областях современной промышленности благодаря своим уникальным химическим и физическим свойствам [1]. Благодаря своей структуре, полимеры на основе глицидилакрилата имеют высокую сорбционную емкость и механическую прочность, устойчивость к износу, химическую и коррозионную стойкость, высокую адгезию, что дает возможность использовать их в качестве сорбентов [2] и покрытий изделий или адгезивов различного назначения [3].

Целью данной работы является получение полимеров на основе глицидилакрилата и углеводов и исследование их физико-химических свойств.

Глицидилакрилат синтезировали взаимодействием акриловой кислоты с эпихлоргидрином в присутствии хлорида тетраметиламмония [4]. Полимеры получали взаимодействием глицидилакрилата с карбоксиметилцеллюлозой или крахмалом в диметилформамиде. Исследовалась сорбционная способность полученных полимеров по отношению к двухвалентным ионам тяжелых металлов. Полученные данные достоверно описываются моделью Ленгмюра, а сам процесс сорбции носит физический характер. Так, численные значения энергии Гиббса адсорбции  $Cu^{2+}$  составляют -2,13; -2,38; -2,27; -0,83 кДж/моль, что говорит о самопроизвольном протекании процесса сорбции ионов металлов полученными полимерами. Полученные экспериментальные данные по кинетике сорбции ионов тяжелых металлов достоверно описываются моделью псевдо-первого порядка реакции. Рассчитаны значения энергии активации разложения полученных полимеров и образовавшихся комплексов с двухвалентными ионами тяжелых металлов. Показано, что присутствие таких ионов в структуре полимерной сетки повышает термическую стабильность полимера.

Сорбционную емкость полученных полимеров по отношению к красителям исследовали на модельных растворах конго красного, пиразолонового желтого и метиленового голубого с концентрациями 5 - 50 мг/л. Было установлено, что сорбция красителей описывается моделью Ленгмюра. Рассчитанные значения кажущейся энергии сорбции красителей полученными полимерами свидетельствуют о протекании процесса по механизму физической сорбции. Установлено, что pH раствора красителей оказывает значительное влияние на сорбционную способность полимеров.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Kocak G., Solmaz G., Tuncer C., Butun V. *Eur. Polym. J.*, **2019**, 110, 364-377.
2. Mashabi R.A., Khan Z.A., Elwakeel K.Z. *Materials Advances*, **2022**, 3, 14, P.5645-5671.
3. Tajbakhsh S., Hajiali F., Maric M. *React. Funct. Polym.*, **2021**, 167, 105008.
4. Евдокимов А.Н., Курзин А.В., Липин В.А. Петрова Ю.А. // Бутлеров. сооб., **2023**, 76, 12, 167-170.

## С-56 ДИВИНИЛ-СТИРОЛЬНЫЕ РАСТВОРНЫЕ КАУЧУКИ С ПЛАСТИФИКАТОРАМИ НА ОСНОВЕ ТАЛЛОВОГО МАСЛА

Петряева П.А.<sup>1</sup>, Пьянкова П.Ю.<sup>1</sup>, Лагунова С.А.<sup>1</sup>, Муромцев Д.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Полилаб Воронеж, АО «Воронежсинтезкаучук», СИБУР, г. Воронеж, Россия  
394014, Россия, Воронежская область, г. Воронеж, пр-кт Ленинский, д.2.  
VSK-office@vsk.sibur.ru

Устойчивость стала одной из нарастающих проблем в различных отраслях по всему миру, и рынок резиновых добавок не стал исключением. Повышение осведомленности об экологических вопросах привело к активному развитию добавок, получаемых из возобновляемых ресурсов, таких как биоразлагаемые пластификаторы, стабилизаторы на основе натурального каучука и растительные масла. С помощью таких экологически чистых решений возможно увеличение положительного воздействия на природу при производстве каучуков. Кроме того, данный способ позволяет не только соответствовать нормативным требованиям, но и удовлетворять потребности сознательных потребителей. 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 [1-3].

Учитывая указанные тренды и потребности шинных компаний, в компании ПолиЛаб Воронеж были проведены исследования по замене нефтяных масел типа ТДАЕ на пластификаторы на основе таллового масла, получаемые в деревообрабатывающей промышленности (ПЛ-1, ПЛ-2, ПЛ-3, ПЛ-4) в составе маслонаполненного каучука ДССК-2562М-27. Исследования показали, что резиносодержащие смеси становятся более пластичными, легче обрабатываются, формуются с большой плавностью, а также снижаются теплообразование, 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 динамических характеристик, хотя и сопровождаются некоторым снижением механической прочности.

Таким образом, разработки на основе 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.

### ЛИТЕРАТУРА

2. Kerns ML., e.a. (2016) *Triglyceride containing solution polymerization prepared styrene/butadiene elastomer and tire with component*. Patent US, no US20170058112.
3. Bastioli K., e.a. (2013) *Plant derivatives as extender oils and biofillers in elastomeric compositions*. Patent EU, no EA029447B1.
4. Soddu L., Veneri G. (2012) *Process for the preparation of 1,3 -butadiene and styrene copolymers and use thereof in vulcanizable elastometric compositions*. Patent RU2597016C2, C08C19/42.

## С-57 МОДИФИКАЦИЯ ПЛЕНОК ПОЛИФЕНИЛЕНОКСИДА В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Пискарев М.С.<sup>1</sup>, Зиновьев А.В.<sup>1</sup>, Гильман А.Б.<sup>1</sup>, Скрылева Е.А.<sup>2</sup>, Сенатулин Б.Р.<sup>2</sup>,  
Сырцова Д.А<sup>3</sup>, Алентьев А.Ю.<sup>3</sup>, Кузнецов А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук, Россия, 117393, Москва, ул. Профсоюзная, д. 70.

<sup>2</sup>Национальный исследовательский технологический университет “МИСИС”, Россия, 119049, Москва, Ленинский просп., д. 1

<sup>3</sup> Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиеva Российской академии наук, Россия, 119991, Москва, Ленинский просп., д. 29  
mikhailpiskarev@gmail.com

Полифениленоксид (ПФО) является перспективным материалом для процессов газоразделения, а задача повышения селективности разделения таких пар газов как CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> является актуальной[1]. Данная работа посвящена изучению влияния параметров обработки в низкотемпературной плазме на химическую структуру, поверхностные свойства и газоразделительные характеристики пленок ПФО.

Обработку пленок ПФО проводили в тлеющем разряде постоянного тока, рабочим газом служил воздух ток разряда составлял 50 мА, давление в рабочей камере 15 Па. время обработки варьировалось от 10 до 60 с. Установка и методика обработки подробно описаны в работе [2].

Установлено, что обработка в плазме приводит к существенной гидрофилизации поверхности полимера. С помощью метода рентгенофотоэлектронной спектроскопии было показано образование значительного количества кислородсодержащих групп на поверхности пленок ПФО. Методом атомно-силовой микроскопии исследовано изменение морфологии поверхности пленок после воздействия плазмы и найдено заметное увеличение их щероховатости.

Газоразделительные характеристики модифицированных пленок изучали по методике, описанной в [3]. Модифицированные пленки демонстрируют значительно более высокую селективность для пар газов CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> без снижения проницаемости CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> относительно исходных значений. Полученные данные позволяют повысить эффективность использования мембран из ПФО в различных процессах газоразделения, в том числе, при разделении компонентов воздуха.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Khulbe K.C., Matsuura T. *Membrane Applications. In: Nanotechnology in Membrane Processes. Lecture Notes in Nanoscale Science and Technology.* **2021.** V. 29.
2. Demina T.S., Drozdova M.G., Yablokov M.Y., Gaidar A.I., Gilman A.B., Zaytseva-Zotova D.S., Markvicheva E.A., Akopova T.A., Zelenetskii A.N. *Plasma Proc. Polym.* **2015.** V. 12. № 8. P. 710.
3. Efimova E.A., Syrtsova D.A., Teplyakov V.V. *Separation Purif. Techn.* **2017.** V. 179. P. 467.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и образования Российской Федерации, номер темы FFSM-2024-0002.

## С-58 СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ИНТЕРПОЛИМЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ПРОВОДЯЩИХ И РЕДОКС-ПОЛИМЕРОВ

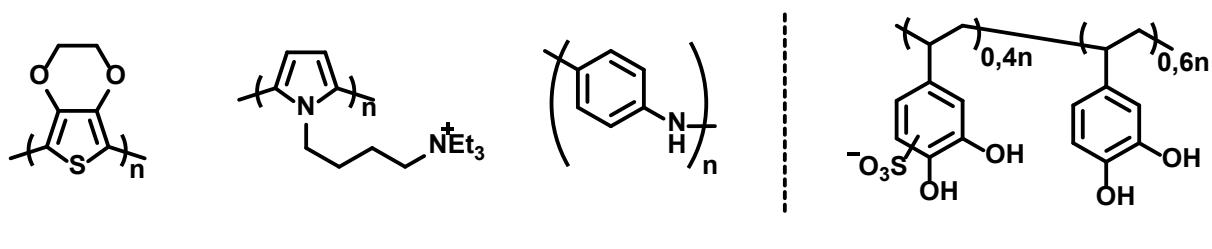
Потапенков В.В.<sup>1</sup>, Казачков Д.А.<sup>1</sup>, Пестерева Ю.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9  
v.potapenkov@spbu.ru

Аккумуляторы на основе органических материалов имеют схожие с неорганическими мощностные характеристики, но их производство и утилизация потенциально являются более экологичными и дешевыми процессами [1].

Работоспособность органических аккумуляторов обеспечивается электроактивными редокс-полимерами. Редокс-полимеры на основе пирокатехина обладают высоким окислительным потенциалом и большой гравиметрической электрической емкостью, что делает их перспективными объектами исследований [2]. Но, несмотря на свои достоинства, такие полимеры обладают низкой электропроводностью, что значительно понижает уровень их электроактивности. Однако это можно исправить путем включения их в композит с проводящими полимерами [3].

Данная работа будет посвящена синтезу и изучению свойств интерполимерных комплексов на основе сульфированного поливинилпирокатехина (SPVC) и ряда проводящих полимеров (PEDOT, PPy-N, PAni) (рис. 1). В частности, будут исследованы разные подходы к синтезу комплексов, их влияние на состав и морфологию поверхности, а также влияние природы проводящего полимера на электрохимическое поведение SPVC.



**PEDOT**

**PPy-N**

**PAni**

**SPVC**

Рисунок 1. Структурные формулы объектов исследования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Muench S., Wild A., Fribe C., Haupler B., Janoschka T., Schubert U.S. *Chem. Rev.*, **2016**, 116(16), 9438-9484.
2. Patil N., Aqil A., Ouhib F., Admassie S., Inganäs O., Jérôme C., Detrembleur C. *Adv. Mater.*, **2017**, 29(40), 1703373.
3. Lukyanov D.A., Apraksin R.V., Yankin A.N., Vlasov P.S., Levin O.V., Tolstopiatova E.G., Kondratiev V.V. *Synth. Met.*, **2019**, 256, 116151.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 24-13-00204.

# С-59 ЛИПОФИЛЬНЫЕ АЦИДОХРОМНЫЕ ИОННЫЕ ЖИДКОСТИ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ ПОЛИМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

Похвищева Н.В., Прожерин И.С., Меньшова А.С., Пешкова М.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
*n.pokhvishcheva@spbu.ru; n.v.pokhvishcheva@gmail.com*

Благодаря ряду преимуществ ионоселективные оптические сенсоры являются одним из самых перспективных инструментов для решения сложных аналитических задач. Их оптический отклик генерируется за счет хромоионофоров – крайне гидрофобных кислотно-основных индикаторов, содержащихся в пластифицированной полимерной мембране. Выход синтеза этих веществ крайне низкий и сам процесс очень сложен, а разнообразие получаемых индикаторов невелико. Поэтому актуальной проблемой является разработка новых простых и недорогостоящих методов получения индикаторов с высоким сродством к полимерной фазе. В качестве альтернативы традиционным методам синтеза может быть использована липофилизация водорастворимых индикаторов за счет образования ионной пары с четвертичным аммониевым катионом [1].

В данной работе нами был систематически исследован ряд ионных пар на основе тимолового синего (ТВ), бромфенолового синего (ВРВ) и бромтимолового синего (ВТВ); все полученные вещества являлись ионными жидкостями. Матрица из пластифицированного ПВХ была допирована полученными веществами (Рис. 1А), после чего была исследована их устойчивость к вымыванию в зависимости от природы красителя и липофильного противоиона (Рис. 1Б).

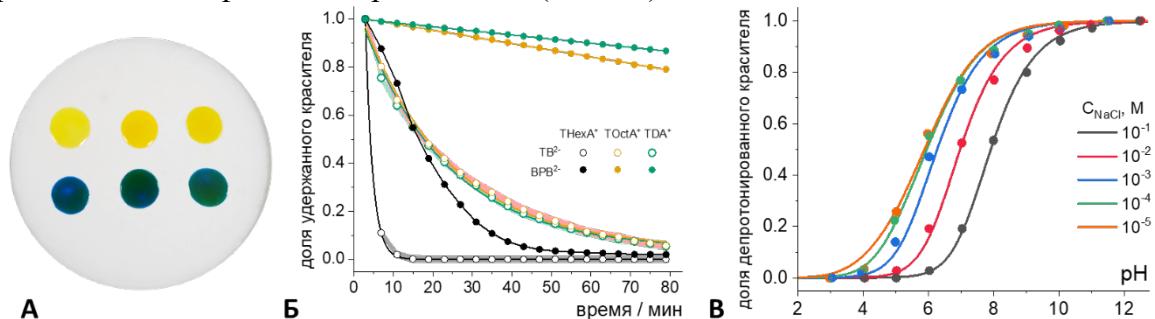


Рисунок 1. А) Пример исследованных оптических сенсоров. Б) Зависимость содержания красителя при вымывании из сенсорной мембраны от природы красителя и четвертичного аммонийного катиона. В) Зависимость оптического сигнала от pH раствора для оптодов на основе бромтимолового синего и тетраоктиламмониевой соли при различных фоновых концентрациях хлорида натрия.

Полученные сенсоры откликались в широком диапазоне pH и при этом проявляли сниженную чувствительность к фоновой концентрации других ионов (Рис. 1В), что доказывает применимость липофильных ионных пар красителей в качестве альтернативы традиционным хромоионофорам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Galpothdeniya W.I.S. et al. *RSC Adv.*, **2014**, 4 (14), 7225–7234.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 25-23-00568.

## С-60 СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ГИДРОФИЛЬНЫХ И АМФИФИЛЬНЫХ ДЕНДРИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПРОПАРГИЛАМИДОВ ИМИДАЗОЛ-4,5-ДИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ

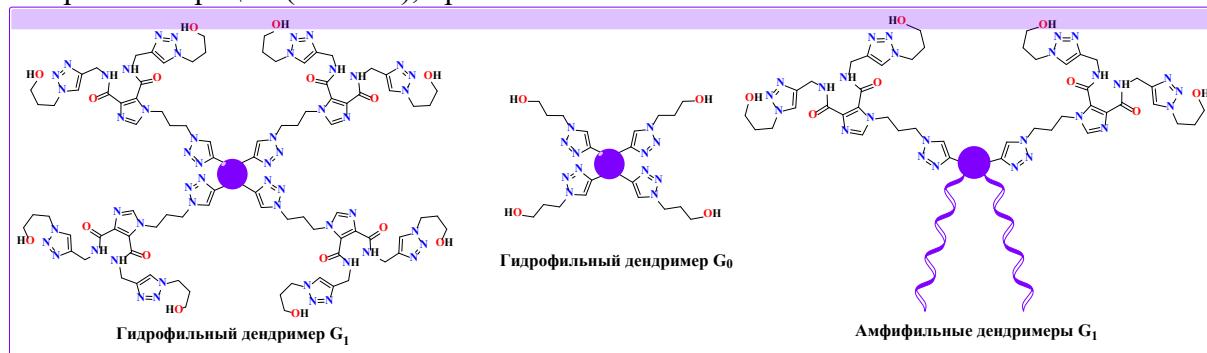
Пушкарева Е.А.<sup>1</sup>, Радаев Д.Д.<sup>1</sup>, Бурилов В.А.<sup>1</sup>, Соловьева С.Е.<sup>2</sup>, Антипин И.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет", Химический институт им. А. М. Бутлерова, 420111, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д.29.

<sup>2</sup>Институт органической и физической химии им. А. Е. Арбузова, 420029, Россия, г. Казань, ул. Академика Арбузова, д. 8.  
pushkareva.elizaveta@mail.ru

Химия дендримеров остается актуальной последнее десятилетие. Данные структуры находят большое применение в медицине, в качестве наноразмерных реакторов, систем, имитирующих мицеллы, а также могут применяться в катализе реакций сочетания и восстановления.

Гидрофильные и амфи菲尔ные дендримеры были получены конвергентным методом: молекулы дендрона и ядра синтезировались индивидуально на основе пропаргиламидов моно- и бис-имидазол-4,5-дикарбоновой кислоты. Наличие азидной группы в молекуле дендрона и алкинильного фрагмента в молекуле ядра позволяет объединить две синтетические платформы и региоселективно получить новую точку ветвления в виде 1,4-замещенного триазольного кольца и создать дендримеры нулевой и первой генерации (**схема 1**), применяя возможности клик-химии.



**Схема 1.** Структуры гидрофильных и амфи菲尔ных дендримеров.

Полученные дендримеры были использованы в качестве стабилизаторов наночастиц палладия в модельной реакции восстановления *пара*-нитрофенола. Гидрофильные дендримеры показали лучшую активность в катализе данной реакции по сравнению с амфи菲尔ными предположительно вследствие большего числа центров координации и лучшей растворимости в воде.

## **С-61 ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ИММУНОСЕНСОРАХ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИЦИКЛИЧЕСКИХ АНТИДЕПРЕССАНТОВ**

Рамазанова А.Н., Брусницын Д.В.

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
Химический институт им. А.М. Бутлерова, Казань, Россия,  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18.*

*Alsina\_ramazanova@mail.ru*

В настоящее время большое количество публикаций посвящено разработке новых материалов в составе биосенсоров. Для улучшения аналитических характеристик и повышения селективности в составе биосенсоров используют биочувствительные компоненты, которые в сочетании с новыми материалами дают высокий аналитический сигнал [1-3].

Разработаны амперометрические иммуносенсоры с использованием новых материалов на основе печатных графитовых электродов, модифицированных электрохимически осажденными наночастицами золота, никеля, в сочетании с каликс[4]аренами и их производными, силикатными частицами кластерных комплексов молибдена в сочетании с углеродными материалами для количественного определения трициклических антидепрессантов в поверхностных водах (для обеспечения экологической безопасности) и моче человека (для контроля безопасности и эффективности медикаментозного лечения).

Амперометрическими иммуносенсорами проведено количественное определение трициклических антидепрессантов в поверхностной воде (река Волга). Установлено, что концентрация трициклических антидепрессантов находится на уровне от  $(5.2 \pm 0.3) \times 10^{-4}$  до  $(12.1 \pm 0.8) \times 10^{-4}$  мг/л.

Проведено количественное определение трициклических антидепрессантов (амитриптилин) в моче человека. Область рабочих концентраций изменяется от  $1 \times 10^{-9}$  до  $1 \times 10^{-4}$  М, нижняя граница определяемых концентраций трициклических антидепрессантов на уровне  $7 \times 10^{-10}$  М. В ходе анализа мочи человека проведена оценка влияния сопутствующих лекарственных веществ и матричные эффекты.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Mehdipour-Ataei S., Aram E. *Microchemical Journal*, **2025**, 208, 112479.
2. Saweres-Argüelles C., Sánchez-Calvo A., Serrano-Pertierra E., Matos M., Blanco-López M.C. *Analytica Chimica Acta*, **2025**, 1340, 343597.
3. Медянцева Э.П., Брусницын Д.В., Газизуллина Э.Р., Варламова Р.М., Коновалова О.А., Будников Г. К. *Ж. аналит. химии*, **2020**, 75, 360-367.

Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030).

## С-62 ПОЛИМЕРНО-НЕОРГАНИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОН ВДФ-ТЕФЭ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДОПИРОВАННЫМИ СЛОИСТЫМИ ДВОЙНЫМИ ГИДРОКСИДАМИ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЁННЫХ ВОД

Рашитова К.И.<sup>1</sup>, Горенинский С.И.<sup>2,3</sup>, Кукарцева О.В.<sup>2</sup>, Больбасов Е.Н.<sup>2</sup>, Осмоловская О.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт химии, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

198504, Россия, г. Санкт-Петербург, г. Петергоф, Университетский пр., д. 26

<sup>2</sup> Научный центр трансляционной медицины, Научно-технологический университет "Сириус", Сочи, Россия

354340, Россия, г. Сочи, Олимпийский пр., д. 1

<sup>3</sup> Центр аддитивных технологий общего доступа, Томский политехнический университет, Томск, Россия

634028, Россия, г. Томск, пр. Ленина, д. 2 с. 33

*rashitovaki@gmail.com*

Проблема загрязнения вод тяжёлыми металлами и токсичными органическими соединениями остаётся актуальной уже многие годы. Традиционные методы очистки, такие как сорбция и фотокаталит, эффективны, но требуют значительных затрат и сложного оборудования. Основная сложность заключается в одновременном удалении тяжёлых металлов и органических загрязнителей, так как ионы металлов могут блокировать активные центры фотокатализатора.

Для решения этой проблемы нами предложено использование слоистых двойных гидроксидов (СДГ) магния и алюминия, допированных ионами  $\text{Cr}^{3+}$ . Однако практическое применение порошковых материалов затруднено из-за сложности их извлечения для повторного использования. Оптимальным решением является создание композитов, где наночастицы встроены в полимерную матрицу.

В данной работе нами были получены и исследованы три образца полимерно-неорганических композитов с различным количеством неорганического модификатора (0,1, 0,5 и 1 масс.%) на основе полимерных волокон сополимера винилиден-фторида с тетрафторэтиленом (ВДФ-ТеФЭ), полученных методом электротрансферного спиннинга.

Частицы СДГ, допированные ионами  $\text{Cr}^{3+}$ , используемые для модификации нановолокон, были синтезированы по оптимизированной методике, заключающейся в одновременном соосаждении солей металлов при постоянном значении рН в основной среде. Полученные частицы были охарактеризованы методами порошковой рентгеновской дифракции, ИК-спектроскопии, СЭМ с ЭДС картированием, РФЭС и БЭТ.

Методом СЭМ было показано, что все композиты состоят из цилиндрических волокон без разрывов, склеек и агломератов частиц. Элементный состав композитов был подтверждён методом ЭДС. Также была исследована их кристаллическая структура, прочность на растяжение и кривые ТГА-ДСК.

Функциональные свойства композитов были изучены в ходе удаления ионов тяжёлых металлов и фотокаталитического разложения органических красителей в водных средах.

Автор работы выражает благодарность Ресурсным центрам СПбГУ: «РДМИ», «Нанотехнологии», «МАСВ», «ОЛМИВ», «ФМИП» и «ИТКН».

## С-63 ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИТОВ В АВН-СИСТЕМАХ

Репин Д.В.<sup>1</sup>, Репина Н.Д.<sup>2</sup>, Псарева М.П.<sup>3</sup> Чередниченко К.А.<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1  
d.repin2124@yandex.ru

Недостаток пресной воды — одна из главных угроз, с которыми человечество столкнётся уже в ближайшем будущем. Вода имеет решающее значение для жизни, а также для бытового, промышленного и сельскохозяйственного применения. К 2050 году 25% населения мира будет проживать в странах с недостаточными водными ресурсами, а спрос на воду вырастет на 40% [1]. Извлечение пресной воды из атмосферного воздуха является перспективным способом обеспечения водой, так как практически не зависит от географии региона [2], в данных технологиях используются специальные матрицы для хранения воды и различные агенты — гигроскопичные соли, функциональные гидрогели, ионные жидкости для её сорбции в матрице.

Целью данной работы явилось создание теплоёмкого материала, способного к резистивному нагреву в условиях низкой и высокой влажности. Подобное технологическое решение возможно сочетать с широким спектром сорбирующих материалов. В работе исследован пористый гибридный органический токопроводящий композит на основе микрофибриллярной целлюлозы при наложении сопротивления в 30 и 17 Ом в сухом и влажном состоянии соответственно. Данный композит способен впитывать более 200% влаги от собственного веса и нагреваться до 78,5 °C за счёт естественного солнечного света, при этом сохраняя стабильность формы, как показано на рисунке 1.

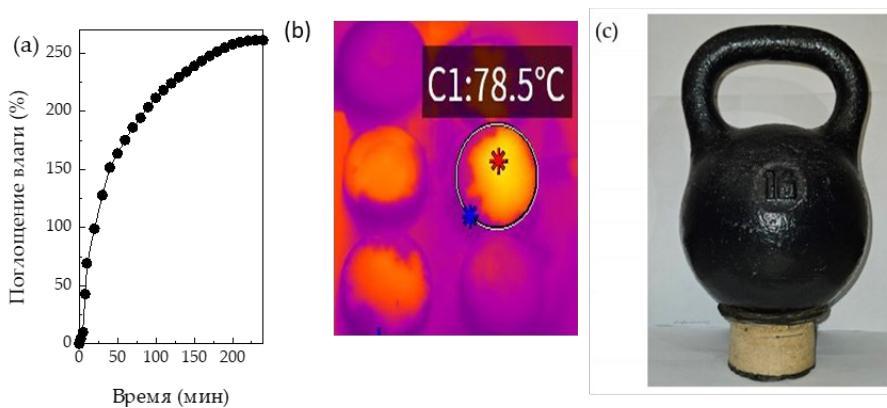


Рисунок 1 – Испытание композитного материала в различных условиях

### ЛИТЕРАТУРА

1. Abosedira S., Soliman M., Ebrahim S., Fadl E., Khalil M. *Alexandria Engineering Journal*, **2025**, 111, 579-587.
2. Repin D., Gablina M., Repina N., Cherednichenko K., Li W., et al. *Polymers*, **2025**, 17, 328

## С-64 АНАЛИЗ СВОЙСТВ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ БИОСОРБЕНТОВ, СОЗДАННЫХ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Репина Н.Д.<sup>1</sup>, Репин Д.В.<sup>1</sup>, Винокуров В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», Москва, Россия  
119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1  
natali218059@gmail.com

Растущий спрос на литий стимулирует поиск новых и эффективных методов его добычи. Традиционные методы добычи лития, такие как разработка солончаков и горнодобывающая деятельность, сопряжены с рядом экологических и экономических проблем. Извлечение лития из пластовых вод рассматривается как перспективная альтернатива привычным источникам, но требует разработки селективных и экологически безопасных сорбентов. Биосорбенты на основе нано- и микроцеллюлозы обладают значительным потенциалом для извлечения лития из пластовых вод. Их биоразлагаемость, возобновляемость, высокая удельная поверхность и возможность модификации делают их привлекательной альтернативой традиционным сорбентам [1]. Внедрение в структуру биополимера ионообменных групп позволяет извлекать литий из раствора, замещая его другими ионами. Комбинирование целлюлозы с другими материалами может улучшить механические свойства сорбентов, их стабильность, селективность.

В ходе синтеза поверхность целлюлозы подверглась модификации карбоксильными, сульфатными и фосфатными группами. На второй стадии синтеза было проведено взаимодействие целлюлозы с 3-(триметоксисилил)пропил метакрилатом, что представляет собой эффективный метод модификации, направленный на увеличение ее удельной поверхности и приданье новых функциональных свойств [2]. Проведенные химические модификации были подтверждены с помощью ИК-спектроскопии. Сканирующая электронная микроскопия позволила изучить топографию поверхности и морфологию полученных частиц. Измерение краевого угла смачивания дало возможность классифицировать материалы по степени гидрофильности, а метод БЭТ подтвердил пористую структуру образцов. Титриметрические методы были использованы для количественного определения степени сульфатирования и карбоксилирования введенных функциональных групп. Комплексное использование этих методов обеспечило полную характеристику биосорбентов на основе целлюлозы и оценку их потенциальной эффективности.

Биосорбционные методы добычи лития из пластовых вод являются актуальным и перспективным направлением исследований. Сорбенты на основе наноцеллюлозы представляют собой высокоэффективные, экологически безопасные и экономически перспективные материалы для извлечения лития из пластовых вод. Их уникальные свойства, в сочетании с возможностью химической модификации, открывают широкие возможности для разработки инновационных технологий добычи лития.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Nampeera J., Recepoglu Y. K., Yuksel A. *Biomass Conversion and Biorefinery*, **2024**, 14. 4975-4987
2. Xu C.A., Lu M., Wu K., Shi J. *Inorganic Chemistry Communications*, **2021**, 134, 108939.

## С-65 ПРОЦЕССИНГОВЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТЫХ ТЭП

Рудаков И.А.<sup>1</sup>, Быхун Ю.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Полилаб Воронеж, АО «Воронежсингтезкаучук», СИБУР, г. Воронеж, Россия,  
394014, Воронежская Область, г. Воронеж, пр-кт Ленинский, д.2.

В обувной промышленности одним из ключевых компонентов для подошв и обувных компаундов являются бутадиен-стирольные термоэластопласти (ТЭП). Наряду с ТЭП в состав компаундов входит масло-пластификатор - с его помощью оптимально подбираются целевые свойства компаунда: технологичность при переработке и потребительские физико-механические характеристики: прочность, твердость, сопротивление истиранию и раздиру. При этом, для достижения максимального результата, необходимо равномерное распределение и максимальная адсорбция масла с гранулами ТЭП при смешении. Наличие включений ненапитанного пластификатором полимера приводит к появлению дефектов в материале и, как правило, к снижению потребительских свойств и товарного вида готового изделия. Наилучшее распределение полимера и пластификатора достигается на гранулах ТЭП повышенной пористости.

В настоящей работе было показано, что применение полимерных карбоксилатов в качестве процессинговой добавки на отдельных этапах технологического процесса получения полимера позитивно влияет на увеличение пористости гранул бутадиен-стирольного термоэластопласта. Способ, реализованный в результате исследования, позволяет повысить способность гранул ТЭП к адсорбции масла за счет увеличения как объема пор гранул полимера, так и удельной поверхности путем добавления полимерных карбоксилатов на стадии водной дегазации раствора ТЭП в алифатических растворителях за счет эмульгирующего действия процессинговой добавки на полимер на границе раздела фаз в условиях двухфазной системы алифатический растворитель-вода с интенсивным перемешиванием. В результате применения антиагломерирующей добавки отмечено улучшение технологичности ТЭП на стадии компаундирования: сокращение времени, требуемого для адсорбции полимером масла, улучшение однородности компаунда (снижение количества непроплавов), достижение целевых потребительских характеристик.

Кроме того, применение полимерных карбоксилатов позволяет регулировать размеры полимерной крошки, предотвращает её агломерирование в крупные частицы, а также способствует более полному удалению из полимера органического растворителя на стадии водно-паровой дегазации. Исследовано влияние добавки при избыточном дозировании, определены оптимальные диапазоны дозировок антиагломератора, с использованием подходов ртутной порозиметрии определены изменения в характеристиках пористости гранул при применении процессинговых карбоксилатных добавок.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Холден Г., Крихедьдорф Х.Р., Куирк Р.П. Перевод с англ. 3-го изд. (Thermoplastic Elastomers) под ред. Смирнова Л.Б., 720стр.
2. Термоэластопласти / [Григорьева Л. А., Розиноер Я. М., Григорьев В. Б. и др.]; Под ред. В. В. Моисеева. — Москва: Химия, 1985. — 183 с. : ил.

## С-66 ПОЛИМЕРНЫЕ ГЕЛЕВЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ИОНОМЕРОВ

Низамов А.А.<sup>2</sup>, Ярмоленко О.В.<sup>3</sup>, Сазонов О.О.<sup>1</sup>, Давлетбаев Р.С.<sup>2</sup>, Давлетбаева И.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, 420015, Россия, г. Казань, ул. К.Маркса, 68*

<sup>2</sup>*Казанский государственный энергетический университет, Казань, 420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51*

<sup>3</sup>*Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, Черноголовка, Московская область, 142432, Россия, пр. Ак. Семенова, 1  
SazonovOO@corp.knrtu.ru*

В настоящее время литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) широко используются в качестве источников питания, начиная от портативных электронных устройств и заканчивая электромобилями, авиационной техникой, устройствами накопления и хранения энергии. При этом сфера их применения стремительно расширяется, в том числе по мере появления принципиально новых типов устройств. Несмотря на достигнутые успехи в области ЛИА, активно ведутся исследования по улучшению их характеристик. В этой связи одним из наиболее перспективных подходов является замена традиционно используемых жидких электролитов на полимерные электролиты. Одним из эффективных подходов к повышению уровня безопасности и удельной энергоемкости данного типа аккумуляторов представляется использование полимерного электролита в ЛИА. В зависимости от состава полимерные электролиты принято классифицировать на твердые полимерные электролиты и полимерные гелевые электролиты.

В данной работе синтезированы и исследованы полиуретановые (ПУ) гель-электролиты на основе разветвленных аминоэфиров ортофосфорной кислоты (АЭФК), полученных с использованием полипропиленгликоля (ММ=2000), триэтаноламина и ортофосфорной кислоты. Введение карбоксилсодержащего фрагмента в разветвленную структуру АЭФК с использованием янтарного ангидрида (ЯА) приводит к повышенному выходу полиоксипропиленового компонента в собственную микрофазу в АЭФК-ЯА-ПУ. При этом наблюдается увеличение ионной проводимости АЭФК-ЯА-ПУ по сравнению с АЭФК-ПУ почти в 4 раза. По данным вольтамперометрических исследований верхняя граница окна электрохимической стабильности (относительно  $\text{Li}^+/\text{Li}$ ) полимерных гелевых электролитов (ГПЭ) на основе АЭПА-ЯА-ПУ достигает 4,95 В. Ячейка  $\text{Li}/\text{ГПЭ}/\text{LiOTAP}$  с катодом на основе литиевой соли производного тетраазапентицена ( $\text{LiOTAP}$ ) продемонстрировала свою работоспособность в течение 150 циклов заряда-разряда. При этом разрядная емкость в течение первых 30 циклов изменялась от 450 до  $140 \text{ mA}\cdot\text{г}^{-1}$ . Также при этом количестве циклов наблюдалась стабилизация среднего потенциала ячейки на значении 1,4 В. Затем емкость плавно снижалась вплоть до 150-го цикла, стабилизируясь на значении  $82 \text{ mA}\cdot\text{г}^{-1}$ .

Работа выполнена за счет предоставленного в 2024 году Академией наук Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и прикладных научных работ в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан».

# С-67 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ЧЕРЕЗ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЮ $(\text{SiO}_2)_n$

А.П. Самороднова<sup>1</sup>, М.Н. Хризанфоров<sup>2</sup>, А.А. Загидуллин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИОФХ им. А.Е. Арбузова - обособленное структурное подразделение  
ФИЦ КазНЦ РАН, 420088, Россия, г. Казань, ул. Арбузова, д. 8.

<sup>2</sup> ИОХ им. Н.Д. Зелинского, Россия, г. Москва, 119991, Ленинский пр-кт, д. 47  
[apsamorodnova@gmail.com](mailto:apsamorodnova@gmail.com)

Актуальной проблемой является разработка новых бесхлорных методов синтеза кремнийорганических соединений, поэтому в качестве основного направления исследования была выбрана модификация  $(\text{SiO}_2)_n$  с помощью электрохимических подходов, которые позволяют существенно снизить количество используемых токсичных реагентов, минимизировать образование побочных продуктов и открывают новые возможности для селективного синтеза кремнийорганических полимеров [1].

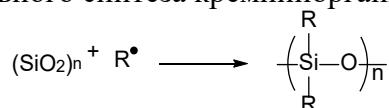


Рис. 1 Электрохимическая активация  $(\text{SiO}_2)_n$

В качестве субстратов, которые могут служить источниками алкильных радикалов в процессе электрохимического синтеза, были изучены алкилгалогениды, спирты, эфиры, а также карбоновые кислоты. В экспериментальной установке использовались гальваниостатический и потенциостатический режимы для регулирования электрохимической среды, что позволило точно контролировать генерацию радикалов и кинетику последующих реакций.

Было установлено, что использование алкилгалогенидов в качестве субстратов для генерации алкильных радикалов требует строгого контроля потенциала в процессе электрохимической реакции. При  $E^{\text{onset}}$  генерируется дозированное количество алкильных радикалов, что сводит к минимуму реакцию рекомбинации и приводит к лучшей конверсии. В потенциостатическом режиме поддерживается постоянный потенциал, который можно точно регулировать для оптимального формирования радикалов. Нами была рассмотрена возможность получения силиконовых полимеров по реакции Кольбе. Преимуществом данной реакции является то, что при разложении карбоновых кислот помимо образующихся алкильных радикалов, остальные продукты являются газообразными, в результате чего они спокойно удалялись из ячейки.

Таким образом подбор режима работы электрохимической системы, типа электрохимической ячейки, источника алкильных радикалов важны для оптимизации синтеза и улучшения эффективности процесса, что может быть особенно значимо при масштабировании процесса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Samorodnova A. P., Khrizanforov M. N., Zagidullin A., A. Electrochemical approaches to the synthesis of silicon-containing polymers. *Polymer*, **2025**, 127925.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН.

**С-68 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИ(АЗУРА Б),  
СИНТЕЗИРОВАННОГО ИЗ ВОДНЫХ СРЕД И ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ  
РАСТВОРИТЕЛЕЙ**

Семенова В.И.<sup>1</sup>, Гойда А.И.<sup>1</sup>, Порфириева А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Химический институт им.  
А.М. Бутлерова, Казань, Россия  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 29/1.  
vasilisa\_semenova\_04@mail.ru

Электрохимические сенсоры и биосенсоры являются перспективными устройствами для анализа соединений различных классов, востребованных в медицине, экологии, контроле качества пищевой продукции и фармацевтике. Использование новых полимерных и композитных материалов в составе биосенсоров позволяет расширить круг определяемых соединений, снизить предел определения анализаторов, повысить чувствительность и селективность анализа. Природные глубокие эвтектические растворители (ПГЭР) – это смеси доноров и акцепторов водородных связей. Применение ПГЭР в сочетании с печатными электродами позволяет уменьшить объем реагентов, необходимых для получения чувствительного слоя (био)сенсора. Немаловажным преимуществом ПГЭР является простота их приготовления. Высокая солюбилизирующая способность ПГЭР позволяет увеличить рабочую концентрацию малорастворимого в воде мономера красителя на стадии электрополимеризации и подавить агрегацию мономеров в реакционной среде. Все эти факторы повышают эффективность электрополимеризации и облегчают интерпретацию вольтамперограмм.

В данной работе были изучены свойства электрополимеризованных покрытий на основе фенотиазинового красителя Азур Б, полученных из водной среды и среды глубокого эвтектического растворителя, компонентами которого выступали малоновая кислота, глюкоза и вода в мольном соотношении 1:1:6. Концентрация Азур Б в среде для электрополимеризации составила 0.085 М. Для получения полимерного покрытия Азур Б применяли различные режимы электрополимеризации: потенциодинамический, потенциостатический и смешанный. Стабильность характеристик полученных полимерных покрытий оценивали в режиме разомкнутой цепи при инкубировании аликовты рабочего буферного раствора на поверхности электрода в течение 30 минут и в режиме десятикратного сканирования потенциала в аликовте рабочего буферного раствора. Смешанный режим электрополимеризации, сочетающий этапы потенциостатического и потенциодинамического осаждения полимера и стабилизация сигнала при десятикратном циклировании потенциала были выбраны в качестве наиболее эффективного варианта получения поли(Азур Б) на поверхности печатного электрода. Низкая вязкость ПГЭР на основе малоновой кислоты обеспечивала достаточную скорость диффузии на этапе электрополимеризации, и высокие регистрируемые редокс-токи на вольтамперограммах поли(Азур Б), полученных после переноса электрополимеризованных покрытий в рабочий буферный раствор. Сравнение электрохимических характеристик покрытий поли(Азур Б), полученного из ПГЭР и водного раствора демонстрировало влияние среды для электрополимеризации на параметры и морфологию получаемых покрытий. Полученные покрытия поли(Азур Б) найдут применение в составе электрохимических (био)сенсоров.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-13-00163.

## С-69 ТЕРМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СМЕСЕВЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЛУБЯНЫХ И ВИСКОЗНЫХ ВОЛОКОН

А.Г. Смыслов\*, Е.Е. Пальчикова, И.С. Макаров, Г.А. Шандрюк, В.Г. Куличихин

ФГБУ науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиеva РАН, 119991 Москва, Ленинский пр., 29

\*e-mail: [alexsmislov@mail.ru](mailto:alexsmislov@mail.ru)

Целлюлоза является одним из самых распространенных органических соединений на Земле и имеет огромное значение как в природе, так и в промышленности. Лубяные волокна льна и конопли содержат 50-70 целлюлозы, до 20% гемицеллюлозы и пектина и не менее 5% лигнина. В отличие от хлопка, при выращивании и переработки льна требуется меньше воды и пестицидов, а конопля быстро растёт, поглощает большое количество углекислого газа, не истощает почву и может выращиваться без химикатов.

Целлюлозные волокна широко используется как прекурсоры углеродных материалов (выход углерода при карбонизации до 45%). Целлюлозные нетканые материалы являются перспективными прекурсорами для получения углеродных полотен, которые востребованы для фильтрации, теплозащиты, получения композиционных материалов и др. В рамках работы были получены и исследованы химический состав и структурные особенности волокнистой лубяной целлюлозы, а также вискозы. Получены и проанализированы кривые ТГА (ДТГ) для исследуемых материалов с измерением коксового остатка при пиролизе. Зависимости выхода по углероду от состава нетканых полотен вискоза-лен и вискоза-конопля имеют схожий характер (рис. 1).

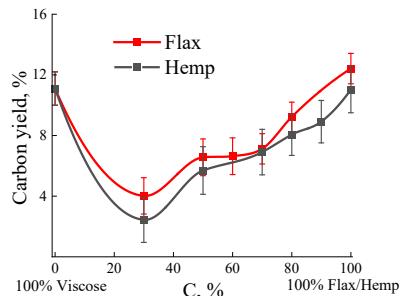


Рис. 1. Зависимость углеродного остатка при температуре 1000°C.

Добавление небольшой доли натуральных волокон (до 30%) в вискозу приводит к заметному снижению выхода углерода. Дальнейшее увеличение их содержания в составе смеси способствует увеличению значений углеродного остатка. По мере повышения концентрации натуральных волокон в составе, наблюдается плавный рост выхода по углероду, который становится особенно заметным после 80%. Показано, что натуральные волокна обладают большей термостойкостью, чем вискозные. Об этом же свидетельствуют результаты термогравиметрического анализа, которые показывают влияние типа волокна и его концентрации в смеси на термические характеристики композиции. Методом Киссинджера показано, что льняные волокна имеют наибольшую термическую стабильность, а вискоза – наименьшую. Оптимальные смеси для нетканых материалов включают 70–80% очесов и 20–30% вискозы. Впервые получены значения энергии активации термического разложения для льняной целлюлозы и смесевой системы лен/вискоза. Полученные данные свидетельствуют, что льняные волокна имеют наибольшую термическую стабильность (энергия активации 189,59 кДж/моль), а вискоза – наименьшую (60,27 кДж/моль). Смесь 50% вискозы и 50% льна демонстрирует среднюю стабильность (167,01 кДж/моль).

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИНХС РАН.

**С-70 СИНТЕЗ И МОДИФИКАЦИЯ СОПОЛИМЕРОВ  
СТЕАРИЛ(МЕТ)АКРИЛАТА И БЕНЗИЛМЕТАКРИЛАТА С МАЛЕИНОВЫМ  
АНГИДРИДОМ  
И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ВЛИЯНИЯ НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА**

Сорокин М.А., Морозов М.Ю., Павловская М.В., Гришин Д.Ф.

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им.Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия  
603022, Россия, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23.  
meteor8797@gmail.com*

Выпуск высококачественных дизельных топлив (ДТ) с улучшенными низкотемпературными характеристиками, является одним из приоритетных направлений развития современной нефтехимии. Эффективным способом регулирования низкотемпературных свойств ДТ является использование специальных добавок на основе сополимеров высших (алкил)метакрилатов - депрессорных присадок. Молекулярно-массовые характеристики, состав и строение сополимеров, входящих в состав присадок, оказывают значительное влияние на низкотемпературные свойства ДТ.

Методом контролируемой радикальной полимеризации по механизму обратимого присоединения – фрагментации (Reversible Addition Fragmentation Chain Transfer, RAFT) синтезированы сополимеры стеарилметакрилата, стеарилакрилата и бензилметакрилата с малеиновым ангидридом (МА). В качестве регулятора молекулярно-массовых характеристик и передатчика полимерной цепи использовали серосодержащие соединения – 2-цианоизопропилтритиокарбонат и дibenзилтритиокарбонат.

Полученные сополимеры в дальнейшем были модифицированы путем внедрения в макромолекулы звеньев различной природы: спиртов (бутанола-1, октанола-1, нонадеканола-1, тетрадеканола-1) и амина (цетиламина). Методом  $\text{H}^1\text{ЯМР}$  – спектроскопии были охарактеризованы составы полученных образцов. Установлено, что высокомолекулярные алкильные фрагменты модифицированного сополимера на основе МА входят в структуру кристаллической упаковки парафинового зародыша, при этом полярные фрагменты формируют стерический барьер, препятствующий слипанию слоев парафина и кристаллизации, что благоприятно сказывается на низкотемпературных свойствах дизельного топлива при введении в него указанных сополимеров.

Синтезированные на глубоких степенях превращения полимерные образцы вводили в гидроочищенное дизельное топливо в виде 1%-ого раствора толуола в диапазоне концентраций от 200 до 1600 ppm. Установлено, что модифицированные сополимеры наиболее эффективны в качестве депрессорных присадок и способны оказывать значительное влияние на низкотемпературные характеристики дизельного топлива, существенно понижая температуру застывания, а также предельную температуру фильтруемости топлива.

Таким образом, сополимеры на основе стеарил(мет)акрилата с малеиновым ангидридом, модифицированные цетиламином и спиртами, представляют интерес в плане их практического использования в качестве присадок, улучшающих эксплуатационно-потребительские характеристики гидроочищенного дизельного топлива.

## С-71 НЕКЛАССИЧЕСКИЕ $\pi$ -ИНДУЦИРОВАННЫЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ СИЛОКСАНОВ

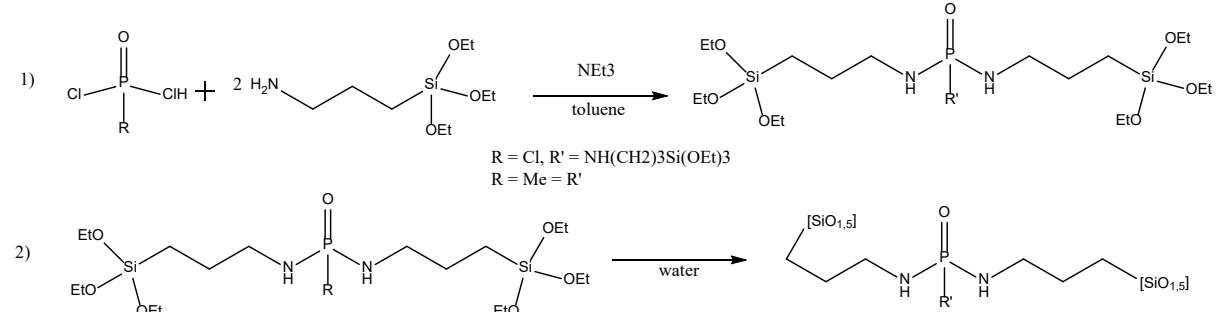
Стрелков И.А<sup>1</sup>, Загидуллин А.А<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт органической и физической химии им. А. Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН,  
Казань, Россия  
420088, Россия, г. Казань, ул. Академика Арбузова, д.8.  
[ivanstrelkov717@mail.ru](mailto:ivanstrelkov717@mail.ru)

Неклассические люминесцентные материалы без системы сопряженных  $\pi$ -связей привлекают все большее внимание благодаря своему механизму излучения: эти вещества обретают излучательную способность благодаря пониженной молекулярной подвижности из-за орбитального или стерического взаимодействия функциональных групп внутри молекулы или межмолекулярно. Такая люминесценция известна как агрегационно-вызванная эмиссия (AIE) или кластерная люминесценция (КЛ). Механизм AIE может быть различным: ограничение внутримолекулярной подвижности, например, внутренних вращений, колебаний [1], взаимодействие неподеленных электронных пар гетероатомов с НСМО различных функциональных групп молекулы. Данное явление широко проявляется себя в высокомолекулярных соединениях, что объясняется тем, что в полимерах взаимодействие функциональных групп носит кооперативный характер.[2].

Однако существуют проблемы в недостаточном понимании механизма КЛ, низком квантовом выходе и узости спектра излучения. Активно ведутся исследования люминесценции фосфорсодержащих силоксанов - новых перспективных систем, обладающих высоким квантовым выходом и регулируемым спектром[3]. Предположительно, взаимодействие аминогруппы, ВЗМО Si-O-Si и НСМО P=O приводит к появлению люминесцентных свойств. В данной работе были синтезированы новые полимерные фосфорсодержащие силоксаны, содержащие P=O, NH и Si-O-Si фрагменты (Схема 1)

Схема 1. Схема двухстадийного синтеза полифософосилоксановых люминофоров.



Новизна работы состоит в гидролитическом получении разветвленных силесквиоксанов, проявляющих люминесцентные свойства. В ходе гидролиза образующиеся системы проявляют способность к образованию пленок различной морфологии, что позволяет простым путем получать люминесцентные функциональные материалы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Leung N. L. C. et al. *Chemistry—A European Journal*, 2014. 20, 15349-15353.
2. Chu B. et al. *Nature Communications*, 2024, 15, 366.
3. Bai L. et al. *Macromolecules*. – 2025.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН.

## С-72 ХИРАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ДИЗАЙНЕ ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНЫХ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

Терес Ю.Б., Волкова А.А., Зильберг Р.А.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия 450076, г. Уфа, Заки Валиди,  
д.32  
TeresUB@yandex.ru

Среди экспресс-методов, применяемых для контроля энантиочистоты лекарственных препаратов всё более востребована вольтамперометрия с использованием энантиоселективных сенсоров [1]. Энантиоселективность сенсоров напрямую зависит от характеристик хирального селектора. Среди широкого круга доступных селекторов комплексы переходных металлов с хиральными лигандами представляют собой многообещающую альтернативу традиционным материалам, поскольку благодаря возможности «тонкой настройки» свойств и более низкой себестоимости, они позволяют создавать высокоэффективные и стабильные сенсоры [2-3].

Разработан ряд сенсоров для определения энантиомеров напроксена (Nap) на основе водорастворимых ( $[\text{Cu}(\text{S-Ala})_2]-[\text{Cu}(\text{S-Phe})_2]$  (1),  $[\text{Zn}(\text{S-Ala})_2(\text{H}_2\text{O})]-[\text{Zn}(\text{S-Phe})_2(\text{H}_2\text{O})]$  (2)) и водонерастворимого ((S)-Ni) комплексов переходных металлов с органическими хиральными лигандами. Вольтамперограммы зарегистрированы в дифференциально-импульсном режиме (DPV). Для иммобилизации хиральных селекторов 1 и 2 на стеклоуглеродном электроде (GCE) в качестве подложки использован полиэлектролитный комплекс хитозана и N-сукцинил-хитозана (PEC). Значения коэффициента энантиоселективности ( $i_{\text{p}1}/i_{\text{p}2}$ ) и разности потенциалов окисления ( $\Delta E$ ) по первому пику окисления Nap для GCE/PEC-1 и GCE/PEC-2 равны 1.27 и 30 мВ, и 1.12 и 20 мВ, соответственно. Сенсор, модифицированный комплексом (S)-Ni, изготовлен на основе пастового электрода из графитированной термической сажи CarboblackC (CBPE). Разность в аналитических сигналах между энантиомерами Nap наблюдается и по первому ( $i_{\text{p}1}/i_{\text{p}2} = 1.43$ ,  $\Delta E = 10$  мВ), и по второму ( $i_{\text{p}1}/i_{\text{p}2} = 1.27$ ,  $\Delta E = 10$  мВ) пикам окисления. Для всех разработанных сенсоров определены аналитические характеристики на основании DPV последовательно разбавленных анализаторов. Сенсоры успешно апробированы для количественного определения R- и S-Nap в различных растворах реальных объектов.

Разработанные сенсоры демонстрируют перспективный подход к энантиоселективному определению Nap. В частности, сенсор CBPE/(S)-Ni выгодно отличается возможностью распознавать энантиомеры по двум пикам и более высокими значениями  $i_{\text{p}1}/i_{\text{p}2}$  (1.43 и 1.27) по сравнению с сенсорами на основе водорастворимых комплексов, а также стабильностью при хранении в течении 20 суток.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Майстренко В.Н., Евтюгин Г.А. Москва: *Лаборатория знаний*, 2023.
2. Zilberg R.A., Berestova T.V., Gizatov R.R., Teres Yu.B., Galimov M.N., Bulysheva E.O. *Inorganics*, 2022, 10, 117.
3. Zilberg R.A., Teres J.B., Vakulin I.V., Bulysheva E.O., Mukhametdinov G.R., Sycheva M.A., Volkova A.A., Titov A.A., Maleev V.I., Larionov V.A. *Chirality*, 2025, 37, e70025.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-23-00340.

# С-73 КАРБОНИЗИРОВАННЫЕ БИОПОЛИМЕРЫ КАК НОВЫЙ КЛАСС ЭКОЛОГИЧНЫХ ТЕРМОСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ МОДИФИКАТОРОВ СИЛОКСАНОВЫХ РЕЗИН

Французова Ю. В., Неверовская А. Ю., Возняковский А. П.

*Научно-исследовательский институт синтетического каучука им. С. В. Лебедева,  
Санкт-Петербург, Россия  
198035, Россия, Санкт-Петербург, ул. Гапсальская, д.1  
[julfran@yandex.ru](mailto:julfran@yandex.ru)*

Повышение теплостойкости полимерных материалов является неизменно актуальной задачей. За последнее десятилетие сформировалось новое научно-исследовательское направление - повышение теплостойкости композиционных материалов, в том числе и силиконовых, с помощью аллотропных форм углерода [1]. В качестве модифицирующих добавок в ряде работ использовали двумерные (2D) аллотропные модификации углерода [2, 3]. Однако, несмотря на продемонстрированную перспективу использования графеновых структур для повышения теплостойкости композиционных материалов, до настоящего времени их применение ограничено трудной доступностью в связи со сложностью методик проведения многостадийных синтезов.

В ФГБУ «НИИСК» разработана более производительная и малозатратная по сравнению с известными методами методика синтеза углеродных соединений двумерной аллотропной структуры, а именно, малослойного графена. Суть метода заключается в карбонизации биополимеров растительного происхождения в условиях процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Работа была опубликована в журнале «*Nanomaterials*», где представлены доказательства 2D углеродной структуры полученных соединений [4]. В качестве сырья были использованы отходы различных производств: лигнин, целлюлоза, глюкоза, кора хвойных деревьев, технический крахмал, высушенный стебель борщевика.

Целью исследования являлась проверка существующих представлений о возможности повышения теплостойкости базовых резин на основе полидиметилсилоxана, модифицированных введением малых добавок малослойного графена - продукта карбонизации технического крахмала, и гибридного композита 2D углерод-диоксида кремния, полученного карбонизацией рисовой шелухи. В работе была использована резиновая смесь Elastosil R401/40 S (производство Wacker Chemie AG, Германия). Резиновые смеси Wacker характеризуются высокой воспроизводимостью вулканизаторов, что необходимо для фиксирования и исследования ожидаемых эффектов влияния малых добавок на свойства конечных материалов. Проведены испытания исходных и модифицированных резин до и после термостарения при 250°C в течение 72 часов. После термостарения модифицированные резины сохраняли эластические и прочностные свойства в отличие от немодифицированных вулканизаторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ayesha Kausar. *Polymer-Plastics Technology and Materials*. **2020**, 59, 1148-1166.
2. Ruijie Han, Yilong Li, Qingsong Zhu, Kangmin Niu. *Composites Part C: Open Access*. **2022**, 8, 100249.
3. Yingze Song, Jinhong Yu, Lianghao Yu, Fakhr E. Alam, Wen Dai, Chaoyang Li, Nan Jiang. *Materials and Design*. **2015**, 88, 950–957
4. Voznyakovskii A.P; Vozniakovskii A.A.; Kidalov S.V. *Nanomaterials*, **2022**, 12, 657.

## С-74 ТЕРМОСШИВАЕМЫЕ ПОЛИИМИДЫ, СИНТЕЗИРОВАННЫЕ НА ОСНОВЕ АЛЛИЛСОДЕРЖАЩЕГО ДИАНГИДРИДА

Цегельская А.Ю.<sup>1</sup>, Баклагин В.Л.<sup>2</sup>, Абрамов И.Г.<sup>2</sup>, Кузнецов А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФБГУН Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С.Ениколова РАН, Москва, Россия 117393 Россия, Москва, Профсоюзная, д. 70

<sup>2</sup>Ярославский Государственный Технический Университет, Ярославль, Россия 150023 Россия, г. Ярославль Московский просп., д. 88

E-mail: [tsegelskaya@ispmt.ru](mailto:tsegelskaya@ispmt.ru)

Полиимидные покрытия, пленки и волокна находят широкое применение в таких высокотехнологичных областях как электроника, оптика, газоразделение и др. благодаря отличным свойствам ароматических полиимидов: высокой термо- и теплостойкости, радиационной стойкости, хорошим механическим и газотранспортным свойствам. К полимерам использующимся в перечисленных областях предъявляются повышенные требования: низкие значения коэффициента теплового расширения, высокая химическая стойкость, отсутствие релаксации в течение длительной и многократной эксплуатации изделий. Получение сшитых структур является одним из способов достижения подобных свойств.

Для получения растворимых в органических растворителях полиимидов (ПИ), способных к термической сшивке, был синтезирован аллилсодержащий диангидрид (АЛДА), приведенной структуры (рис. 1). Методом высокотемпературной каталитической поликонденсации в расплаве бензойной кислоты (БК) синтезированы полиимиды и сополиимиды (СПИ) на основе диангидридов и диаминов различной структуры. АЛДА использовали в качестве мономера или сомономера, Изменяя мольное количество вводимого в реакционную систему АЛДА варьировали содержание аллильных групп в полимерной цепи.

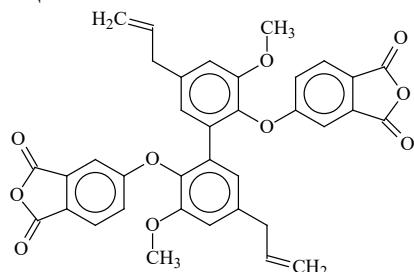


Рис. 1. Структурная формула АЛДА

Полученные высокомолекулярные ПИ и СПИ растворимы в хлороформе, амидных растворителях и обладают пленкообразующей способностью. После термической обработки при 250 °C в течение 2 часов пленки, отлитые из растворов полимеров в хлороформе, теряли растворимость. Сшитые образцы СПИ обладают высокой термической стойкостью и механической прочностью.

Работа выполнена с использованием приборной базы Центра коллективного пользования ИСПМ РАН.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, номер темы FFSM-2024-0005.

## **С-75 РАЗРАБОТКА АНТИМИКРОБНЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ ЛИЗОЦИМА**

Чекалина С.В., Кирш И.А., Яновская К.С., Альхаир А.Я.

*ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», Москва,  
Россия  
125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11  
sofya.chekalina@internet.ru*

На сегодняшний день упаковка играет важную роль в нашей жизни. Для пролонгации срока хранения пищевых продуктов в пищевой промышленности используются полимерные материалы с различными антимикробными добавками [1-4]. Целью работы было создание и проведение исследований полимерных композиций с антимикробными свойствами.

В качестве объектов исследования были выбраны полипропилен (ПП) и пищевой желатин. Образцы получали в виде двухслойного пленочного материала на основе полипропилена с желатином. В слой, состоящий из желатина, добавлялась антимикробная добавка – лизоцим, в количестве 1, 5 и 10%. В качестве контрольного образца использовали полимерный материал на основе полипропилена и желатина без добавления антибактерицидной добавки.

В работе использовали такие методы исследования: для определения антимикробных свойств – диско-диффузионный метод, а также определяли сроки хранения пищевых продуктов по ТР ТС 05/2011.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что полимерные материалы на основе ПП, желатина и лизоцима показали антимикробную активность в отношении микроорганизмов - бактерий и грибов. Наблюдалось, что с увеличением введения концентрации лизоцима в полимерный материал растет зона ингибирования. Результаты исследования влияния полимерного материала с антимикробной добавкой на сроки хранения пищевой продукции показали, что при хранении куриного филе в упаковке в течение 10 дней не образовывалась микробиальная порча продукта.

Результаты эксперимента показали, что пленочные изделия с антимикробной добавкой демонстрируют хорошие ингибиторные свойства.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Khorshidian N., Khanniri E., Koushki M.R., Sohrabvandi S. *Nutrition and Food Science Technology*, **2022**, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.833618>.
2. Silhavy T.J., Kahne D., Walker S. *Cold Spring Harb Perspect*, **2010**, 2. doi: 10.1101/cshperspect.a000414.
3. Ganz T. *Encyclopedia of Respiratory Medicine*, **2006**, 649-653. <https://doi.org/10.1016/B0-12-370879-6/00228-3>.
4. Kamaya T. *Mycopathologia et Mycologia Applicata*, **1970**, 42, 197-207. <https://doi.org/10.1007/BF0205194/>

## С-76 МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ХИНОКСАЛИНОВЫМИ ХРОМОФОРАМИ В КАЧЕСТВЕ ГОСТЕЙ И В БОКОВОЙ ЦЕПИ

Шарипова А.В.<sup>1</sup>, Фоминых О.Д.<sup>1</sup>, Балакина М.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт органической и физической химии им. Ак. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН,  
Казань, Россия

420088, Россия, г. Казань, ул. Ак. Арбузова, д. 8.  
a.v.sharipova@yandex.ru

Одной из ключевых стадий при создании полимерного материала с электрооптической активностью является полинг, в ходе которого создается нецентросимметричная организация хромофоров, необходимая для проявления квадратичного нелинейно-оптического (НЛО) отклика. Для достижения максимальных значений НЛО необходимо подбирать содержание хромофоров в материале, а также разрабатывать эффективный протокол полинга (выбор температуры, времени полинга и величины напряженности приложенного электрического поля) [1,2]. Для этого может быть использовано молекулярное моделирование в приложенном электрическом поле.

Исследованы композиционные материалы на основе ПММА с хиноксалиновыми хромофорами-гостями, а также метакриловые сополимеры с хиноксалиновыми хромофорами, ковалентно присоединенными к полимерной цепи. Изучены особенности ориентации хромофоров в приложенном электрическом поле, напряженность поля варьировалась от 100 до 1000 В/мкм. Оценены как значения центросимметричного, Р2, так и нецентросимметричного,  $\langle \cos^3 \Theta_i \rangle$  ( $\Theta_i$  – угол между направлением дипольного момента  $i$ -го хромофора и направлением приложенного поля), параметров порядка, причем отдельно оценивались вклады от хромофоров и полимерных цепей [1]. Рассмотрены полимерные системы с различной плотностью: 0.6 г/см<sup>3</sup>, 0.9 г/см<sup>3</sup> и 1.1 г/см<sup>3</sup>, оценен свободный объем ячейки при разных плотностях материала. Оценки центросимметричного параметра порядка хромофоров хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными для рассмотренного композиционного материала с 15 масс.% содержанием хромофоров-гостей. В ходе моделирования в широком диапазоне температур рассчитаны температуры стеклования исследованных материалов. Оценено влияние способа введения хромофоров в полимер на эффективность их ориентации в приложенном электрическом поле. Изучено образование физической сетки за счет невалентных  $\pi$ - $\pi$  стекинг взаимодействий между арильными фрагментами хромофоров. Показано, что при ковалентном присоединении хромофоров к полимерной цепи доля хромофоров, участвующих в невалентном связывании друг с другом, меньше, чем в случае композиционных материалов. Моделирование выполнено в аморфной ячейке (силовое поле OPLS3e; программный комплекс Desmond [3]).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Fominykh O.D., Sharipova A.V., Balakina M.Yu. *J. Molec. Liq.* **2024**, 407, 125224.
2. Fominykh O.D., Kalinin A.A., Sharipova A.V., Levitskaya A.I., Balakina M.Y. *Comp. Mat. Sci.*, **2020**, 183, 109900.
3. Schrödinger Release 2020-3: Desmond Molecular Dynamics System, D.E. Shaw Research, New York, NY, 2017. Maestro-Desmond Interoperability Tools, Schrödinger, NY, 2020.

## С-77 СВОЙСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ ЭНДОПРОТЕЗОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ

Шрайнер А.А.<sup>1</sup>, Цобкалло Е.С<sup>1</sup>, Нащёкина Ю.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия*

*191186, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18*

*E-mail:doctorschreiner@my.com (автор для переписки)*

<sup>2</sup>*Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия*

*Россия, 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий проспект 4*

*cellbio@incras.ru*

Несмотря на большой ассортимент полипропиленовых (ПП) эндопротезов, выпускаемых российскими и зарубежными производителями, результаты сравнительного анализа функциональных свойств этих материалов в научной литературе представлены немногочисленными работами. При создании хирургических эндопротезов широко используется полипропилен, что связано с такими свойствами этого материала, как инертность в физиологически-активных средах организма в процессах жизнедеятельности, высокими механическими свойствами нитей ПП. Одними из важнейших функциональных свойств хирургических эндопротезов являются деформационные свойства. В настоящей работе проведены экспериментальные исследования в режимах двухосного (Textile Ball Burst Testing) и одноосного нагружения трикотажных полипропиленовых эндопротезов российских и зарубежных фирм. Эти методы являются основными для оценки механических свойств хирургических медицинских полотен этого вида. Выделены характерные особенности материалов сетчатых эндопротезов, определяющих их функциональность в медицинской практике. Показано, что важной характеристикой подобных материалов являются не столько прочностные свойства полотен, сколько их деформационные свойства в определённой области растяжения. Отмечено, что к этим значимым деформационным характеристикам относятся деформационные показатели первого участка диаграмм растяжения: длина участка; наклон деформационной кривой к оси деформации, характеризующий жёсткость материала. Также важным показателем, определяющим функциональные свойства эндопротезов, является совпадение деформационных характеристик в разных направлениях полотна. Анализ результатов исследований позволил выделить наиболее функциональные структуры полотен с хирургической точки зрения. Полученные результаты могут быть рекомендованы специалистам в хирургической практике. Показано, что наиболее перспективным путём модификации хирургических эндопротезов является нанесение соответствующих покрытий, способствующих быстрейшему заживлению ран. В нашей работе в качестве покрытия использовался чистый коллаген. Предложенный способ нанесения коллагенового покрытия позволил достичь хорошей адгезии к ПП. Также перспективным направлением модификации синтетических сетчатых эндопротезов является создание градиентных многослойных медицинских полотен. Такие материалы производятся зарубежными фирмами, но среди отечественных производителей подобные аналоги отсутствуют. Полученные результаты позволяют определить перспективные направления модификации отечественных хирургических эндопротезов для герниопластики.

## С-78 ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ С ХИНОКСАЛИНОНОВЫМИ Д-П-А ХРОМОФОРАМИ С ВЫСОКОЙ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Шустиков А.А.<sup>1</sup>, Петров Д.Н.<sup>1,2</sup>, Валиева А.А.<sup>1</sup>, Фазлеева Г.М.<sup>1</sup>,  
Калинин А.А.<sup>1</sup>, Балакина М.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный центр РАН, ул. Ак. Арбузова, 8, Казань, Россия,

<sup>2</sup> Физико-технический институт им. Е.К. Завойского, ФИЦ Казанский научный центр РАН, г. Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7  
e-mail: shuustikov@gmail.com

В этой работе была изучена нелинейно-оптическая (НЛО) активность поляризованных тонких пленок композитных полимерных материалов с различной концентрацией (15-35 масс. %) новых дипольных хромофоров, содержащих хиноксалиноновый фрагмент, в полиметилметакрилате (ПММА). Полимерные пленки были приготовлены на покровном стекле методом центрифугирования из растворов трихлорэтана с толщинами ~ 400 нм, поляризованы в поле коронного разряда для создания нецентросимметричной организации хромофоров, и методом генерации второй гармоники (ГВГ) с применением фемтосекундного лазерного излучения ( $\lambda=1028$  нм) была исследована их квадратичная НЛО активность. В докладе обсуждается зависимость НЛО активности полимерных композитных материалов от структуры допированного хромофора и его концентрации.

Так, материал **1**, содержащий хромофор с более сильным акцепторным фрагментом и дополнительными группами (этильной, метильными), которые могут препятствовать агрегации, демонстрирует в 10 раз большую интенсивность второй гармоники (рис. 1а) в сравнении с полимерным композитом **2** с таким же содержанием хромофоров (рис. 1б). Это приводит к трехкратному росту НЛО коэффициента,  $d_{33}$ , (65 пм/В и 20 пм/В [1], соответственно).

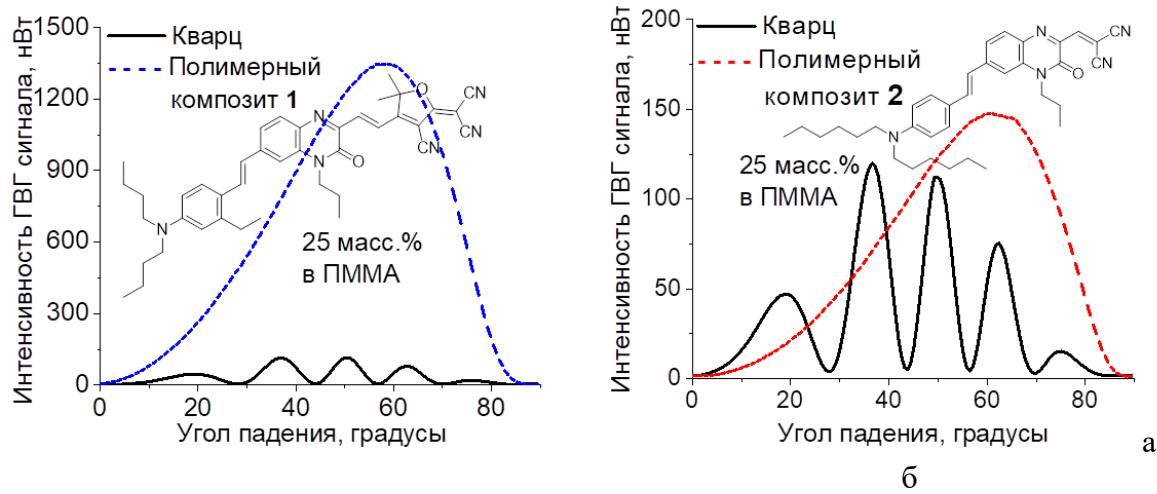


Рисунок 1. Зависимость интенсивности сигнала ГВГ хромофор-содержащих тонких полимерных пленок и кварца от угла падения лазерного излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 25-23-00140.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Калинин А.А., Шустиков А.А., Исламова Л.Н., и другие. *Dyes and Pigments*, 2024, 227, 112184.

## **С-79 НОВОЕ КОМПАУНДНОЕ РЕШЕНИЕ СИБУРА С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Ялышев У.Р., Булашов К.И., Ананьева Г.С.

*ПАО «Казаньоргсинтез», Казань, Россия  
420051, г. Казань, ул. Беломорская, 101  
[kos@kos.sibur.ru](mailto:kos@kos.sibur.ru)*

В условиях глобального перехода к устойчивому развитию и циркулярной экономике компания СИБУР ведет разработку инновационных компаундных решений на основе вторичных полимеров под брендом Vivilen.

Одним из направлений деятельности является разработка композиций поликарбоната с вовлечением вторичного сырья для сегмента отрасли жесткая упаковка.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- исследование реологических, физико-химических, оптических и цветовых характеристик вторичного сырья и композиций, получаемых в ходе компаундирования на экструдере;
- разработка рецептур компаундов на основе первичного сырья ПАО «Казаньоргсинтез» (далее – КОС) и вторичного сырья от различных контрагентов;
- определение оптимальных режимных параметров процесса экструдирования композиций и отливки стандартных изделий на термопластавтомате.

В качестве сырья для получения композиций выступала флекса от производителей бутылей в РФ и зарубежных компаний, а также первичный поликарбонат производства КОС.

Процесс компаундирования сырья производился на лабораторной экструзионно-гранулирующей линии на базе двухшнекового экструдера Brabender Ketse 20/40.

В ходе проведенных исследований были разработаны рецептуры компаундов с варьируемым процентным содержанием вторичного сырья. Установлено, что увеличение доли флексы в составе композиции приводит к снижению индекса текучести расплава (ПТР) материала, а также к усилению голубого оттенка.

Подобранный состав обеспечивает оптимальное сочетание эксплуатационных свойств и может быть рекомендован для практического применения.

## **С-80 УПАКОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ И ШУНГИТА**

Яновская К.С., Банникова О.А., Чекалина С.В., Альхайр А.Я.

*ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», Москва,  
Россия  
125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11  
ksenia.balet@gmail.com*

Микробиологическая безопасность пищевой продукции является одним из самых актуальных вопросов наших дней. По всему миру ученые разрабатывают упаковку с антимикробными свойствами для продления сроков годности пищевых продуктов. Поэтому целью работы было создание и исследование упаковочного полимерного материала с антимикробными свойствами [1-3].

В качестве объектов исследования были использованы следующие материалы: полипропилен (ПП) марки 01030, произведенный на Московском НПЗ и суперконцентрат функциональной добавки (шунгит) в виде черных гранул (ТУ221000233054488 2016), изготовленный ООО «Никатор» (г. Серпухов). Полипропилен служит основой (полимерной матрицей) для создания полимерного композиционного материала, шунгит – наполнителем, как антимикробная добавка.

В работе полимерные композиционные материалы на основе полипропилена с добавлением шунгита (5%, 10%, 20% масс.) получали на термопластавтомате методом литья под давлением. В качестве контрольных образцов использовали чистый полипропилен. Температура плавления полипропилена - 160°C, температура переработки - 230°C. Образцы получали в форме пластин. В работе полученные образцы исследовали на антибактериальные и фунгицидные свойства и доформационно-прочностные характеристики.

В результате проведенных исследований было установлено, что введение шунгита в полимерную матрицу влияет положительно на бактерицидные свойства по отношению к микроорганизмам *Aspergillus Niger* и *Candida Albicans*, а также фунгицидные свойства по отношению плесневого гриба *Aspergillus Niger*. Введение добавки в полимерный материал оказывает значительное влияние на прочностные характеристики полимерного композиционного материала.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Кирш И.А., Ананьев В.В., Аксенова Т.И., Губанова М.И., Филинская Ю.А. *Методы модификации упаковочных полимерных материалов: методические указания к самостоятельной работе студентов специальностей 261201, 240502.* М.: МГУПБ, 2010, 21 с.
2. Филиппов, М.М. *Шунгитоносные породы Онежской структуры: учеб. пособие / М.М. Филиппов — М.: Издво Карельский научный центр РАН, 2002, 150 с. 3. Kamaya T. *Mycopathologia et Mycologia Applicata*, 1970, 42, 197-207. <https://doi.org/10.1007/BF02051947>.*
3. Ganushova K., Vapenko L., Dobiash Ya., ishkova L. *Central European Journal of Chemistry*, 2013, 11(7), 1066-1078. DOI: 10.2478/s11532-013-0241-4.



# СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция:

Физико-математическая

## **С-81 САМООРГАНИЗАЦИЯ АКТИВНЫХ ГОМОПОЛИМЕРОВ И СОПОЛИМЕРОВ В РАСТВОРАХ**

Буглаков А.И.<sup>1</sup>, Лелекова В.А.<sup>1</sup> Чертович А.В.

<sup>1</sup> *ФГБУН ФИЦ ХФ им. Н. Н. Семенова РАН*  
*buglakov@polly.phys.msu.ru*

Способность частиц преобразовывать поглощенную энергию в поступательное движение приводит к возможности особого неравновесного упорядочения в таких системах. Связанные вместе в цепь, эти частицы коллективно ведут себя совершенно иначе, чем известные равновесные полимеры. Примеры таких систем можно найти на совершенно различных масштабах: от наноразмерных биологических комплексов днк с белками-моторами до макроскопических цепных объектов.

В данной работе методом молекулярной динамики в рамках модели активных броуновских частиц [1] исследованы конформационные переходы в бесконечно-разбавленных растворах активных полимеров, в которых на каждый мономер (активный гомополимер) или только на часть (активный сополимер) действует независимая сила, имитирующая эффект молекулярного мотора. Изучена самосборка в таких системах для случая высокой вязкости, в которых инерционными взаимодействиями можно пренебречь, и для режима малой вязкости, где масса и момент инерции играют существенную роль в упорядочении полимера. Рассмотрено влияние поступательных и вращательных инерционных сил на особенности самосборки таких полимеров в режиме хорошего растворителя.

Мы показываем способность самодвижущихся мономерных единиц вызывать коллапс цепи в условиях, когда нет явного притяжения между частицами [2]. Результатирующая конформация является гетерогенной, характеризуется плотным конденсированным ядром, окруженным удлиненными петлями и стабилизированным эффективным градиентом температуры. Полимерные сегменты в конденсированной фазе имеют складчатую упаковку. С помощью метода молекулярной динамики, мы показываем, что этот эффект аналогичен фазовому разделению, вызванному подвижностью в активных средах.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Caprini L., Gupta R. K., Löwen H. *Physical Chemistry Chemical Physics*, **2022**, 24, 24910-24916.
2. Buglakov A.I., Lelecova V.A., Chertovich A.V., *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2025, 27, 1691-1700.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-73-00089. Расчеты проводились на оборудовании Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

## С-82 ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПСЕВДОУЗЛОВЫХ ОЛИГОНУКЛЕОТИДНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Дмитрович А.Д.<sup>1,2</sup>, Буглаков А.И.<sup>1,2,3</sup>, Чертович А.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1.

<sup>2</sup>ФИЦ ХФ РАН, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, Косыгина, д. 4.  
<sup>3</sup> ИНЭОС РАН, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, Вавилова 28.  
dmitrovich.ad22@physics.msu.ru

Взаимодействия нуклеиновых кислот играют ключевую роль в биологических процессах и создании функциональных молекулярных конструкций [1]. Однако сложность их самоорганизации, обусловленная насыщающимися взаимодействиями комплементарных мономеров, требует применения методов компьютерного моделирования. Современные алгоритмы динамического программирования для комбинаторного предсказания вторичных структур ограничены в предсказании многоцепочных комплексов, а атомистическое моделирование ресурсоемко.

В работе исследовано формирование псевдоузловых двухцепочечных комплексов ДНК с использованием численных методов (NUPACK [1]) и крупнозернистого моделирования (oxDNA [2]). Определены вторичные и третичные структуры взаимодействующих петель (kissing-loop), изучены температурные переходы между геометриями комплексов. Оптимизация трехмерной структуры выполнена методами имитации отжига (алгоритм Метрополиса-Гастингса) и генетическими алгоритмами с учетом температуры плавления, перехода псевдоузел-дуплекс, угла между петлями. Результаты сопоставлены с экспериментальными данными, полученными с использованием флуоресцентной метки и гасителя.

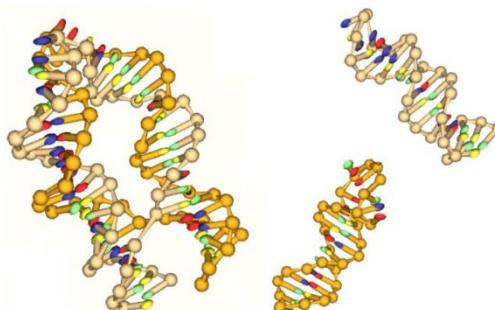


Рис. 1 3д структуры комплексов ДНК, образующие kissingloop и hairpin смоделированные oxDNA.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Zadeh J. N. et al. NUPACK: Analysis and design of nucleic acid systems //Journal of computational chemistry. – 2011. – Т. 32. – №. 1. – С. 170-173.
2. Sengar A. et al. A primer on the oxDNA model of DNA: when to use it, how to simulate it and how to interpret the results //Frontiers in Molecular Biosciences. – 2021. – Т. 8. – С. 693710.

Работа поддержана в рамках Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета “Молекулярные технологии живых систем и синтетическая биология” Соглашение №23-Ш04-13”.

## С-83 ПОЛЯРИЗАЦИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ ПВДФ В ПЛАЗМЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

Басов Б.А.<sup>1</sup>, Макарова К.Т.<sup>1</sup>, Моисеев К.М.<sup>1</sup>, Осипков А.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
105005, Россия, Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5  
mkt@bmstu.ru

Широкое распространение получили пленки поливинилиденфторида (ПВДФ) благодаря высоким пьезоэлектрическим характеристикам (например, пьезокоэффициент  $d_{33} \sim 30$  пКл/Н) [1]. Неотъемлемой технологической операцией придания пьезосвойств пленке ПВДФ является их поляризация. На сегодняшний день для этой цели используются методы контактной поляризации либо поляризации в коронном разряде, которые имеют ряд недостатков: необходимость нанесения на полимерную пленку проводящих слоев, дополнительный нагрев, неконтролируемость пробоя, зависимость от условий окружающей среды, неравномерность поляризации по площади. Поляризация в плазме тлеющего разряда позволяет избавиться от недостатков и ограничений традиционных методов, а также совместить данную операцию с нанесением различного типа электродов в едином технологическом цикле. Данный метод исследуется недавно, однако уже показал свою эффективность [2].

Пленки ПВДФ, предназначенные специально для последующей поляризации, должны обладать повышенной химической чистотой и более высоким содержанием электроактивной фазы, и выпускаются только за рубежом. Отечественные пленки ПВДФ выпускаются только для использования в качестве изоляторов.

Целью работы является оценка возможности поляризации в плазме тлеющего разряда пленки ПВДФ отечественного производства.

В качестве образцов используется предварительно одноосно вытянутая пленка «NEVAFLON» производства российской компании «ГИПХ» толщиной ~25 мкм. Поляризация проводится на лабораторном стенде плазменной поляризации на базе установки MPC One [3] при напряжении разряда 12 кВ, плотности тока 1 мА/см<sup>2</sup> в течение 1, 3 и 5 минут.

Для оценки эффективности поляризации измерены значения пьезокоэффициент  $d_{33}$  материала квазистатическим методом Берлинкура с помощью d33-метра Sinocera YE2730. Результаты эксперимента демонстрируют значения  $d_{33} \sim 13$  пКл/Н, что говорит как о возможности поляризации неспециализированной пленки ПВДФ, так и о перспективности метода плазменной поляризации для проведения этого процесса.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кочервинский В. В. Применение сегнетоэлектрических полимеров в технике и медицине / В. В. Кочервинский, О. В. Градов, М. А. Градова. – М.: Palmarium Academic Publishing, 2021. – 205 с.
2. Basov B. A., Makarova, K. T., Buryanskaya, E. L., Moiseev, K. M., Osipkov, A. S., & Maltsev. A., 2024 IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Joint Symposium (UFFC-JS), IEEE, 2024, 1-6.
3. Basov, Bogdan, Makarova, K. T., Moiseev, K. M., Osipkov, A. S., 2024 8th International Conference on Information, Control, and Communication Technologies (ICCT). IEEE, 2024, 1-5.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSFN-2025-0004).

## С-84 СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-П-КСИЛИЕНА И ОКСИДА МОЛИБДЕНА

Куткин А.Р.<sup>1</sup>, Озерин С.А.<sup>2</sup>, Вдовиченко А.Ю.<sup>1,3</sup>, Несмелов А.А.<sup>3</sup>, Завьялов С.А.<sup>3</sup>, Чвалун С.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*РГУ МИРЭА – Российский технологический университет, Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
119571, Россия, г. Москва, просп. Вернадского, д. 86.*

<sup>2</sup>*Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва ул. Косыгина, д. 4*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия  
123182, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1  
sergeoz@yandex.ru*

В последнее время особый интерес представляют нейроморфные вычислительные системы (НВС) на базе мемристоров благодаря их высокой энерго- и вычислительной эффективности при решении задач искусственного интеллекта. К настоящему времени исследовано большое количество мемристивных структур с различными механизмами резистивных переключений (РП). Наибольший интерес представляют мемристоры, в которых РП происходит за счет электромиграции вакансий кислорода или катионов металлов, т.к. они демонстрируют наиболее приемлемые характеристики. Одним из подходов к решению задачи создания массивов мемристивных устройств является инженерия дефектов в многослойных тонкопленочных мемристивных материалах для контроля эффекта стохастического РП. В качестве таких дефектов могут выступать дислокации, наночастицы металлов в неорганической или органической матрицах.

В качестве наполнителя может быть использован триоксид молибдена ( $\text{MoO}_3$ ) – полупроводник n-типа с шириной запрещенной зоны от 2,9 до 3,15 эВ в монокристаллах, а одной из наиболее перспективных полимерных матриц для синтеза нанокомпозитов является поли-п-ксилилен (ППК).

В настоящее время наиболее многообещающим подходом к синтезу нанокомпозитов на основе поли-п-ксилилена является метод твердофазного криохимического синтеза, заключающийся в совместном осаждении паров мономера и металла на охлажденную подложку (обычно при температуре жидкого азота) с последующей низкотемпературной твердофазной полимеризацией соконденсата.

В данной работе синтезированы образцы тонкопленочных композитов на основе поли-пара-ксилилена и оксида молибдена с различной толщиной и концентрацией неорганического наполнителя. Методами рентгеновского рассеяния и спектроскопии поглощения рентгеновского излучения исследована структура синтезированных композитов и ее изменение при термическом отжиге. Обнаружено, что наночастицы оксида молибдена как в исходных, так и в отожженных образцах остаются аморфными. Увеличение концентрации наполнителя и отжиг приводят к уменьшению ширины запрещенной зоны в наночастицах оксида молибдена, что, по всей видимости, связано с увеличением размера наночастиц. Показано, что отжиг приводит к улучшению стабильности характеристик резистивного переключения в мемристорах на основе синтезированных композитов, что открывает возможность использования данных материалов в качестве активного слоя мемристивных устройств.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 20-79-10185-П.

## С-85 МИКРОФЛЮИДНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ПОВЫШЕНИЮ НЕФТЕОТДАЧИ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ

Пряжников М.И.<sup>1</sup>, Волченко Е.Н.<sup>1</sup>, Пряжников А.И.<sup>1</sup>, Якимов А.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

660041, Россия, г. Красноярск, пр-т Свободный, д. 79

*mtryazhnikov@sfu-kras.ru*

Проведены исследования по разработке нефте вытесняющих флюидов на основе модифицированных полимерных растворов. В качестве полимеров использовались натуральные полимеры (ксантановая камедь) и синтетические (полиакриламид (ПАА), поливинилпирролидон (ПВП)), а модификаторами выступали различные наноматериалы отечественного производства. Среди них были сферические наночастицы, нановолокна  $Al_2O_3$ , а также углеродные нанотрубки (УНТ). Массовая концентрация нанодобавок варьировалась от 0,01 до 2 %. В ходе лабораторных экспериментов была отработана методика приготовления устойчивых наномодифицированных полимерных растворов.

Проведено комплексное изучение реологии и вязкоупругих характеристик полимерных растворов с различными нанодобавками. Показано, что вязкость модифицированных полимерных растворов зависит от концентрации, размера и материала наночастиц. Впервые установлено влияние нановолокон оксида алюминия на реологию и вязкоупругие свойства модифицированного раствора ксантана, зафиксирован значительный рост вязкости и вязкоупругих модулей при увеличении их содержания в сравнении со сферическими наночастицами. Продемонстрировано влияние УНТ на реологию и вязкоупругие свойства полимерных растворов на основе полиакриламида.

Проведены микрофлюидные экспериментальные исследования разработанных нефте вытесняющих флюидов. Эксперименты проводились на микрофлюидных чипах с двумя разными топологиями (модель пористой среды терригенного коллектора и модель трещиновато-кавернозного коллектора). С помощью метода фотолитографии и реактивного ионного травления была изготовлена первичная мастер-форма из кремния. После этого с силанизированной кремниевой мастер-формы был снят оттиск из ПДМС, который в дальнейшем использовался для изготовления микрофлюидных чипов из эпоксидной смолы KER 215 и отвердителя КСА4303.

В ходе проведённых микрофлюидных экспериментов были получены зависимости коэффициента вытеснения и перепада давления. Определены зависимости коэффициента вытеснения нефти от свойств полимерного раствора. Установлена качественная корреляция между результатами микрофлюидных экспериментов по вытеснению нефти из микрофлюидных чипов и результатами фильтрационных испытаний, полученными на кернах с использованием аналогичных нефте вытесняющих флюидов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пряжников М.И., Пряжников А.И., Скоробогатова А.Д., Минаков А.В., Ивлева Ю.О. *Micromachines*, 2023, 14, 1-16.
2. Пряжников А.И., Пряжников М.И., Лобасов А.С, Минаков А.В. *Nanomaterials*, 2024, 14, 1-16.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-79-30022.

## **С-86 ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И РАДИОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВРКМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА**

Людоговский П. Д., Сёмин Н. А., Наумов А. В., Федяев В. Л.

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань Россия  
420111, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 10*

Современные тенденции развития авиационной техники предполагают решения множества задач, связанных с увеличением скоростей и маневренности летательных аппаратов и повышением требований, предъявляемых к термостойким (более 1500 °C) и радиопрозрачным элементам их конструкции. Для эффективного применения и эксплуатации таких изделий необходимым условием является создание новых материалов, в том числе и композиционных, обладающих высокими показателями термостойкости и радиопрозрачности с учетом требуемой прочности, а также разработка технологий для реализации указанных изделий в производстве.

Группой ученых из КНИТУ-КАИ и МГУ им. М.В. Ломоносова разработан высокотемпературный радиопрозрачный композиционный материал (ВРКМ), который может быть использован для решения таких задач [1, 2, 3]. Одновременно разрабатывались технологии изготовления термостойких элементов летательных аппаратов, требующих радиопрозрачности [4]. Разработанные технологии позволяют варьировать состав ВРКМ с учетом конструктивно-технологических особенностей производимых и эксплуатируемых изделий в зависимости от требований Заказчика. Большой объем исследовательских работ был проведен для определения теплофизических, физико-механических, характеристик ВРКМ и его диэлектрических свойств для различных типов ВРКМ и условий эксплуатации изделий из него.

Разработанные технологии и полученные результаты испытаний изделий из ВРКМ позволили определить наиболее перспективные направления и области применения данного материала.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Людоговский П.Л., Наумов А.В., Лунев И.В. Разработка, изготовление и испытания высокотермостойкого радиопрозрачного композиционного материала // Изв. вузов. Авиационная техника. 2023. № 4. С. 167–177.
2. Людоговский П. Л., Семин Н. А., Наумов А.В., Поляев А. В. Технология изготовления изделий из высокотемпературного радиопрозрачного композиционного материала в // Изв. вузов. Авиационная техника. 2024. № 4.
3. Патент № 2830745. Российская Федерация. Высокотермостойкий радиопрозрачный композиционный материал: № 2022116215; заявл. 11.08.2023, опубл. 25.11.2024/ Людоговский П.Л., Наумов А.В., Клейн Н.В. и др.
4. Патент № 2784939. Российская Федерация. Способ получения высокотемпературного композиционного материала: № 2022116215 заявл. 15.06.2022, опубл. 01.12.2022 / Людоговский П.Л., Михайлов С.А., Клейн Н.В., и др.

Работа выполнена при финансовой поддержке АО «Алмаз-Антей» и за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»)

## **С-87 ИССЛЕДОВАНИЕ КОВАЛЕНТНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСОВ НА ОСНОВЕ ФУРАНА И ТРИАЗИНА В КАЧЕСТВЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

Шамсиева А.И.<sup>1</sup>, Гумарова И.И.<sup>2</sup>, Кавиани С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский федеральный университет Институт физики, Казань, Россия  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлёвская, д. 16А.

<sup>2</sup> Ереванский государственный университет, Институт физики, Лаборатория  
компьютерного материаловедения, Ереван, Армения  
0025, Республика Армения, г. Ереван, ул. Алека Манукяна, д. 1.  
aigul-shamsieva@mail.ru

Ковалентные органические каркасы — это особый класс высокоупорядоченных полимеров, которые отличаются от обычных полимеров возможностью предварительного проектирования их структуры. Используя разные мономеры и связи, можно создавать материалы с точно контролируемыми размерами пор, регулярной кристаллической структурой и ограниченным молекулярным пространством [1]. Ковалентные органические каркасы часто производятся из биосовместимых исходных веществ, что снижает риск загрязнения окружающей среды на всех этапах — от добычи сырья до утилизации готовой продукции. Также они обладают высокой стабильностью и долговечностью [2]. Это существенно снижает количество отходов, образующихся в результате частого замещения менее стойких материалов. Уменьшение количества отходов в свою очередь снижает нагрузку на системы утилизации, что является важным шагом к более экологически безопасным технологиям. Уникальное сочетание вариативности и функциональности делает их перспективными материалами для решения задач по хранению энергии [3,4].

В этом исследовании были рассмотрены ковалентные органические каркасы на основе фурана и триазина в качестве потенциальных электродов для систем накопления и преобразования энергии. В ходе исследования были проанализированы различные характеристики материалов: геометрические параметры, химическая и термическая устойчивость, напряжение холостого хода, теоретическая ёмкость и особенности диффузии ионов лития на поверхности структуры. Также были изучены электронные свойства материалов, включая парциальную плотность состояний, зонную структуру. Было показано, что данные материалы претерпевают незначительные структурные изменения на протяжении всего процесса литирования/делитирования, демонстрируя превосходные характеристики.

Полученные результаты дают представление о том, как ковалентные органические каркасы на основе фурана и триазина могут применяться в качестве электродов в литий-ионных аккумуляторах, что открывает новые перспективы для развития энергоэффективных технологий.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Chen K., M.Farghali, A.Osman, et al., *Colloid Interface Sci.* **2023**, 23, 2003–2039.
2. P. Li, Sh. Luo, L. Zhang et al., *Journal of Energy Chemistry*, **2024**, 89, 144-171.
3. J. He, J Meng, Y Huang, *Journal of Power Sources*, **2023**, 570, 232965.
4. Q. Wang, Q Chen, R Zhao, et al., *Journal of Colloid and Interface Science*, **2023**, 648, 616-622.



# ЗАЧНЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция: Химическая

# ПУТИ ФОТОХРОМНОЙ РЕАКЦИЯ 1,1'-АЗОБИС-1,2,3-ТРИАЗОЛА: ИССЛЕДОВАНИЕ CASSCF И СПИН-ФЛИП DFT

Liangyue Cheng, Чередниченко А.Г.

Российский университет дружбы народов Им. Патриса Лумумбы (RUDN), Москва,  
Россия.

117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, б  
E-mail: 1042225185@pfur.ru

В этом исследовании использовались мультиконфигурационные методы CASSCF и MS-CASPT2 для изучения механизма фотоиндуцированной изомеризации 1,1'-азобис-1,2,3-триазола. Результаты расчетов MS-CASPT2//CASSCF показывают, что реакция фотоизомеризации 1,1'-азобис-1,2,3-триазола включает неадиабатический переходный путь через состояние  $S_2$ . После фотовозбуждения до состояния  $S_2$  молекула подвергается внутренней конверсии, достигающей  $S_1$ -минуты, за которой следует безызлучательный переход обратно в основное состояние.  $S_1/S_0$ -CI и  $S_1$ -min имеют сходную структуру и близкие энергии, что способствует одностороннему вращению. Слабая связь между основным и возбужденным состояниями может быть обусловлена сильным электроноакцепторным свойством цепи  $N_8$ . Кроме того, используя результаты расчетов MS-CASPT2//CASSCF в качестве справочного материала, мы сравнили различия в описании процесса фотоизомеризации этого соединения с использованием метода SF-DFT, как в качественном, так и в количественном отношении. Результаты показывают, что метод SF-DFT значительно недооценивает энергию состояния  $S_1$ . Ожидается, что эти результаты углублят понимание неадиабатических переходов при фотоиндуцированном вращении соединений с высоким содержанием азота и дадут теоретическое представление о других соединениях с высоким содержанием азота, которые могут проявлять фотохромизм.

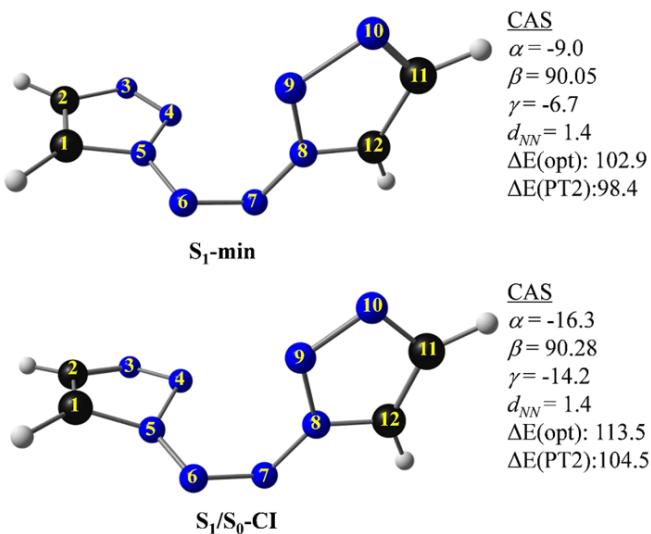


Рисунок 1. Важные структурные параметры  $S_1$ -min и  $S_1/S_0$ -CI, оптимизированные с помощью CASSCF/6-31G(d,p), и энергетическая коррекция с помощью MS-CASPT2/6-31G(d,p). (Двугранные углы в градусах, длины связей в Å и относительная энергия в ккал/моль).<sup>[1]</sup>

## ЛИТЕРАТУРА

1. L.Y. Cheng, Photochromic reaction pathways of 1,1'-azobis-1,2,3-triazole: A CASSCF and spin-flip DFT study, *Computational and Theoretical Chemistry*, 2024, 1241, 114870.

## СТИМУЛ-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-*N*-ВИНИЛКАПРОЛАКТАМА

Акамова Е.В.<sup>1</sup>, Кижняев В.Н.<sup>1</sup>, Покатилов Ф.А.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Иркутский государственный университет, Россия  
664003, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, д. 1.  
ibm-95@mail.ru*

Гидрогели на основе сетчатых полимеров представляют собой уникальные материалы, которые сочетают в себе свойства растворов (незначительное содержание полимерной компоненты на фоне большого содержания иммобилизованного растворителя) и твёрдых тел (сохранение формы, относительная механическая прочность и т. д.). Это позволяет широко использовать гидрогелевые материалы в различных областях науки, производства, сельского хозяйства и медицины. В последнее время особое внимание исследователей привлекают так называемые «ум-ные» полимерные гели, которые могут направленно и обратимо изменять свои свойства под воздействием внешних факторов, таких как изменение состава, ионной силы, pH и температуры окружающей среды.

К числу гелевых материалов, проявляющих подобные способности, относятся гидрогели на основе сетчатых полимеров амфи菲尔ной и полизелектролитной природы. Среди них особое место занимают макромолекулярные образования, получившие название «amphiphilic conetworks» (амфи菲尔ные блок-сополимерные сетки). Они представляют собой сшитые блок-сополимеры, которые в зависимости от природы составляющих их цепочечных фрагментов обладают различными типами чувствительности к изменению параметров внешней среды, включая pH- и термочувствительность. К типу “conetworks” можно отнести и сетчатые структуры, представляющие собой парные полимеры, получаемые посредством реакционного смешения высокомолекулярных соединений различной природы.

Формирование сетчатых парных полимеров происходит в результате взаимодействия обладающих химическим сродством “якорных” функциональных групп (например, N-H незамещенных тетразольных и оксирановых гетероциклов), расположенных случайным образом в структуре разнородных макромолекул, что приводит к их ковалентному связыванию. Получаемая подобным способом трехмерная сетка может объединять цепочечные фрагменты самых разных по природе полимеров – ионизующихся и неионогенных, гидрофильных и гидрофобных, чувствительных к различным изменениям в окружающей среде.

Одним из вариантов получения подобных систем, является смешать поли-*N*-винилкапролактам (ПВКЛ), которого отличают гидрофильность, отсутствие токсичности, биосовместимость, комплексообразующая способность, и гидрофобный полимер 1,1,7-тригидрододекафтогентилметакрилат (ФГМА). Выбранные полимерные реагенты могут образовывать блок-сополимерные сетки, которые проявляют свойства обоих компонентов. Для процесса реакционного смешения ПВКЛ, его модифицировали посредством введения в его макромолекулы небольших количеств звеньев 2-(винилоксизтокси)метилоксирана (ВО), также для работы с ФГМА аналогично вводили тетразольные циклы ФГМА(ВТ). В результате реакционного смешения получены сетчатые парные полимеры, способные к образованию стабильных в водной среде гидрогелей, сочетающие в себе pH- и термочувствительные свойства. Изменение соотношения тетразольных и лактамных циклов в составе парного полимера способствует изменению их свойств.

# РАЗРАБОТКА ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ, ВКЛЮЧАЮЩИХ ЗАМЕЩЕННЫЕ ФЕНОЛЫ И АТОМЫ ФОСФОРА

Аль-Базили Н.М.<sup>1,2</sup>, Багавеев А.М.<sup>1,2</sup>, Качаева Э.А.<sup>1,2</sup>, Ахмадуллин Р.М.<sup>2</sup>, Черезова Е.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский Национальный Исследовательский Университет, Казань, Россия

<sup>2</sup>ООО «НТИ «Ахмадуллины», Казань, Россия

На сегодняшний день химия антиоксидантов является одной из наиболее востребованных и стремительно развивающихся областей. Антиоксиданты широко используются для продления срока службы и улучшения эксплуатационных характеристик полимерных и горюче-смазочных материалов, для предотвращения окислительной порчи пищевых продуктов, в качестве биологически активных добавок и лекарственных средств. Один из современных подходов к созданию эффективных антиоксидантов заключается в разработке полифункциональных соединений, содержащих комбинации нескольких реакционных центров, которые ингибируют процессы свободно радикального цепного окисления одновременно по разным механизмам.

Синтезированы 4 полифункциональных антиоксиданта, структура полученных соединений подтверждена методами ИК и ЯМР спектроскопии.

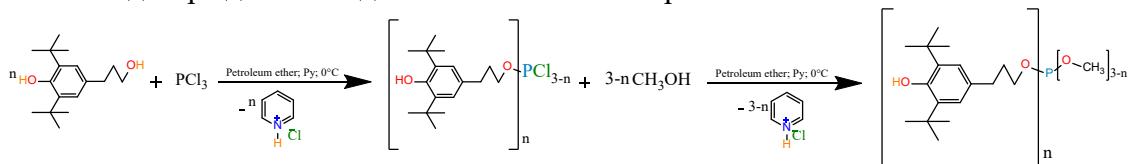


Рисунок № 1. Синтез полисульфона

Полученные соединения показали высокую антиоксидантную активность в реакции с дифенилпикрилгидразином (DPPH), гидропероксидом изопропил кумола, а также были проверены в стабилизации рапсового масла, для высоковольтного маслонаполненного оборудования, против окисления. Дальнейшие исследования будут направлены на исследование данных соединений в качестве стабилизаторов для полимерных материалов.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИЦИКЛОПЕНТАДИЕНА НА УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

Анисимов М.Ю. , Безгин Д.А. , Иванов Р.С. , Яковлева А.В. , Кузьмин М.В.

«Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», Чебоксары, Россия  
428015, Россия, г. Чебоксары, Московский пр., д. 19  
anisiomov@list.ru

Как известно, СКУ-7Л является полиуретановым эластомером, которого отличает высокая прочность и стойкость к износу, смазкам, нефти, ударным нагрузкам [1]. Это позволяет использовать его в качестве уплотнителей нефтяных и масляных сред, эластичных элементов в судостроении и машиностроении [2]. При этом он обладает высокой вязкостью, что затрудняет его применение на производстве, так как требует предварительной подготовки, а именно – нагрева, для снижения показателя вязкости. В настоящей работе для улучшения технологических параметров было изучено влияние дициклопентадиена (ДЦПД) на эксплуатационные характеристики полиуретановых заливочных составов на основе СКУ-7Л. ПУЭ получали путем смешения СКУ-7Л и отвердителя изофарондиамина, изменяя содержание ДЦПД от 0 до 20%. При этом для полученных составов была определена динамическая вязкость смеси СКУ-7Л с ДЦПД при 75 °С. Для отверждённых образцов проводились испытания на упруго-прочностные свойства, а именно: условная прочность, модуль Юнга и относительное удлинение. Результаты проведенных испытаний представлены на рис. 1 и 2.

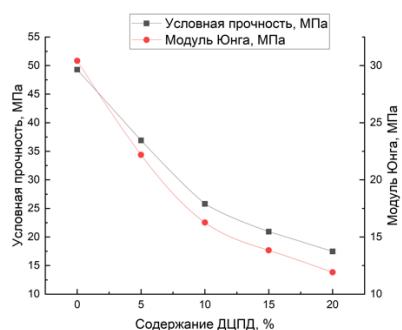


Рисунок 1 – График зависимости условной прочности и модуля Юнга от содержания

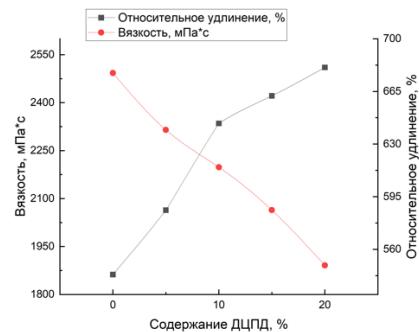


Рисунок 2- График зависимости относительного удлинения и вязкости от содержания

Из рис. 1 и 2 видно, что введение ДЦПД приводит к уменьшению показателей вязкости, условной прочности, модуля Юнга и увеличению относительного удлинения ПУЭ. Наиболее оптимальным является введение ДЦПД от 10 до 15%, при котором наблюдается значительное уменьшение показателей вязкости, с сохранением упруго-прочностных свойств на приемлемом уровне.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова В. Н., Алешунина, Л. А. Технология резиновых технических изделий . — Химия, 1975. — 312 с.
2. Полиуретановые эластомеры на основе форполимера СКУ-ПФЛ-100 и новых высокотехнологичных отверждающих систем / В. А. Игнатьев, В. А. Данилов, М. В. Кузьмин [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 1. – С. 29-32.

# МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Антонов А.С.<sup>1</sup>, Струк В.А.<sup>1</sup>, Прокопчук Н.Р.<sup>2</sup>, Крутько Е.Т.<sup>2</sup>, Пашаева З.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь,  
230023, Беларусь, г. Гродно, ул. Ожешко, 22

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,  
220006, Беларусь, г. Минск, ул. Свердлова, 13а

<sup>3</sup>Институт нефтехимических процессов Министерства науки и образования  
Азербайджана, Баку, Азербайджан,  
AZ 1025, Азербайджан, г. Баку, проспект Ходжалы, 30  
antonov\_as@grsu.by

Для технологии нанокомпозиционных материалов на основе высокомолекулярных матриц определяющим критерием выбора дисперсного модификатора является его энергетическое состояние, обусловленное достаточными геометрическими размерами поверхностного слоя, сформированного нанокомпонентами любого габитуса, и наличием нескомпенсированного заряда [1]. У дисперсной частицы с максимальным поперечным размером (диаметром)  $L(D)$  и размером центральной части ядра  $L_{\text{я}}(D_{\text{я}})$  существует поверхностный слой  $L_{\text{пс}}$ , образованный нанокомпонентами с размером  $L_{\text{к}}$ , находящийся в наносостоянии и определяющий ее активность в процессах межфазного взаимодействия – активность модифицирующего действия (рисунок).

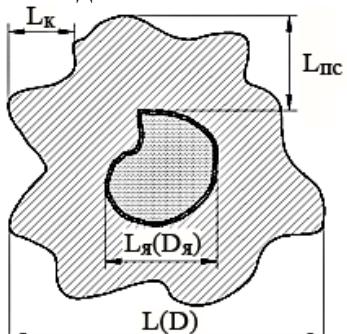


Рисунок – Строение дисперсной частицы микронного диапазона

В соответствии с разработанными категориями «энергетическое состояние», «наносостояние» и предложенной структурной моделью дисперсной частицы осуществлен выбор классов модификаторов для создания функциональных материалов на основе крупнотоннажных полимерных матриц. В качестве параметра, характеризующего активность модифицирующего действия, использовали интенсивность термостимулированных токов (ТСТ), протекающих в частице в определенных температурных диапазонах. Целесообразность использования этого параметра и зависимости  $I = f(T)$  подтверждена в работах проф. М.П. Тонконогова, Л.С. Пинчука, А.А. Охлопковой и сотр.

Проведена оценка влияния размерного фактора на энергетические характеристики дисперсных частиц углеродсодержащих и кремнийсодержащих компонентов, нашедших наиболее широкое применение в качестве функциональных модификаторов полимерных и олигомерных матриц при разработке нанокомпозитов с повышенными параметрами служебных характеристик.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авдейчик С.В., Струк В.А., Антонов А.С. Фактор наносостояния в материаловедении полимерных нанокомпозитов. – Saarbrücken : LAP Lambert Acad. Publ., 2017. – 468 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Многофункциональные и композиционные материалы» на 2021–2025 годы (задание 8.4.1.51).

# ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК

Арменков К.В., Заворотько А.Э., Крупин А.С., Галяметдинов Ю.Г.

Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
Казань, Россия 420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д.68.  
nauka.vsegda@yandex.ru

Углеродные точки — наноматериалы с уникальными оптическими свойствами, перспективные для применения в оптике, катализе, электронике и биомедицине [1]. Они обладают рядом преимуществ перед другими люминесцентными материалами, а их интеграция в водорастворимые полимеры позволяет создавать прозрачные композиты с высокой эффективностью люминесценции.

В связи с этим, целью работы являлся синтез и исследование оптических свойств пленочных материалов на основе поливинилпирролидона (ПВП) и поливинилового спирта (ПВС) с различным содержанием люминофора (рис. 1). Для получения пленок были использованы синтезированные нами ранее углеродные точки с излучением в синей области спектра (bCD) [2]. Пленки получались методом напыления при вращении.

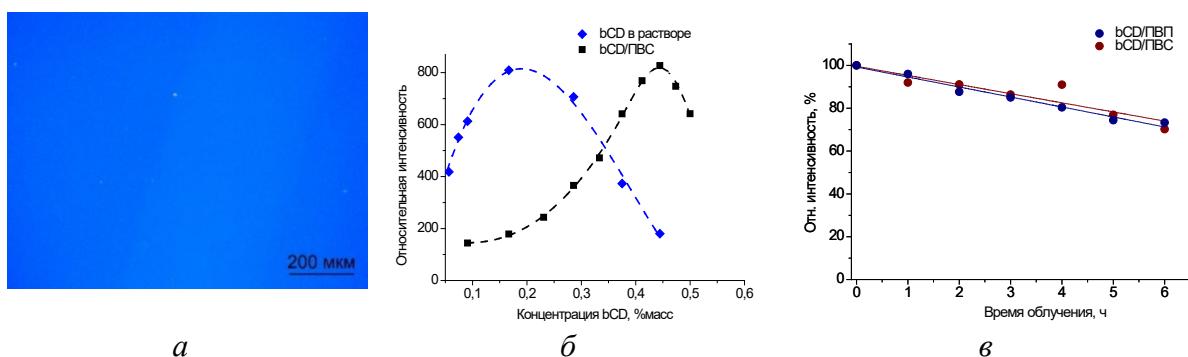


Рисунок 1 – (а) микрофотографии bCD в матрице ПВС; (б) концентрационная зависимость люминесценции; (в) фотостабильность bCD/ПВП и bCD/ПВС

Полученные пленочные материалы демонстрируют однородное распределение углеродных точек в растворах и в полимерных матрицах. Максимальная интенсивность излучения bCD достигается при концентрации 0,2 % масс. для водных растворов, и 0,4 % масс., для обоих полимеров, что позволяет получать материалы с высокой эффективностью люминесценции. После 6 часов постоянного облучения УФ-светом, снижение интенсивности люминесценции составило 30% для ПВП и 27% для ПВС.

Таким образом, в работе получены композитные полимерные материалы, перспективные для улучшения современных оптических устройств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zulfajri M., Sudewi S., Ismulyati S., Rasool A., Adlim M., Huang G.G. *Coatings*, 2021, 11 (9), 1100.
2. Заворотько А.Э., Максимова И.Д., Крупин А.С., Галяметдинов Ю.Г. *Вестник технологического университета*, 2024, 27 (12), 18-22.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ №20-73-10091.

## МОДИФИКАЦИЯ ПЛАСТИКОВ С ПОМОЩЬЮ СБС ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ХРУПКОСТИ

Астахов К.Ю.<sup>1,2</sup>, Аветисова Н.В.<sup>1</sup>, Муромцев Д.Н.<sup>1</sup>, Тимошенко М.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Полилаб Воронеж, АО «Воронежсинтезкаучук», СИБУР, г. Воронеж, Россия,  
394014, Воронежская Область, г. Воронеж, пр-кт Ленинский, д.2.

<sup>2</sup>Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж,  
Россия  
394036, Воронежская область, г. Воронеж, пр-кт Революции, д. 19  
kirillsthv@gmail.com

Термоэластопласти (ТЭП) являются особым классом полимеров с уникальными характеристиками, обусловленными комбинацией в структуре полимера жестких пластических доменов и эластичной матрицы. Благодаря этому, ТЭП сочетают в себе характеристики вулканизированных резин (эластичность, упругость) и свойства пластиков (твердость, прочность, хорошая перерабатываемость и возможность вторичной переработки). Бутадиен-стирольные термоэластопласти (СБС) имеют широкий спектр применений: модификация дорожного битума, пластиков, производство кровельных материалов, обуви, кабелей, РТИ [1].

Одним из перспективных направлений исследований являются работы по возможности модификации пластиков СБС ТЭП, так как сохраняется проблема хрупкости данных полимеров на примере акрилонитрилбутадиенстирола (АБС), полистирола (ПС). Пластики обладают низкой хрупкостью как на этапе изготовления (компаундирования), так и при эксплуатации в конечных изделиях.

В научном центре Полилаб Воронеж АО «Воронежсинтезкаучук» были проведены работы по смешению, а также сделаны сравнительные испытания полученных компаундов на основе АБС и ПС пластиков, модифицированных маркой СБС Л 7322. Композиции наработаны на двухшнековом экструдере. Модификация ПС пластика при введении 5% СБС Л 7322 показала увеличение: относительного удлинения при разрыве, на 10%, ударной вязкости ПС с 54 до 81 кДж/м<sup>2</sup>, ПТР с 5 до 8 г/10 мин. При модификации АБС пластика наблюдается повышение ПТР с 21 до 27 г/10 мин. Также преимуществами у модифицированного АБС является повышение ударной вязкости с 13 до 16 на кДж/м<sup>2</sup>.

Модификация пластиков является перспективным направлением исследований. Марку СБС Л 7322 можно рекомендовать в качестве целевого модификатора показателей относительного удлинения и ударной вязкости АБС и ПС. Наиболее оптимальный процент ввода для обеих композиций, составляет 5% по массе, однако, в зависимости от требований можно увеличить или уменьшить содержание ТЭП для достижения требуемого уровня модификации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чухланов, В. Ю. *Современные методы исследования эксплуатационных свойств полимерных материалов: учеб. пособие к лаб. и практик. занятиям* / В. Ю. Чухланов, Е. В. Ермолаева, Л. А. Чижова; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2019. – 104 с.

## СИНТЕЗ ОЛИГОАРИЛСУЛЬФОНА НА ОСНОВЕ ФЕНОЛФТАЛЕИНА И 4,4'-ДИХЛОРДИФЕНИЛСУЛЬФОНА

Ахмадуллин А.Р.<sup>1</sup>, Багавеев А.М.<sup>2,3</sup>, Качаева Э.А.<sup>2,3</sup>, Алтахла А.<sup>3,4</sup>, Абдулганеев  
Д.Р.<sup>2,3</sup>, Файзуллин И.З.<sup>2</sup>, Вольфсон С.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение "Лицей №131" Вахитовского района г. Казани

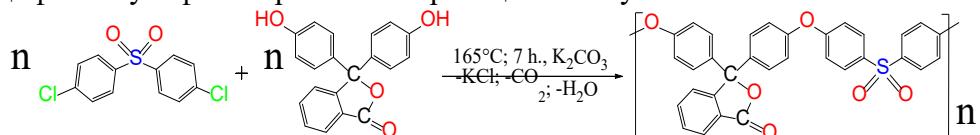
<sup>2</sup>Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет

<sup>3</sup>OOO «НТЦ «Ахмадуллины»

<sup>4</sup>Казанский Федеральный Университет

Олигоарилсульфоны на основе 4,4'-дихлордифенилсульфона и фенолфталеина являются перспективными суперконструкционными полимерными материалами в радиоэлектронной, космической и авиационной отраслях промышленности.

Синтезированы олигоарилсульфоны на основе фенолфталеина и 4,4'-дихлордифенилсульфона в различных реакционных условиях:



### Рисунок № 1. Синтез полисульфона

№	ФФТ, моль	ДХДФС, моль	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , моль	DMAA, моль	ПТР, г/10 мин; (2 мм, 343 °C)	h, г/см <sup>3</sup>	Mη	Выход, %
1	0,1	0,1	0,11	1,38	0,12 (2,16 кг) 6,37 (5,00 кг)	19,20	20 892	82,0
2	0,1	0,1	0,11	2,76	0,6 (2,16 кг) 0,9 (5,00 кг)	27,85	37,356	99,8%
3	0,1	0,1	0,11	5,52	-	-	-	0%

Таблица № 1. Зависимость ПТР,  $h$  и  $M\eta$  от соотношения растворителя к мономерам.

Методом ИК-спектроскопии установлена структура олигоарилсульфонов. Наблюдаются характерные полосы при  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 1288, 1149 (Ar(O)S(O)Ar); 1770 (C=O); 1246 (Ar(O)Ar); 1114 (COC(O)); 3098-3036 (CH); 1604-1585, 1504-1489, 1169, 1103, 837 (Ar).

Термическая стабильность полученных олигоарилсульфонов изучена с помощью метода ТГА, потеря массы которых при  $(T_{5\%})=498^{\circ}\text{C}$ ,  $(T_{40\%})$  образцов составила  $587\div598^{\circ}\text{C}$  с остаточной массой  $M_{\text{ост.}}\sim60\%$ .

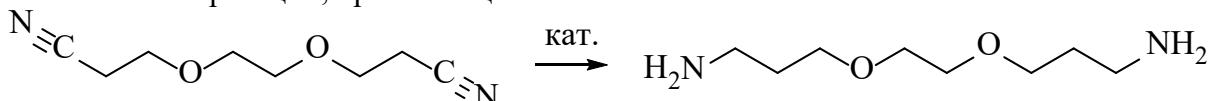
## ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ГИДРИРОВАНИЯ 1,2-БИС-(2-ЦИАНОЭТОКСИ)ЭТАНА

Безгин Д.А.<sup>1</sup>, Кузьмин Р.М.<sup>2</sup>, Кирпичева А.В.<sup>1</sup>, Кузьмин М.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия  
428015, Россия, г. Чебоксары, Московский пр., д. 19

<sup>2</sup>Казанский федеральный университет, Химический институт им. А.М. Бутлерова  
Казань, Россия  
420111, Россия, г. Казань, ул Кремлевская, д. 29  
bezgindenis@gmail.com

Диамины представляют собой важный класс соединений, которые встречаются в большом количестве биологически активных соединений, полимеров и синтетических промежуточных продуктов [1], и для их образования были разработаны различные методы синтеза[2]. Восстановление 1,2-бис-(2-цианоэтокси)этана до диамина представляет собой важный процесс, который может обеспечить получение ценных промежуточных продуктов для синтеза различных полимеров. В этом контексте выбор оптимального катализатора имеет решающее значение для эффективности и селективности реакции, протекающей по схеме:



1,2-бис-(2-цианоэтокси)этан был получен взаимодействием этиленгликоля и акрилонитрила. В качестве катализаторов восстановления были использованы следующие соединения: Pd/цеолитный катализатор, Ni и Co Ренея. Условия проведения реакции были следующими: температура в автоклаве 170°C, давление водорода – 1 МПа, время гидрирования – 10 часов, катализатор использовали в количестве 1% от общей массы загрузки.

Таблица 1 Выход целевого продукта в зависимости от используемого катализатора.

Катализатор	Выход, %
Pd/цеолитный катализатор	80
Ni Ренея	92
Co Ренея	65

Ход реакции контролировали методом газовой хроматографии с ПИД-детектором, продукты восстановления были изучены с помощью ИК-спектроскопии и масс-спектрометрии.

В ходе исследования было обнаружено, что использования Ni Ренея дает больший выход продукта (табл. 1) по сравнению с остальными использованными катализаторами. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации процессов синтеза диаминов, применяемых в производстве полимеров и других ценных химических соединений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Constable D.J.S. и др. *Green Chem.*, **2006**, 2337-2347.
2. Pattabiraman V.R., Bode J.W. *Nature*, **2011**, 471.

# САМООРГАНИЗАЦИЯ В РАСТВОРАХ АМФИФИЛЬНЫХ ДИБЛОК-СОПОЛИМЕРОВ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Белкина К.А.<sup>1,2</sup>, Калуга М.В.<sup>3</sup>, Буглаков А.И.<sup>2</sup>, Василевская В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Долгопрудный, Россия*

*141701, Россия, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д.9*

<sup>2</sup>*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмейanova Российской академии наук, Москва, Россия*

*119334, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д.28*

<sup>3</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские горы, д.1*

*belkina.ka@phystech.edu*

Благодаря возможности контролировать структурные и термодинамические характеристики растворов амфи菲尔ных дилок-сополимеров решается одна из важных задач полимерной науки: получение стабильных везикулярных систем и определение условий их существования. Такие сложные структуры находят широкое применение для биомедицинских приложений, создания сенсорных систем, нанореакторов [1]. Исследование архитектурных и молекулярных характеристик полимера, а также качества растворителя на больших масштабах требует подходов крупнозернистого моделирования [2]. В то же время большое число параметров системы, влияющих на самоорганизацию полимеров, оказывается слишком большим для исследования всех доступных состояний таких систем даже при использовании методов компьютерного моделирования. Решением этой проблемы может стать использование методов машинного обучения, например, методов байесовской оптимизации [3]. Одновременно с этим, такая задача требует использование целевого функционала, подбор которого является нетривиальной задачей.

В данной работе в рамках мезоскопического компьютерного моделирования была разработана схема направленного поиска параметров сополимеров, при которых наблюдается самосборка везикул в растворе амфи菲尔ных сополимеров. Исследованы характерные особенности самоорганизации дилок-сополимеров с разветвленным и линейным блоками. Определены области существования везикул амфи菲尔ных сополимеров в пространстве параметров качества растворителя, размера боковых цепей и их плотности пришивки, объемных долей блоков полимера и его концентрации.

Показано, что разработанная методология оптимизации позволяет существенно ускорить поиск желаемых морфологий агрегатов амфи菲尔ных гребнеобразных сополимеров и обладает достаточной универсальностью для применения к макромолекулам различных классов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Vasilevskaya V. V., Govorun E. N. *Polymer Reviews*, **2019**, *59*, 625-650.
2. Groot R.D., Warren P.B. *J. Chem. Phys.*, **1997**, *107*, 4423.
3. Chengyu Dai, Glotzer S.C. *J. Phys. Chem. B.*, **2020**, *124*, 1275–1284.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 19-73-20104-П. Моделирование проводилось на оборудовании Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВОЙСТВ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ИЗ НАТУРАЛЬНОЙ КОЖИ ПОСЛЕ ПРОЦЕССА КОНСЕРВАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКРИЛОВОЙ СМОЛЫ

Л.Ф. Богатова<sup>1</sup>, М.Ф. Шаехов<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>ГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» 420111, г. Казань, Карла Маркса, 68*

Процесс консервации археологических объектов из натуральной кожи является самым трудоемким в реставрационных работах. Современные методы консервации и химические реагенты зачастую не соответствуют основным требованиям Министерства Культуры. Из этих требований можно выделить главное – обратимость, возможность удалить консервант и провести повторную реставрацию.

В настоящее время все методы консервации основаны на заполнении межволоконных пространств веществами различной природы в водной среде. Такой метод позволяет замедлить либо прекратить процесс деградации. В качестве альтернативы применяемых консервантов, принято решение исследовать возможность использования акриловой смолы, на основе публикаций [1-2].

Консервация образцов проводилась в лабораторных стаканах в водных растворах консервантов акриловой смолы для процесса додублирования. Применили водный раствор акриловой смолы с концентрацией 5%. Процесс длился 2 часа, сушку проводили в естественных условиях в течении суток.

Исследование свойств археологических объектов из кожи до и после процесса консервации показывает улучшение пластичности материала. Что позволит, при необходимости, провести реставрационные работы. Материал приобретает улучшенные гигиенические свойства, что положительно отразиться на постреставрационном хранении и экспонировании объекта. После процесса консервации показатели температуры сваривания, содержания несвязанных жировых веществ и время впитывания капли остаются на одном уровне. Что говорит о сохранении структуры археологического объекта.

Археологический объект из натуральной кожи законсервированный в акриловой смоле имеет улучшенные физико-механические характеристики, что говорит о том, что процесс деградации прекращен.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Латфуллин, И. И. Модификация акриловой эмульсии потоком низкоэнергетических ионов / И. И. Латфуллин, Г. Р. Рахматуллина, К. И. Максимова // Актуальные проблемы науки о полимерах : Материалы IV Всероссийской научной конференции (с международным участием) преподавателей и студентов вузов, Казань, 23–26 сентября 2024 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2024. – С. 398-400.
2. The Influence of Low-Energy Ions Flow and Modified Amino Resins on the Sheepskin Leather Strength Indicators / I. I. Latfullin, A. V. Ostrovskaya, G. R. Rakhmatullina, A. R. Garifullina // High Energy Chemistry. – 2024. – Vol. 58, No. S3. – P. S349-S353.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КОНЦЕНТРИРУЕМОСТИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЛАТЕКСОВ

Осадчий Д.П., Боголепова О.В., Гринфельд Е.А.

*Воронежский филиал ФГБУ «НИИСК» имени академика С.В. Лебедева,  
г. Воронеж, ул. Менделеева, д. 3 «Б»  
latexes@mail.ru*

В некоторых отраслях промышленности необходимым условием является применение синтетических латексов с повышенным содержанием полимера (свыше 60%). Обычно это достигается концентрированием латексов методом упаривания. В процессе упаривания латексов их вязкость возрастает, поэтому важен такой показатель как «концентрируемость латекса», то есть та концентрация, при которой латекс сохраняет вязкость, обеспечивающую его технологичность в процессе производства, транспортирования и применения (не более 2500 МПа с).

Вязкость синтетических латексов в значительной степени определяется дисперсностью их частиц. Большинство синтетических латексов характеризуется средним диаметром частиц в пределах 60 -180 нм, а высокая концентрируемость обеспечивается лишь в том случае, когда средний диаметр частиц превышает 250 нм в сочетании с высокой степенью полидисперсности.

В процессе эмульсионной полимеризации возможно производить латексы с таким диаметром частиц, используя затравочную полимеризацию, однако в промышленности чаще осуществляют получение латексов с размером частиц 60-90 нм, которые подвергаются дальнейшей агломерации. Главное требование к агломерируемому латексу - низкая адсорбционная насыщенность (высокое поверхностное натяжение). Для принудительной агломерации (укрупнения), в сущности, сводящейся к регулируемой дестабилизации латексных частиц с последующим их слиянием и стабилизацией, существуют различные пути. В промышленности агломерацию частиц осуществляют либо дросселированием латекса через узкое отверстие под высоким давлением, либо методом последовательного замораживания – оттаивания.

«Химической агломерацией» называют процесс слияния частиц, вызываемый введением малых добавок, выступающих в роли зародышей этого процесса. Если принципиальная возможность химической агломерации имеет электростатическую природу, то управляемость данного процесса определяется быстрым формированием на поверхности агломерированных частиц оболочки, которая препятствует их дальнейшей коагуляции. При этом необходимо, чтобы оболочка формировалась не из частиц основного латекса, а из карбоксилированного полимера. Поэтому в качестве агломерирующего агента можно использовать высококарбоксилированные латексы, сополимеры которых обладают высокой подвижностью сегментов, оптимальным соотношением гидрофильных и гидрофобных звеньев, высокой однородностью по составу.

В данной работе исследованы условия повышения концентрируемости латексов на основе различных сополимеров двумя путями: в процессе синтеза и химической агломерации. Проведением затравочной полимеризации ряда мономеров изучены условия получения высококонцентрированных латексов, содержащих в своем составе нитрильные и хлорсодержащие звенья. Для химической агломерации частиц адсорбционно-ненасыщенных латексов использован ряд специально синтезированных высококарбоксилированных латексов различного мономерного состава. Полученные в процессе исследований латексы обладают высокой концентрацией сухого вещества 58-62 % с приемлемой динамической вязкостью без потери агрегативной устойчивости.

# НАНОКОМПОЗИТ ПОЛИАКРИЛАМИДНЫЙ ГИДРОГЕЛЬ/УГЛЕРОДНЫЕ КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ В КОНТЕКСТЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Бородина А.М., Костромин С.В., Бронников С.В.

филиал НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ - ИВС, Санкт-Петербург, Россия  
199004, Россия, г. Санкт-Петербург, В.О. Большой просп., д. 31.  
anastasia\_2998@mail.ru

Углеродные квантовые точки (УКТ) представляют собой класс углеродных наночастиц, обладающих комплексом ценных свойств, таких как биосовместимость, нетоксичность, высокая химическая и фотостабильность, низкая себестоимость, настраиваемая фотолюминесценция (ФЛ) и гидрофильность [1]. Однако одним из недостатков УКТ является их предрасположенность к агрегации в водной среде, что приводит к значительному снижению интенсивности ФЛ. Чтобы решить эту проблему, УКТ диспергируют в полимерных гидрогелях. Нанокомпозиты на основе полимерных гидрогелей и УКТ находят широкое применение в качестве биосенсоров и хемосенсоров, в биомедицинских технологиях, а также в системах для накопления и хранения энергии [2].

В данной работе использовали УКТ, полученные путем пиролиза лимонной кислоты [3]. Синтезированные УКТ в количестве 0.1 масс.% были использованы как наполнители в гидрогелях на основе полиакриламида (сшиватель – N,N'-метиленбисакриламид). После введения в гидрогель УКТ равномерно диспергировались в объеме гидрогеля и сохраняли свои фотолюминесцентные свойства [4].

Полученные нанокомпозитные гидрогели были использованы для детектирования ионов  $Fe^{3+}$  в растворах  $FeCl_3$  (рис. 1). Установлено, что возрастание концентрации ионов  $Fe^{3+}$  приводит к снижению интенсивности (или тушению) ФЛ. Изученные фотолюминесцентные гидрогели могут быть интересны в качестве химических сенсоров для контроля содержания токсичных металлов в водных системах.

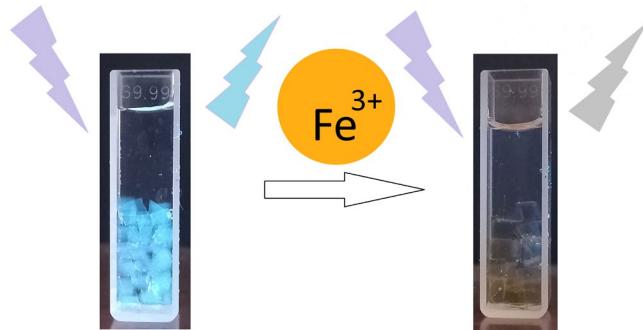


Рисунок 1. Схема тушения ФЛ нанокомпозита полиакриламидный гидрогель/УКТ ионами железа(III)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Hebbar A., Selvaraj R., Vinayagam R., Varadavenkatesan T., Kumar P.S., Duc P.A., Rangasamy G. *Chemosphere*, **2023**, 313, 137308.
2. Wang Y., Lv T., Yin K., Feng N., Sun X., Zhou J., Li H. *Small*, **2023**, 19, 2207048
3. Kostromin S., Borodina A., Podshivalov A., Pankin D., Zhigalina O., Bronnikov S. *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, **2023**, 31, 931-939.
4. Borodina A., Kostromin S., Pankin D., Povolotskiy A., Ushakova E., Bronnikov S. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, **2024**, 1-16.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИКАПРОЛАКТОНОМ И ПОЛИЛАКТИДОМ

Бlinov A. B., Russel N. A., Bocharov N. M., Andirakov A. Yu., Vakulenko M. B.

*Северо-Кавказский Федеральный Университет*

Полимерные материалы широко используются в различных отраслях промышленности: медицинская, химическая и т.д. Стремительное развитие этих отраслей требует постоянного совершенствования применяемых материалов и методов. В современном мире существует широкий спектр полимеров, как природных, так и синтетических: метилцеллюлоза, хитозан, полилактид, поликапролактон [2]. Композиционные материалы на их основе показывают лучшие показатели прочности, нежели их составляющие по отдельности. Поэтому нами было принято решение исследовать механические свойства таких композитов.

Для получения образцов смешивали 3% водные растворы метилцеллюлозы и гидроксиэтилцеллюлозы в соотношении 1:1. В полученные смеси добавляли поликапролактон и полилактид. Синтетические полимеры предварительно замачивали в спиртовом растворе катамина АБ в течение суток. Готовую смесь высушивали в лиофильной сушилке при температуре -50°C и давлении 0,01 Па в течение суток. После сушки исследовали структурно-механические свойства образцов на структурометре СТ-2 (компания производитель ООО «Лаборатория качества»), полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования механических свойств биополимерных матриц, модифицированных полилакролактоном и полилактидом.

Содержание <i>PCL</i> , мас, %	Содержание <i>PLA</i> , мас, %	Натяжение на разрыв, Па
100	0	1098,9
90	10	422,4
80	20	324,6
70	30	205,9
60	40	119,2
50	50	142,5
40	60	355,2
30	70	427,1
20	80	178,1
10	90	456,7
0	100	536,5

Анализ полученных данных показал, что добавление полилактида в состав образцов приводит к снижению прочностных характеристик. Так, значение натяжения на разрыв образцов биополимерных матриц (гидроксиэтилцеллюлоза-метилцеллюлоза), модифицированных полилакролактоном и полилактидом уменьшается с 1098,9 Па в образце без содержания полилактида до 536,5 Па в образце, где содержание полилактида составляет 100 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FSRN-2023-0037).

**СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕРМОСТОЙКОСТЬ  
ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ПЛЕНОК, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ СМЕСЕЙ ДИАЦЕТАТА  
ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ДИИЗОЦИАНАТОМ В ОБЩЕМ РАСТВОРИТЕЛЕ  
ДИМЕТИЛАЦЕТАМИДЕ**

Буслаев Д.Л., Бочек А.М., Попова Е.Н., Камалов А.М., Юдин В.Е.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального  
исследовательского центра «Курчатовский институт» – Институт  
высокомолекулярных соединений, Россия, г. Санкт-Петербург  
199004, Россия, г. Санкт-Петербург, Большой пр., 31  
[buslaev91@gmail.com](mailto:buslaev91@gmail.com)*

В настоящее время увеличивается интерес к полиуретанам, содержащим в своем составе полисахариды. Представляет научный и практический интерес получение полиуретанов, в которых в качестве гидроксилсодержащего компонента будет использован органорастворимый эфир целлюлозы. Целью настоящей работы является исследование структурной организации и термостойкости полиуретановых пленок, полученных из смесей растворов диацетата целлюлозы (ДАЦ) с полипропиленгликолем с концевыми группами, замещенными 2,4-толуилендиизоцианатом (ППГ\*), в диметилацетамиде.

Структурная организация пленок изучена с помощью метода рентгеновского структурного анализа (РСА), термостойкость – методом ТГА, а температуры релаксационных переходов – методом динамического механического анализа.

Установлено, что по мере увеличения введенного в матрицу эфира целлюлозы сшивающего агента ППГ\* наблюдается снижение интенсивности рефлекса при угле  $2\theta$  в области  $9.5^\circ$ , что свидетельствует об уменьшении упорядоченности макромолекул ДАЦ. Можно полагать, что проходящая химическая сшивка макромолекул ДАЦ в растворе приводит к замедлению процесса кристаллизации эфира целлюлозы в процессе формования пленок сухим способом. С ростом содержания ППГ\* наблюдается увеличение температуры максимальной скорости разложения пленок от 364 до 371°C. При этом остаточная масса (при 800°C) практически не изменяется.

Температуру переходов (по данным ДМА) определяли двумя способами – по изменению модуля потерь  $E''$  и изменению тангенса угла механических потерь  $\tan\delta$ . Показано, что температура стеклования  $T_g$  для пленки ДАЦ оказалась равной 162 и 175°C при определении по изменению  $E''$  и  $\tan\delta$  соответственно. При введении в матрицу ДАЦ до 43 мас% ППГ\* (от массы эфира целлюлозы) величина  $T_g$  снизилась от 162 до 156°C (по  $E''$ ) и изменилась от 175 до 177°C (по  $\tan\delta$ ). Можно полагать, что в процессе сшивки макромолекул эфира целлюлозы молекулами ППГ\* происходит изменение подвижности сегментов макроцепей ДАЦ. Кроме того, может происходить не только сшивка макроцепей эфира целлюлозы, но и только присоединение молекул ППГ\* к макроцепям ДАЦ только одним концом, а также взаимодействии изоцианатных групп сшивающего агента с парами воды воздуха, в результате чего в матрице появляется пластификатор. Перечисленные два процесса могут привести к снижению величины  $T_g$ .

Работа выполнена в рамках гос. задания по теме № 124013000726-6.

## ПОЛИУРЕТАНЫ НА ОСНОВЕ ЧАСТИЧНО ОМЫЛЕННОГО ТРИАЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ДИИЗОЦИАНАТОМ

Буслаев Д.Л., Бочек А.М., Власова Е.Н., Камалов А.М., Юдин В.Е.,  
Лаврентьев В.К.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального  
исследовательского центра «Курчатовский институт» – Институт  
высокомолекулярных соединений, Россия, г. Санкт-Петербург  
199004, Россия, г. Санкт-Петербург, Большой пр., 31  
[buslaev91@gmail.com](mailto:buslaev91@gmail.com)*

В настоящее время повышенный интерес вызывают полиуретаны (ПУ), в состав которых входят полисахариды. Полисахариды используются по двум направлениям: в качестве кроссагента для получения сшитых ПУ и в качестве биодеградируемого наполнителя ПУ (целлюлоза, циклодекстрин, крахмал, хитин, альгинаты, наночастицы – нанофибриллы, нанокристаллы).

Целью настоящей работы является получение полиуретановых пленок, в которых гидроксилсодержащим компонентом будет частично омыленный триацетат целлюлозы (ТАЦ), а другим компонентом – полипропиленгликоль с концевыми группами, замещенными 2,4-толуилендиизоцианатом (ППГ\*). Реакцию проводили общем растворителе – диметилацетамиде (ДМАА).

С помощью метода Фурье ИК – спектроскопии подтвержден факт взаимодействия ОН-групп макромолекул эфира целлюлозы с молекулами дизоцианата и изучены температуры релаксационных переходов (методом динамического механического анализа DMA).

Показано, что по мере увеличения введенного в матрицу ТАЦ сивающего реагента ППГ\* наблюдается снижение интенсивности рефлекса при угле  $2\theta$  в области  $8.0^\circ$ , указывающее на уменьшение упорядоченности макромолекул ТАЦ. Протекающая химическая сшивка макромолекул ТАЦ в растворе (в ДМАА) приводит к замедлению процесса кристаллизации эфира целлюлозы в процессе формования пленок сухим способом.

Температуру переходов (по данным DMA) определяли двумя способами – по изменению модуля потерь  $E''$  и изменению тангенса угла механических потерь  $\tan\delta$ . Установлено, что температура стеклования  $T_g$  для пленки ТАЦ оказалась равной 161 и  $176^\circ\text{C}$  при определении по изменению  $E''$  и  $\tan\delta$  соответственно. Введение в матрицу ТАЦ до 55 мас% ППГ\* (от массы эфира целлюлозы) величина  $T_g$  снизилась от 161 до  $154^\circ\text{C}$  (по  $E''$ ) и от 176 до  $170^\circ\text{C}$  (по  $\tan\delta$ ). Можно полагать, что в процессе сшивки макромолекул эфира целлюлозы молекулами ППГ\* происходит изменение подвижности сегментов макроцепей ТАЦ. Такое снижение величины  $T_g$  эфира целлюлозы может быть вызвано несколькими причинами. С одной стороны – сшивкой макромолекул ТАЦ молекулами дизоцианата (ППГ\*). С другой стороны, не исключена возможность присоединения молекул ППГ\* к макроцепям ТАЦ только одним концом, а также взаимодействие изоцианатных групп сивающего агента с парами воды воздуха, в результате чего в матрице появляется пластификатор. Перечисленные процессы могут привести к снижению величины  $T_g$ .

Работа выполнена в рамках гос. задания по теме № 124013000726-6.

# СТРУКТУРА ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫХ ПВХ КОМПОЗИЦИЙ, НАПОЛНЕННЫХ КАРБОНИЗИРОВАННОЙ РИСОВОЙ ШЕЛУХОЙ

Готлиб Е.М.<sup>1</sup>, Валеева А.Р.<sup>2</sup>, Галимов Э.Р.<sup>2</sup>, Гайнуллина Р.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68.

<sup>2</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ,  
420111, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10

Эффективность применения кремнеземов в рецептуре поливинилхлоридных композитов, делает актуальной замену дорогостоящего коммерческого диоксида кремния на карбонизированную рисовую шелуху (КРШ) [1].

Изучались композиции на основе ПВХ-Е-6250-Ж пластифицированного ЭДОС и наполненного КРШ, полученной термообработкой рисовой шелухи при 500 °C.

Структуру ПВХ композиций исследовали методом электронной сканирующей микроскопии на микроскопе JSM 6060A (Jeol, Япония). Морфологию поверхности оценивали с использованием методики травления образцов в плазме кислородного разряда в вакууме при температуре 150 °C.

При помощи карт рентгеновского излучения Ка-линии Cl (рис. 1, а) и Ка-линии Si (рис. 1, б), характеризующих области, содержащие ПВХ и КРШ, соответственно, на исследуемой поверхности идентифицируются частички наполнителя [2].

Представленные микрофотографии (рис. 1) свидетельствуют о том, что после травления образцов ПВХ, вокруг КРШ наблюдаются пустоты. Можно предположить, что они образовались в результате испарения пластификатора из системы при травлении.

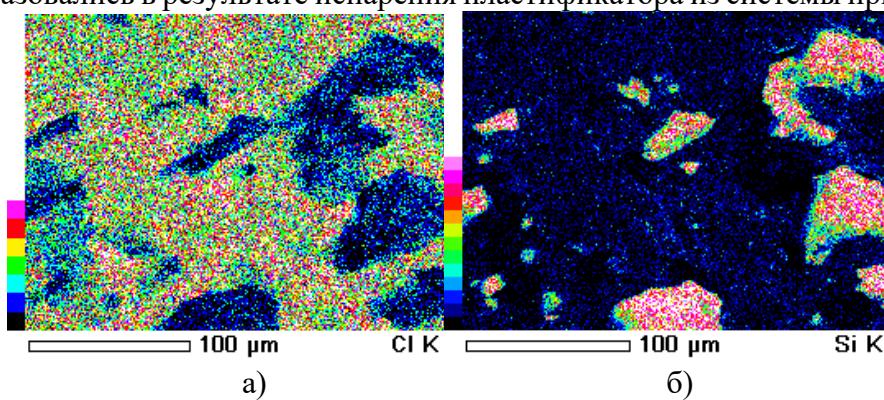


Рис.1 . Карты распределения рентгеновского излучения Ка-линии Cl (а), Si (б) на поверхности композиций ПВХ:ЭДОС:КРШ, при их соотношении 100:90:10

Отдельные частички КРШ находятся на поверхности образцов. На основании этих данных можно предположить формирование вокруг дисперсных частиц КРШ пленки пластификатора, что является причиной снижения миграции ЭДОС из ПВХ композиции [2].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Santosb R.V., Araujo dos Santosa E.C., Avila T.L. A Comparative Analysis Materials Research. **2018**, 21(3), 46-48.
2. Sadykova D.F., Budylin N.Y., Nikulova U.V., Shapagin A.V., Gotlib E.M. Journal of Applied Polymer Science, **2024**, 141, 1, 1-10.

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕГКИХ И ТЕРМОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИИМИДОВ

Ваганов Г.В., Полотнянщиков К.С., Светличный В.М., Попова Е.Н., Иванькова Е.М.,  
Юдин В.Е.

*Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «петербургский  
институт ядерной физики им. Б.П. Константинова национального  
исследовательского центра «Курчатовский институт» –  
Институт Высокомолекулярных Соединений, Санкт-Петербург, Россия  
199004, Большой пр. В.О. дом 31.  
glebvaganov@mail.ru*

Полиимидные пены, благодаря своему сверхнизкому весу, огне- и термостойкости, превосходным теплоизоляционным и звукопоглощающим свойствам, радиационной стойкости и т. д., широко используются во многих высокотехнологичных областях, таких как аэрокосмическая и авиационная промышленность. Известны различные методы получения вспененных полиимидов, среди которых основное внимание уделяется термическому вспениванию приготавливаемых пенообразующих композиций. Полиимидные пены обычно используются в качестве тепло- и звукоизоляционных материалов. Однако механические свойства традиционных полиимидных пен невелики, что ограничивает их применение в некоторых областях. С целью повышения механических свойств пенополиимидов возможно модифицировать их путем введения микро- и нанонаполнителей. Таким образом целью данной работы является получения легких и прочных композитных материалов на основе пенополиимидов путем модификаций их армирующими наполнителями.

В работе проведен синтез пенообразующих форполимеров, в виде тонкодисперсного порошка, основе диангидрида 3,3',4,4'-бензофенонететракарбоновой кислоты и 4,4'-диаминодифенилоксида, пенополиимидов и композитов на их основе. Для получения пенокомпозита использовали волокнистый наполнитель из полиимидного войлока «Аримид» производства ООО «Лирсот». Получение пенокомпозитного материала осуществляли в два этапа: на первом этапе получали препрег путем распределения форполимерной композиции в виде тонкодисперсного порошка на полиимидной нетканке с последующим каландрированием при температуре 80-130 °С; на втором этапе формировали непосредственно пенокомпозит путем горячего прессования сложенных в форму препрегов при температуре 220°С.

Исследование свойств пенокомпозитов показало, что все композиты обладают высокой термостойкостью  $\approx 550^{\circ}\text{C}$ , теплостойкостью  $\approx 260^{\circ}\text{C}$ , прочностью на изгиб  $\approx 10$  МПа при плотности в диапазоне 0,2-0,3 г/см<sup>3</sup>.

Работа выполнена при финансовой поддержке за счет гранта Российского научного фонда № 23-13-20001, <https://rscf.ru/project/23-13-20001/> и регионального гранта Санкт-Петербургского научного фонда

## ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ НА СВОЙСТВА ЧАСТИЧНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПОЛИИМИДА И КОМПОЗИТА НА ЕГО ОСНОВЕ

Ваганов Г.В.<sup>1</sup>, Попова Е.Н.<sup>1</sup>, Иванькова Е.М.<sup>1</sup>, Камалов А.М.<sup>1</sup>, Ваганов В.В.<sup>2</sup>, Юдин В.Е<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова национального исследовательского центра «Курчатовский институт» – Институт Высокомолекулярных Соединений, Санкт-Петербург, Россия 199004, Большой пр. В.О. дом 31

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия 195251, ул. Политехническая, д. 29 glebvgaganov@mail.ru

В настоящее время для решения ряда задач в области современных композиционных материалов необходимы теплостойкие углеволокнистые композиты, обладающие повышенной стойкостью к расслоению. Создание материалов, совмещающих в себе как высокую теплостойкость, так и трещиностойкость, возможно за счет разработки многоуровневых композиционных структур. В таких структурах непрерывное углеродное волокно комбинируется с частично-кристаллическим полииimidным связующим, в котором равномерно распределены наночастицы.

В представленной работе был синтезирован частично-кристаллический полииimidное связующего (Р-ОДФО)ФИ (поли-[4,4'-бис(4''-N-фенокси)дифенил]имид 1,3-бис (3',4-дикарбоксифенокси)бензол}) в форме порошка, получены молдинги и углепластики на его основе. Армирующим наполнителя выступала углеродная лента Элур П-0,08. Для улучшения свойств углепластиков в полииimidную матрицу вводили одностенные углеродные нанотрубки (ОСУНТ) фирмы OCSIAL (Россия) в количестве до 0,2 мас%. Углепластики были получены методом электростатического распыления, порошковых композиций на одностороннюю углеродную ткань с последующим каландрированием и прессованием при температуре.

Исследование структуру, термические и механические свойства полииimidных молдингов и углепластиков на их основе в зависимости от введения углеродных наночастиц.

Анализ механических свойств исходных полииimidных материалов показал, что при переходе от аморфного образца к кристаллическому значительно снижается деформация до разрушения и межслоевая вязкость разрушения вследствие его охрупчивания. Введение частиц ОСУНТ в полииimidную матрицу повышает прочность, деформацию до разрушения молдингов.

Анализ механических свойств исходных полииimidных углепластиков показал, что при переходе от аморфного образца к кристаллическому значительно снижается межслоевая вязкость разрушения, вследствие его охрупчивания. При введении углеродных наночастиц в полииimidную матрицу наблюдается значительное возрастание межслоевой вязкости разрушения углепластика. Данное явление, вероятно, обусловлено увеличением диссипативных свойств в трехфазовом композите.

## ЭПОКСИДНЫЙ КОМПАУНД НАПОЛНЕННЫЙ ФЕЛЬЗИТОМ

Васинкина Е.Ю.<sup>1</sup>, Кадыкова Ю.А.<sup>2</sup>, Калганова С.Г.<sup>3</sup>, Тригорлы С.В.<sup>4</sup>,  
Сивак А.С.<sup>5</sup>, Сивак Т.П.<sup>6</sup>

<sup>1-6</sup> Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Контакт»,  
410086 г. Саратов, Российской Федерации, г. Саратов, ул. Спицына, зд. 1, стр. 1,  
vasinkina1987@mail.ru

В качестве наполнителей полимерных материалов широко используются природные минеральные наполнители [1,2]. Введение в полимеры наполнителей природного происхождения позволяет снизить стоимость готового изделия, а также придать материалам повышенный комплекс физико-химических и механических характеристик [3,4]. К таким перспективным наполнителям относится фельзит – натуральный минеральный наполнитель вулканического происхождения, запасы которого на территории Российской Федерации достаточно большие, только в Ямало-Ненецком АО добывают более 956,5 млн.м<sup>3</sup> [5].

Фельзит является алюмосиликатом, в нем преобладает диоксид кремния (~ 50 %) и оксид алюминия (~ 27 %), остальное - оксиды таких металлов как калий (~ 10 %), железо (~ 7 %), кальций (~ 4 %) и незначительное количество TiO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, CuO.

Фракционный состав фельзита характеризуется бимодальным распределением и представлен частицами от 0,1 до 30 мкм, со средними размерами частиц 2-10 мкм. Изучение влажности на анализаторе влажности АВГ-60 показало, что дополнительная сушка фельзита не требуется, т.к. его влажность составляет 0,01%.

Кинетика отверждения эпоксидных композиций при введении фельзита изменяется, что проявляется в сокращении продолжительности гелеобразования с 27 до 16 минут и продолжительности отверждения с 37 до 30 минут, при этом отмечено повышение максимальной температуры отверждения с 90 до 112 °C.

Анализ физико-механических свойств эпоксидной смолы марки УП-643 наполненной фельзитом, свидетельствует о повышении физико-механических характеристик: на 17% повышается изгибающее напряжение, на 22% повышается прочность при растяжении, на 12% возрастает устойчивость к ударным нагрузкам, а также отмечено повышение на 18% разрушающего напряжения при сжатии по сравнению с ненаполненным, эпоксидным композитом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бекешев А. З., Кадыкова Ю. А., Калганова С. Г. *Ползуновский вестник*, 2023, № 4, 208-213.
2. Теряева Т. Н., Касьянова О. В. *Пластические массы* 2009. № 9. 33-37.
3. Арзамасцев С. В., Артеменко С. Е., Павлов В. В. *Пластические массы*, 2011, № 5, 14-17.
4. Мостовой А. С., Нуртазина А. С., Кадыкова Ю. А. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2018, № 3(77), 330-335
5. Попов М. *Уральский следопыт* 2020, № 6 (756) 25.

# СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ С ТИТАНОКСИДНЫМ НАНОНАПОЛНИТЕЛЕМ

Верескун А.Д., Лыга Р.И., Мальцева Н.А., Михальчук В.М., Чабак И.Е.

*Донецкий государственный университет, Донецк, Россия  
283001, Россия, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24*

Разработка новых полимерных композитов с улучшенными эксплуатационными характеристиками не теряет своей актуальности. Особое место в области материаловедения занимает создание эффективных антикоррозионных покрытий для металлов и сплавов. Термомеханические свойства и устойчивость к воздействию внешней среды полимерных композитов на основе эпоксидных связующих могут быть значительно улучшены путем введения в их состав неорганических нанонаполнителей. Значимые успехи в этом направлении достигнуты при использовании золь-гель метода для синтеза нанонаполнителя непосредственно в полимерной матрице.

В настоящем исследовании предложен подход к получению стеклообразных эпоксидно-титаноксидных композитов путем формирования нанонаполнителя на основе тетрабороксититана (ТБТ) в эпоксидно-аминной смеси при одновременной поликонденсации связующего с отвердителем. Концентрация титаноксидного нанонаполнителя отвечала диапазону 0,5–10 масс.%. Целью данной работы являлось изучение структуры и термомеханических свойств полученных композитов, а также исследование влияния содержания диоксида титана на эксплуатационные характеристики образцов.

Термомеханические свойства эпоксидных композитов во многом определяются степенью наполнения неорганической фазой, а также структурообразованием нанонаполнителя внутри органической полимерной матрицы. Установлено взаимодействие между составляющими композитов, формирует межфазные переходные слои с различной сегментальной подвижностью. Эти структуры играют ключевую роль в повышении механической прочности и жесткости композитов. Уменьшается их склонность к деформациям и разрушению при механических нагрузках. Установлено, что введение 2–5 масс.%  $TiO_2$  приводит к существенному изменению температурных параметров фазовых переходов (из стеклообразного состояния в высокоэластическое): температура начала перехода материала в высокоэластическое состояние повышается на 63 %, а завершения – на 100 %. Следует отметить, что с увеличением содержания титаноксидного наполнителя в композитах наблюдается снижение относительной деформации пленочных образцов и скорости ее изменения. Данный эффект проявляется уже при минимальной концентрации наполнителя.

Защитные покрытия на основе эпоксидно-титаноксидных композитов продемонстрировали высокую устойчивость к агрессивным средам, в частности к воздействию влаги и коррозионно-активных сред. Установлено, что такие покрытия, нанесенные на поверхность алюминиевого сплава Д16, обеспечивают антикоррозионное сопротивление на уровне 888 кОм·см<sup>2</sup>, что соответствует эффективности защиты в диапазоне 70–90 % в зависимости от содержания нанонаполнителя. Высокие защитные свойства обусловлены как барьерным эффектом неорганической фазы, препятствующей проникновению влаги и ионов, так и улучшенной адгезией покрытия к подложке за счет формирования межфазных взаимодействий.

Исследования проводились в рамках государственного задания (номер госрегистрации 124012400357-1).

# ГРАДИЕНТНЫЕ ЭПОКСИУРЕТАНОВЫЕ СОСТАВЫ БЕЗИОЦИАНАТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ПОЛОВОЛОКОННЫХ МЕМБРАННЫХ МОДУЛЕЙ

Власова А.В., Безруков Н.П., Василевский В.П., Матвеев Д.Н., Мелехина В.Я.,  
Матвеева Ю.И., Анохина Т.С., Борисов И.Л., Антонов С.В.

*Институт нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиеva РАН, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, 29  
bezrukov@ips.ac.ru*

При герметизации полимерных половолоконных мембран в мембранный модуль важной проблемой является образование менисков смачивания. Смачивание материала полого волокна герметизирующим составом и его дальнейшая усадка при отверждении приводит к образованию вогнутых менисков смачивания на поверхности полого волокна. В дальнейшем при расширении половолоконных мембран в результате подачи разделяемой смеси внутрь волокон под давлением, приводящим к расширению свободной части волокна, а также в случае механического воздействия и вибрации эти жесткие отвердевшие мениски способны повреждать полые волокна, вплоть до их полного среза, что приводит к выходу из строя половолоконного модуля. В настоящей работе предложены новые градиентные герметизирующие составы, способные решить описанную выше проблему.

В качестве основных компонентов эпоксиуретановых составов были использованы эпоксидный олигомер ЭД-22 (Химэкс Лимитед, Россия) и трехфункциональный эфирциклокарбонат (ООО "НПП "Макромер" им. В.С. Лебедева", Россия). В качестве отвердителя был взят полиэфирамин (Химэкс Лимитед, Россия). Совместимость компонентов с полыми волокнами из полисульфона (ПСФ) марки 150В (АО «Институт пластмасс имени Г.С. Петрова», Россия) определяли методом лазерной микроинтерферометрии. Вязкость получаемых эпоксиуретановых составов при 25°C оценивали на ротационном реометре DHR-2 (США). Адгезионную прочность при сдвиге к металлу, прочность при трехточечном изгибе определяли на универсальной машине И1140М (Россия). Ударную вязкость определяли на маятниковом копре КМО-2 (Россия). Температуру стеклования отверженных образцов определяли на калориметре 2920 MDSC (США) и на ротационном реометре DHR-2 с единым консольным блоком для динамического механического анализа. Оценка газотранспортных свойств мембранных модулей проводилась волюметрическим методом по идеальным газам (N<sub>2</sub>, He) при температурах 25 и 50 °C.

Использование эпоксиуретановых составов по сравнению с обычными эпоксидными составами приводит к получению герметизирующих составов, обладающих в отверженном виде большей прочностью при трехточечном изгибе, ударной вязкостью, адгезионной прочностью при сдвиге к металлу, удлинением при разрыве, а также меньшей прочностью при растяжении, температурой стеклования. Благодаря использованию комбинаций эпоксиуретановых составов, отличающихся по механическим характеристикам, удалось создать газоразделительные модули, которые способны работать при температуре до 50 °C и обладают селективностью по He/N<sub>2</sub> более 40. Это значение селективности свидетельствует об отсутствии дефектов на местестыка отверженного герметика и половолоконных мембран.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-00708, <https://rscf.ru/project/25-29-00708/>.

# ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОКАПСУЛ ДВОЙНОЙ ОБОЛОЧКОЙ ДЛЯ КОНТРОЛИРУЕМОГО РАЗРУШЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ГЕЛЯ

Графская К.Н.<sup>1</sup>, Балтаева М.Б.<sup>1</sup>, Соловьева В.А.<sup>1</sup>, Калгаонкар Р.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Арамко Инновейшнз, Москва, Россия

1117105, Россия, г. Москва, городской округ Донской, Варшавское шоссе, д. 9, стр. 1

<sup>2</sup>Сауди Арамко, Дахран, Саудовская Аравия

31311, Саудовская Аравия, Дахран, а/я 5000

[kseniiia.grafskaya@aramcoinnovations.com](mailto:kseniiia.grafskaya@aramcoinnovations.com)

Гидравлический разрыв пласта — это процесс, используемый для извлечения углеводородов из сланцев и других «плотных» пород. Этот метод включает в себя закачку смеси воды, проппанта и химикатов под высоким давлением в геологические формации, что приводит к образованию трещин, которые позволяют извлекать газ и нефть. Идеальные жидкости для разрыва обладают особыми качествами, включая соответствующую вязкость для начальных трещин, способность сuspendировать проппант и способность разлагаться после завершения работ. Обычно используются плимеры на основе гуара для повышения вязкости жидкостей для разрыва. Кроме того, для снижения вязкости гелей на основе гуара используются разрушители геля, что позволяет им свободно течь обратно после завершения процесса разрыва. Выбор правильного разрушителя геля имеет решающее значение для повышения эффективности операций по разрыву пласта. Окислители являются наиболее часто используемыми разрушителями, и при правильном механизме действия они могут достигать значительных уровней эффективности распада геля. Чтобы облегчить этот процесс, можно использовать окислители, инкапсулированные в твердые оболочки для контролируемого высвобождения. Для этой цели, мы создали микрокапсулы с двойной оболочкой, где ядро, содержащее окислитель, обернуто в два различных типа твердых полимерных оболочек (см. рис. 1b).

Внутренняя проницаемая оболочка микрокапсул формируется посредством процесса коацервации (рис. 1а). Между тем, внешняя непроницаемая оболочка создается путем инкапсуляции с помощью вибрационного сопла. Такая конструкция микрокапсул позволяет разрушителю геля активироваться под действием давления. Когда трещина закрывается, напряжение закрытия вызывает разрыв внешней оболочки микрокапсул, позволяя окислителю медленно выходить из внутренней проницаемой оболочки.

Предварительные испытания показывают, что предлагаемые микрокапсулы с ядром и оболочкой могут успешно использоваться в качестве гелевых разрушительных агентов.

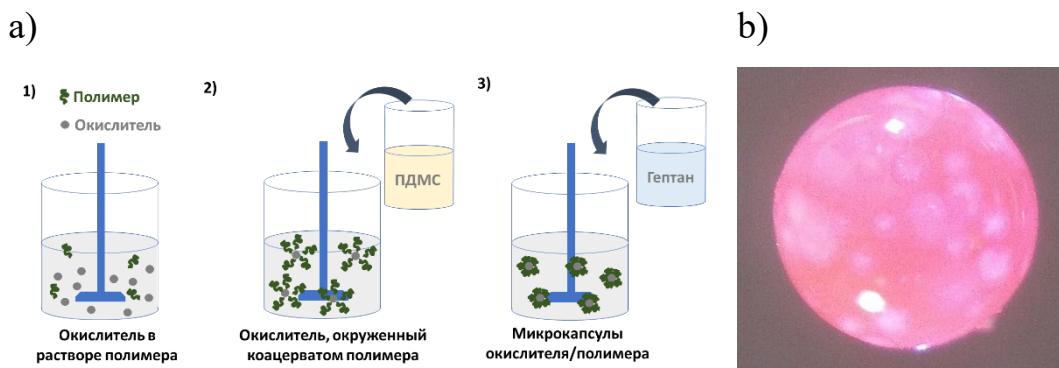


Рисунок 1. (а) Схема процесса коацервации для образования микрокапсул. (б) Фотография микрокапсул с двойной оболочкой.

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА И ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ

Грибанов Е.Н., Коростелев Д.А., Горшков А.И., Каунова К.Ю.

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Орёл, Россия  
302026, Россия, г. Орёл, ул. Комсомольская, д. 95.  
gribanoven@gmail.com

Обеспечение электрическим питанием технологических процессов и систем жизнеобеспечения является одной из критических задач науки и техники. Успешно для решения этой задачи используют суперконденсаторы, которые в отличии от классических аккумуляторов позволяют в короткий срок обеспечить подачу электрического тока высокой мощности к необходимым узлам и агрегатам, обладают высокой плотностью мощности тока. Одним из основных элементов суперконденсатора является так называемый сепаратор, который должен не допустить замыкание электродов и обеспечить высокую проводимость.

Целью работы явилось получение композиционного материалов на основе графена и полимерной матрицы, систематическое изучение их морфологии и электрических свойств для дальнейшего использования в качестве материала сепаратора.

Графен обеспечивает высокую проводимость материала, а полимерная матрица необходимую механическую прочность. Графен получали путём эксфолиации графита и дальнейшим его диспергированием в матрице полимера. Морфология поверхности образцов изучена методом атомно-силовой микроскопии. Об электрических характеристиках судили по данным вольт-амперограмм.

Полученные образцы представляют собой тонкие полимерные матрицы с иммобилизованными в их структуре частицами графена (подтверждено характерными п.п. в КР-спектрах). Толщина пленок составляет  $\sim$ 60-80 мкм. На рисунке 1а представлена типичная вольт-амперная характеристика образца. Зависимость силы тока от напряжения (как в прямой, так и в обратной полярности) имеет линейный вид характерный для проводников. Анализ АСМ-изображений (рис.1 б, в) показал, что поверхность образца представлена объектами с размером от  $\sim$  120 нм до нескольких микрометров с удовлетворительной однородностью дисперсии элементов по всей поверхности пленки.

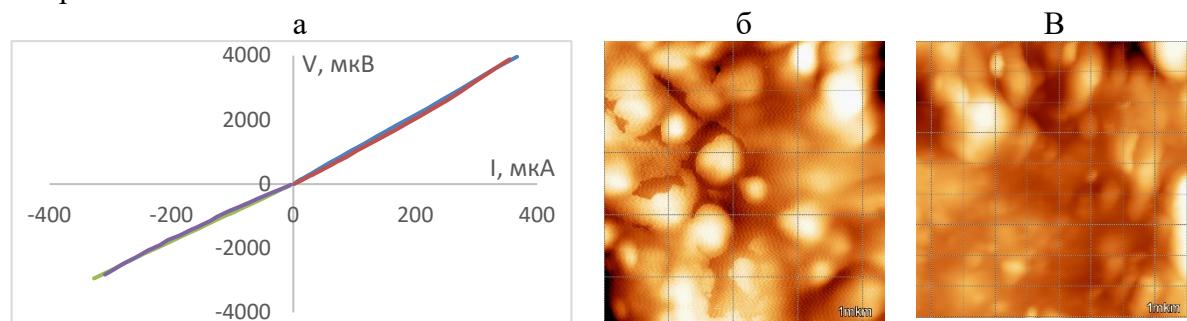


Рисунок 1. Вольт-амперная характеристика (а) и АСМ-изображение (б, в) пленки композиционного материала на основе графена и полимерной матрицы.

Таким образом, в работе показана возможность получения композиционных материалов на основе графена и полимерной матрицы, которые имеют высокий потенциал практического применения при конструировании суперконденсаторов или других токопроводящих элементов электроники.

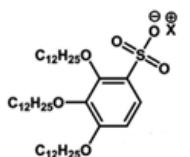
# СОЗДАНИЕ НОВЫХ ИОН-ПРОВОДЯЩИХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ КЛИНООБРАЗНЫХ АМФИФИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛИТИЯ

Гурьева Л.Л.<sup>1</sup>, Грищук А.А.<sup>1</sup>, Курмаз С.В.<sup>1</sup>, Евщик Е.Ю.<sup>1</sup>, Левченко А.В.<sup>1</sup>, Анохин Д.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, 142432 Черноголовка, просп. акад. Семенова, 1

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия 119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, д. 1  
[gurieva@icp.ac.ru](mailto:gurieva@icp.ac.ru)

Создание ион-проводящих полимерных мембран для металл-ионных аккумуляторов является важным направлением в современном материаловедении. Амфифильные клинообразные мезогены, молекулы которых состоят из жестких гидрофильных и мягких гидрофобных алкильных блоков, способны к самоорганизации с формированием сетки гидрофильных каналов заданной морфологии для транспортировки ионов. Синтезированные нами ранее мезогены 2,3,4-трис-(додецилокси)бензолсульфоновая кислота (ТДОБСН), ее натриевая (ТДОБСНа) и пиридиновая (ТДОБСНРуг) соли (см. формулу, где  $X^+ = H^+, Na^+, [C_5H_5NH]^+$ ) в зависимости от типа противоиона образуют под действием внешних воздействий различные супрамолекулярные структуры – смектические, колончатые, примитивные и гироидные кубические фазы с гидрофильными каналами для транспортировки ионов [1].



Настоящая работа посвящена синтезу, изучению фазового поведения и свойств нового клинообразного мезогена – асимметричного 2,3,4-трис(додецилокси)бензолсульфоната лития (ТДОБСЛи) (см. формулу, где  $X^+ = Li^+$ ). Разработаны методики синтеза ТДОБСЛи по двум ранее не описанным реакциям кислоты ТДОБСН с н-бутил-литием (*n*-BuLi) и с карбонатом лития ( $Li_2CO_3$ ). Методами элементного анализа, ЯМР-спектроскопии, РСА и АСМ и ДСК изучены структура синтезированного мезогена.

Методом РСА показана возможность получения механически стабильных ион-проводящих мембран путем формирования супрамолекулярной структуры ТДОБСЛи в нанопорах полимерных шаблонов на основе *N*-винилпирролидона с диметакрилатом триэтиленгликоля.

Синтезированный мезоген ТДОБСЛи испытан в качестве электролита для литий-ионного аккумулятора. Методом импедансной спектроскопии изучена проводимость электролита в двухэлектродной симметричной ячейке. Установлено, что ТДОБСЛи обладает проводимостью порядка  $10^{-3}$  См/см, что сопоставимо с требованиями к проводимости коммерческих жидких электролитов для литий-ионных аккумуляторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Anokhin D.V., Gur'eva L.L., Grafskaya K.N., Pikalov E.S., Abukaev A.F., Tarasov V.P., Ivanov D.A. *Physchem*, 2022, 2, 274–285. <https://doi.org/10.3390/physchem2030020>

Работа выполнена по темам государственного задания № 124013000757-0 / 124013000722-8, 124013000692-4 и с использованием оборудования Аналитического ЦКП ФИЦ ПХФ и МХ РАН

# ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МЕТИЛАЛЮМОКСАНОВ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ КАТАЛИЗАТОРОВ СИНТЕЗА ПОЛИОЛЕФИНОВ И СИНТЕТИЧЕСКИХ КАУЧУКОВ

Маслий А.Н.<sup>1</sup>, Ахметов И.Г.<sup>2</sup>, Кузнецов А.М.<sup>1</sup>, Давлетбаева И.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, masliy@kstu.ru

<sup>2</sup>НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Нижнекамск, akhmetovig@kstu.ru

Алюминийорганические соединения находят широкое применение в качестве компонентов металлокомплексных катализитических систем (КС), в том числе катализаторов Циглера-Натта. Эти КС активно используются в промышленных процессах для получения полиолефинов и синтетических каучуков. В этой связи структура алюминийорганических соединений и их роль в катализе хорошо изучена. Однако, остаются не до конца понятными эффекты, наблюдаемые при использовании метилалюмоксанов (МАО) в качестве сокатализаторов КС в реакциях синтеза полиизопренового каучука. Так как при синтезе МАО возможно образование различных их олигомерных форм, наиболее вероятно, что модифицирующий эффект может быть обусловлен воздействием только одной из возможных структур МАО.

В связи с этим, данная работа посвящена теоретическому изучению структур и энергетики образования МАО, которые формируются в реакционной смеси при взаимодействии триметилалюминия и воды. Целью данной работы является выявление наиболее вероятной молекулярной формы МАО, образующейся в реакционной смеси в условиях избытка триметилалюминия.

Квантово-химическое моделирование проведено с использованием программного пакета Orca 5.0.3 в рамках теории функционала плотности. В качестве метода исследования был выбран гибридный функционал PBE0 в комбинации с валентно-расщеплённым TZ атомным базисным набором def2-TZVP.

Из полученных в ходе расчётов структурных и термодинамических данных сложно сделать однозначный вывод о том, какая из молекулярных форм МАО должна доминировать в реакционной смеси при низкой концентрации воды. Чтобы прояснить полученную картину изменение свободной энергии Гиббса реакции образования всех рассмотренных форм МАО из  $Al(CH_3)_3$  и  $H_2O$  было пересчитано на 1 моль воды, участвующей в реакции. В результате было установлено, что для большинства вариантов структур большему числу звеньев  $-(OAlCH_3)-$  соответствует меньшее изменение свободной энергии Гиббса. Однако для линейной формы и двойного кольца существуют структуры с минимальным значением  $\Delta G_{298}^0$ . При этом, в случае  $Al_6O_6(CH_3)_6$  наблюдается наименьшее значение, то есть образование и устойчивость такой структуры наибольшие.

Таким образом, при рассмотрении реакции комплексообразования с участием МАО следует рассматривать две структуры, которые с наибольшей вероятностью присутствуют в реакционной смеси:  $Al_2O(CH_3)_4$  и  $Al_6O_6(CH_3)_6$ . Учитывая тот факт, что в реальном синтезе концентрация триметилалюминия в реакционной смеси существенно выше концентрации воды, можно сделать вывод, что в реакционной смеси будет преобладать  $Al_2O(CH_3)_4$ .

Работа выполнена за счет предоставленного в 2024 году Академией наук Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и прикладных научных работ в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан.

# ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЛОГЕНА НА ПОЛИМЕРИЗАЦИЮ 1,3-БУТАДИЕНА, КАТАЛИЗИРУЕМУЮ СИСТЕМОЙ ЦИГЛЕРА-НАТТА НА ОСНОВЕ НЕОДИМА

Маслий А.Н.<sup>1</sup>, Ахметов И.Г.<sup>2</sup>, Кузнецов А.М.<sup>1</sup>, Давлетбаева И.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, masliy@kstu.ru, davletbaeva09@mail.ru

<sup>2</sup>НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Нижнекамск, akhmetovig@kstu.ru

Катализаторы Циглера-Натта были впервые использованы для полимеризации а-олефинов и изучаются в этом качестве по сей день. В то же время создание катализаторов Циглера-Натта заложило основу промышленного производства стереорегулярных синтетических каучуков. За последние три десятилетия активно развиваются технологии получения СК с использованием лантанидных, в первую очередь неодимовых, катализаторов ионно-координационного типа. Несмотря на большое количество работ, исследования в этой области продолжают оставаться актуальными. В промышленной практике для получения синтетических каучуков, как правило, используют двойные и тройные неодимовые каталитические системы. В зависимости от условий синтеза и типа исходных компонентов катализатора свойства каталитической системы и, соответственно, образующегося в процессе полимеризации полимера можно варьировать в широких пределах.

В данной работе с использованием ранее полученных экспериментальных данных проведено теоретическое моделирование стереорегулярной полимеризации 1,3-бутадиена, катализируемой модельными активными центрами с различным содержанием хлора в системе Циглера-Натта на основе неодима. В результате получены и обоснованы ранее неизвестные особенности механизма катализа. Так, показано, что структуры с высоким содержанием хлора в неодимовой каталитической системе должны быть более стабильными и активными. Уменьшение концентрации активных центров относительно введенного Nd(III) при соотношении  $[Cl]:[Nd]=3,0$  и более объясняется образованием неактивных в процессе полимеризации структур, в которых отсутствует возможность внедрения 1,3-бутадиена в реакционноспособную растущую полимерную цепь. Для всех рассмотренных модельных активных центров при полимеризации 1,3-бутадиена связывание *транс*-1,3-бутадиена с реакционноспособной растущей полимерной цепью происходит с большей энергией активации по сравнению с внедрением *цис*-1,3-бутадиена. При этом увеличение соотношения  $[Cl]:[Nd]$  сопровождается снижением активационного барьера, что согласуется с ростом константы скорости роста цепи и содержанием *цис*-1,4-структур в образующемся полибутадиене. Более высокая термодинамическая устойчивость концевого звена растущей полимерной цепи в *транс*-конфигурации подтверждает возможность процесса *анти-цин*-изомеризации как источника образования *транс*-1,4-структур в полибутадиене при медленной полимеризации. Важным результатом является анализ геометрии комплексов на стадиях инициирования и роста полимерной цепи, где установлено, что причиной различия активности комплексов и их *цис*-стереоспецифичности является не стерический фактор, а энергетический маршрут процесса полимеризации.

Работа выполнена за счет предоставленного в 2024 году Академией наук Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и прикладных научных работ в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан.

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТОВ ПОЛИВИНИЛОВЫЙ  
СПИРТ/КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗА В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ  
ПЛЕНОК ИЗ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ КРАХМАЛОВ**

Дабиж О.Н.<sup>1,2</sup>, Комогорцева М.В.<sup>1</sup>, Шилова О.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Забайкальский государственный университет, Чита, Россия  
672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, д. 30*

<sup>2</sup>*Институт химии силикатов им. И.В. Гребенищкова, Санкт-Петербург, Россия  
199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д.2  
dabiga75@mail.ru*

Перспективные биоразлагаемые композиты на основе нетоксичной и модифицируемой карбоксиметилцеллюлозы и синтетического поливинилового спирта [1 - 2] совместимы с крахмальной матрицей [3]. Крахмалы кукурузный (ГОСТ Р 32159-2013) или картофельный (ГОСТ Р 53876-2010), механоактивированные воздушно-сухим способом 3 и 5 минут (t<sub>MA</sub>) в лабораторном истирателе ИВС-4, смешивали с композитами поливиниловый спирт / карбоксиметилцеллюлоза [2] в разных массовых соотношениях в горячей дистиллированной воде для приготовления суспензий 1 г/дл. При температуре 25 °C добавляли пластификатор – глицерин, перемешивали и помещали в термостат при 100 °C на 60 минут. Методом полива формировали плёнки на воздухе при температуре 25 °C в течение 24 – 48 часов. Изучали гравиметрическим методом содержание влаги (ω), степень набухания в воде (α), а также время полного растворения в дистиллированной воде (t<sub>1</sub>) и разложения полимерных пленок в почве (t<sub>2</sub>) при 25 °C, устойчивость на воздухе при температурах -10 и +40 °C, pH (таблица 1).

Таблица 1. Влияние дозы механической энергии (D) на характеристики пленок

Образцы	t <sub>MA</sub> , мин	D, кДж/г	ω, %	α, %	t <sub>1</sub> , мин	t <sub>2</sub> , сут	pH	Устойчивость	
								-10 °C	+40 °C
ПВС / КМЦ (2:1 мас. ч.)	3	0.74	12	14	60	2	5	–	–
	5	1.24	9	11	40			+	–
Крахмал / ПВС / КМЦ	3	0.74	12	15	100	2	6	+	+
	5	1.24	3	8	90	3			

Пленки из пластифицированных глицерином механоактивированного картофельного крахмала и композита поливиниловый спирт / карбоксиметилцеллюлоза (2:1 мас. ч.), полученные в соотношении 70 : 30 мас. % с дозами подведенной механической энергии 0.74; 1.24 кДж/г имеют характеристики, позволяющие рекомендовать их для использования в качестве пищевых пленок.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Khoramabadi H.N., Arefian M., Hojjati M., Tajzad I., Mokhtarzade A., Mazhar M., Jamavari A. *J. Compos. Compd.* **2020**, 2, 69-76.
2. Dabizha O.N., Shilova O.A., Ivan'kova E.M. *Colloidal Journal*, **2024**, 86(2), 218-231.
3. Bella G.R., Jeba Jeevitha R.S., Booshan A.Th. *Int. J. Curr. Res. Chem. Pharm. Sci.* **2016**, 3(6), 43-50.

*Работа выполнена при поддержке темы ГЗ № 1023033000122-7-1.4.3 в филиале Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» - Петербургском институте ядерной физики - Института химии силикатов.*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ МЕТОДОМ «ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ»

Кештов М.Л.<sup>1</sup>, Давыдова Н.К.<sup>1</sup>, Калинкин Д.П.<sup>1</sup>, Веженкова И.В.<sup>2</sup>, Семенова М.И.<sup>2</sup>,  
Хохлов А.Р.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*ФГБУН Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмейнова  
Российской академии наук, Москва, Россия  
119334, Россия, Москва, ул. Вавилова д.28, стр.1  
davydova@ineos.ac.ru*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия  
197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5 литеру Ф*

<sup>3</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
199034, Россия, Санкт-Петербург Университетская наб., 7/9*

За последние десятилетия мировая солнечная энергетика стремительно развивается, и солнечные электростанции становятся значимой частью энергетической инфраструктуры многих стран. Несмотря на то, что солнечная энергия является возобновляемым и экологически чистым ресурсом, солнечные панели со временем утрачивают свои эксплуатационные характеристики. Это происходит, в частности, из-за воздействия ультрафиолетовых лучей, влаги и разрушения компонентов, таких как этиленвинилацетатная (EVA) пленка в кристаллических солнечных панелях. Заключительным этапом жизненного цикла примерно 90% всех солнечных панелей является их захоронение [1,2]. Однако ряд компонентов, таких как фотоэлектрические элементы, каркас и полиэтиленвинилацетат, может быть повторно использован.

Наша работа по выявлению возможностей повторного использования некоторых компонентов солнечных панелей включала исследование растворимости полиэтиленвинилацетата в кремниевых фотовольтаических модулях с применением органических растворителей. В дополнение к этому, было осуществлено исследование токсичности компонентов солнечных панелей, с особым акцентом на полимерные составляющие, такие как EVA. Эти соединения представляют собой сложные органические вещества, химическая инертность которых остается недостаточно изученной, а разработанные методики биотестирования не всегда отражают достоверные результаты [3]. Выявлено, что токсичность EVA возрастает при длительном контакте с водным раствором, приближаясь к опасным для экологии и человеческого здоровья уровням токсичности. Кроме того, была обнаружена тенденция к увеличению токсичности под воздействием различных внешних условий, таких как температура и изменение среды экстрагирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Shao J., Li J., Yao X. *Journal of Cleaner Production*, **2023**, 417, 137984.
2. Lovato E. S., Donato L. M., Lopes P. P., Tanabe E. H., Bertuol, D. A. *Journal of CO2 Utilization*, **2021**, 46, 101477.
3. Vezhenkova I., Semenova, M., Kovalevskaya A., Gryaznov A., Rodriguez-Barroso M., Rocio C., Rafael J. *E3S Web of Conferences*, **2020**, 220, 01057.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 075-15-2024-553 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

# ВЛИЯНИЯ ОЗОНА НА КРИСТАЛЛИЧНОСТЬ ПГБ В НЕТКАНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-3-ГИДРОКСИБУТИРАТА –ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНА.

Додина Е.П.<sup>1,3</sup>, Хан О.И.<sup>4</sup>, Ольхов А.А.<sup>2,3</sup>, Карпова С.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт биохимической физики им. Н.М. Эммануэля РАН, 119991 Москва, ул. Косыгина, 4, Россия

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, 119991 Москва, ул. Косыгина, 4, Россия

<sup>3</sup> Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, 117997 Москва, Стремянный пер., 36, Россия

<sup>4</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы", г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

В данной работе изучали влияние озона на кристалличность поли-3-гидроксибутират (ПГБ) в нетканых материалах на основе поли-3-гидроксибутират (ПГБ) и поливинилпирролидона (ПВП).

Поли-3-гидроксибутират (ПГБ) как и поливинилпирролидон (ПВП) находят в настоящее время широкое применение в медицине, тканевой инженерии и упаковке.

Озон оказывает заметное влияние на структуру и молекулярную динамику полимеров, так как является агрессивным окислителем. Метод озонирования является одним из эффективных способов стерилизации и обеззараживания медицинских изделий.

Нетканые материалы получали из формовочных растворов методом электроформования с помощью однокапиллярной установки (Москва) при напряжении 18,2-18,4 кВ, растворитель - хлороформ ( $\text{CHCl}_3$ ). Время озонирования варьировалось от 10 до 80 мин., рабочая концентрация озона составляла  $5,5 \times 10^{-5}$  моль/л. Термический анализ (ДСК) проводили на приборе NETZSCH DSC214 при скорости нагрева 10 градусов в минуту в диапазоне температур от 20 до 190 °C. (средняя статистическая погрешность измерения тепловых эффектов составила  $\pm 3\%$ ). Подвижность молекул изучали с помощью спинового зонда на автоматизированном спектрометре ЭПР-6 (ИБХФ РАН, Москва). В качестве спинового зонда использовали стабильный нитроксидный радикал 2,2,6,6-тетраметилпиперидин-1-оксил (ТЕМПО).

На основе полученных данных было установлено, что при воздействии озоном уже после 25 минут происходит изменение степени кристалличности ПГБ и молекулярной динамики в аморфных областях структуры материала. Можно предположить, что данные изменения происходят из-за образования межмолекулярных связей между ПВП и ПГБ.

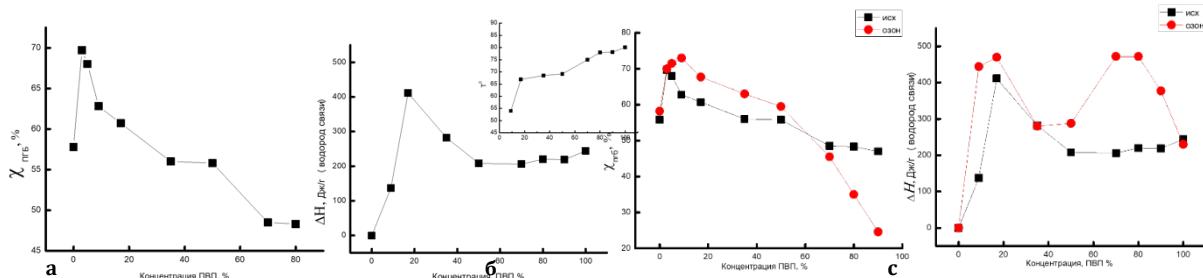


Рис. 1. Зависимость степени кристалличности ПГБ от концентрации ПВП в исходных образцах (а). Зависимость энталпии и температуры (разрыв водородных связей) от концентрации ПВП в исходных образцах (б), зависимость степени кристалличности ПГБ от концентрации ПВП в исходных образцах и после обработки озоном (25 минут) (с), зависимость энталпии (разрыв водородных связей) от концентрации ПВП в исходных образцах и после обработки озоном (25 минут) (д).

# РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА И ЕГО СМЕСЕЙ С НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫМ ПОЛИЭТИЛЕНОМ

Дудка Д.В., Митюков А.В. Малкин А.Я.

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиеva РАН, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, 29  
dudka@ips.ac.ru*

С середины XX века сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) привлекает внимание научного сообщества благодаря своим уникальным свойствам – высокой прочности, износостойкости, химической стойкости и низкому коэффициенту трения. Особый интерес для изучения представляют реологические характеристики данного материала, а также влияние молекулярной массы (ММ) и молекулярно-массового распределения (ММР) на его поведение и свойства.

В рамках настоящего исследования были изучены три промышленные марки СВМПЭ, проведен анализ реологических и температурных характеристик материалов, а также оценена молекулярная масса и ее влияния на реологическое поведение СВМПЭ. Кроме того, были получены смеси СВМПЭ с низкомолекулярным полиэтиленом в широком диапазоне концентраций (от 0 до 50 масс. %). Для полученных образцов проведена оценка реологических и физико-механических свойств.

Пластичность, являющаяся ключевой характеристикой для переработки материалов с высокой молекулярной массой, в значительной степени определяется шириной молекулярно-массового распределения (ММР), а не абсолютными значениями молекулярной массы. Экспериментально установлено, что смешение СВМПЭ с ПЭ позволяет существенно улучшить пластичность и технологичность материала без значительного ухудшения физико-механических свойств.

Результаты проведенной работы позволяют сделать заключение о влиянии ММ СВМПЭ на его свойства и поведение, а также демонстрируют принципиальную возможность использования смесей СВМПЭ и ПЭ в классических методах переработки, например литье под давлением. Установлено, что содержание СВМПЭ в таких смесях может достигать 50 масс. %, однако оптимальной концентрацией, обеспечивающей баланс между технологичностью и сохранением физико-механических свойств, является 30 масс. %. Полученные данные открывают перспективы для разработки новых композиционных материалов на основе СВМПЭ с улучшенными технологическими характеристиками.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-69-10001.

# ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТВЕРЖДЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Дутова В.С.<sup>1</sup>, Сафонов А.В.<sup>2</sup>, Готлиб Е.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,

<sup>2</sup>ООО «Полипласт-УралСиб», Россия,  
420111, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10

<sup>3</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет, КНИТУ,  
420015, Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 68.

В рамках политики импортозамещения, на ООО «Полипласт-УралСиб» организовано крупнотоннажное производство широкой линейки эпоксидных смол, и отрабатываются технологические аспекты направленного регулирования их качества.

Для этого было изучено влияние основных показателей эпоксидных смол, таких как вязкость, эпоксидный эквивалент и омыляемый хлор (таблица 1) на физико-механические и технологические свойства отверженных полимеров (таблица 2).

Таблица 1 - Свойства эпоксидных смол

Партия	Массовая доля эпоксигрупп, %	Вязкость, при 50 С.	Массовая доля омыляемого хлора, %
1	23,2	1,5 Па*с	0,045
2	18,6	16 Па*с	0,25

Отверждение проводилось аминофенолом АФ-2 ( ТУ 2494-052-00205423-2004) 7 суток при комнатной температуре. Содержание отвердителя определялось эквимольным соотношением [эпоксигруппы]:[амин].

Свойства эпоксидных смол оценивали по ТУ 20.16.40-175-58042865-2024. Твердость эпоксидных полимеров оценивали по методу Шора, прочность на изгиб – по ГОСТ 32299-2013. Жизнеспособность определялась по времени гелеобразования.

Таблица 2 - Характеристики отверженных эпоксидных полимеров

Партия	Время гелеобразования, мин.	Твердость, HSD	Прочность при изгибе, МПа
1	30	53	100
2	32	24	80

Все эксплуатационные показатели выше у полимера на основе эпоксидной смолы 1 партии (табл.2), так как у нее на порядок меньше массовая доля омыляемого хлора, выше концентрация эпоксидных групп и ниже вязкость (табл.1).

Согласно [1,2], высокое содержание хлора и большая вязкость эпоксидной смолы приводят к снижению физико-механических характеристик композиций.

Следовательно, необходимо обеспечивать полное завершение реакции дегидрохлорирования при синтезе эпоксидных смол и направленно регулировать их вязкость, для равномерного процесса отверждения в объеме реакционной массы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Кулик В.И. *Связующие для полимерных композиционных материалов: учебное пособие* / В.И. Кулик, А.С. Нилов; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2019. – 52 с.

# ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АДГЕЗИОННЫХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ГЕРМЕТИЗИРУЮЩЕЙ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ БУТИЛКАУЧУКА

Ермолаева А.А., Галимзянова Р.Ю., Хакимуллин Ю.Н., Казаков Ю.М.

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань,  
Россия  
420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68.  
[ermolaevaalena165@gmail.com](mailto:ermolaevaalena165@gmail.com)

Неотверждаемый невысыхающий герметик, представляет собой термопластичный материал, который при нагревании размягчается, а при охлаждении возвращается в первоначальное состояние. За счет сохранения пластичности в процессе эксплуатации неотверждаемый герметик применяется для соединения разъемных и подвергающихся периодическому демонтажу частей деталей.

Герметики, изготовленные на основе бутилкаучука, обладают рядом преимуществ: высокая прочность и устойчивость к химическим воздействиям обеспечивают долговечность и надежность герметизации [1-3], низкая пористость материала способствует созданию непроницаемого барьера, что особенно важно для предотвращения утечек и проникновения влаги. Разрабатываемый герметик будет применяться при сборке оборудования при временном соединении алюминиевых частей на задней поверхности холодильника.

Целью работы являлось разработка состава герметизирующей композиции на основе страйнированного бутилкаучука, обладающего высокой вязкостью и адгезией к алюминию.

Для изготовления герметизирующих композиций на основе каучука использовались следующие материалы: страйнированный бутилкаучук ГОСТ Р 54557 – 2011; мел марки MMC; масло VHVI-6 ТУ 38.401-58-427-2017; стеариновая кислота (ГОСТ 6484-96). В качестве адгезионных добавок использовали: низкомолекулярный полиизобутилен (ПИБ 1300), смолу Церезин 75, смолу DW 100, смолу HSU 100, смолу EVA.

Определяющими свойствами герметика является пенетрация и адгезия к алюминию. Пенетрация – физико-химическое свойство пластичных герметиков, которое характеризует степень густоты, вязкость, консистенцию. Испытания проводились на пенетрометре стандартном 984 ПК. Прочность связи с дюралюминием (адгезионная прочность) измеряли на образцах –грибках в соответствии с ГОСТ 209-75.

В ряду смола EVA, церезин 75, смола HSU 100, смола DW100 пенетрация увеличивалась с 25 до 134  $\text{мм}^{-1}$ . Лучшие свойства имели герметики со смолой DW 100, глубина проникновения иглы, характеризующая вязкость полученной композиции составила 134 мм, у эталонной композиции – 146 мм. Адгезионная прочность к алюминию полученного состава составила 6,5 кПа, а эталона – 6,3 кПа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Галимзянова Р. Ю., Макаров Т. В., Хакимуллин Ю. Н., Вольфсон С. *Вестник Казанского технологического университета*, 2009, 6, 153-159.
2. Закирова Л.Ю., Хакимуллин Ю.Н., Вольфсон С.Н., Сабуров В.Ю. *Клеи. Герметики. Технологии*, 2005, 10, 22-23.
3. Закирова Л.Ю., Идиятуллина Л.И., Хакимуллин Ю.Н. *Вестник Казанского технологического университета*, 2011, 14, 158-162.

# СИНТЕЗ ЛАКТИДА ИЗ ПРОДУКТОВ ГЛИКОЛИЗА ПОЛИЛАКТИДА КАК СПОСОБ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИЛАКТИДА

Ерохина Ю.С., Алиев Г.Ш., Томс Р.В., Гервальд А.Ю.

*МИРЭА – Российский Технологический Университет, Институт тонких химических технологий им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия  
119571, Россия, г. Москва, проспект Вернадского, д. 86  
erokhina.y.s@edu.mirea.ru*

Полилактид (ПЛА) представляет собой термопластичный алифатический полиэфир, основным промышленным способом получения которого является полимеризация с раскрытием цикла мономера лактида. Помимо 3D-печати ПЛА активно используют в медицине, что обусловлено наличием у ПЛА таких свойств, как биосовместимость и биодеградация. Наиболее перспективным применением ПЛА является производство биорассасывающихся медицинских имплантатов, используемых в ортопедии, стоматологии, челюстно-лицевой и общей хирургии [1].

В естественных условиях происходит разложение изделий из ПЛА на воду и углекислый газ, при этом процесс разложения может занимать от нескольких месяцев до нескольких лет. Однако наибольшей экономической эффективности можно достичь при вторичной переработке изделий из ПЛА. Например, переработку можно осуществить гликолизом, который является одним из наиболее экономически выгодных способов химической переработки отходов полимеров, и который может быть легко осуществлен в промышленных масштабах [2]. При гликолизе происходит переэтерификация эфирных групп ПЛА, в результате которой происходит деполимеризация полимера. Таким образом, можно получить полиолы невысокой молекулярной массы, а также другие жидкие продукты, которые могут стать сырьем для синтеза лактида и последующего синтеза ПЛА, тем самым замкнув цикл производства.

В исследовании был использован L-полилактид марки 4032-D с молекулярной массой 1,9·105 г/моль. В качестве агента гликолиза был выбран глицерин (ГЛ) в молярном соотношении ПЛА : ГЛ = 1 : 0,125. Гликолиз проводили в трёхгорлой колбе в атмосфере инертного газа в присутствии катализатора стеарата цинка при температуре 220 °C. На основе полученных продуктов гликолиза в присутствии катализатора октоата олова в концентрации 0,5 % масс. синтезировали лактид. Процесс проводили при температуре от 140 до 210 °C, ступенчато снижая давление до 10 мбар. В результате был получен лактид-сырец с выходом 85 %. Состав лактида-сырца определяли методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Результаты ЯМР показали, что содержание мезоформы и олигомеров в образце лактида-сырца по отношению к L-лактиду составляют 27,5 % и 10,7 % соответственно. В случае синтеза лактида из молочной кислоты, содержание мезо-формы и олигомеров составляли 12,3 % и 2,0 % соответственно. Лактид-сырец очищали перекристаллизацией из бутилацетата (БАЦ) в массовом соотношении лактид-сырец : БАЦ = 3 : 1. После 5 циклов перекристаллизации был получен лактид с выходом 39 % масс.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Aliev G., Toms R., Melnikov P., Gervald A., Glushchenko L., Sedush N., Chvalun S. *Polymers*, **2024**, *16*, 624-648.
2. Dębowksi M. Iuliano A., Plichta A., Kowalczyk S., Florjanczyk Z. *Polimery*, **2019**, *64*, 764-776.

# СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦЫ

Накан У.\*, Жакенаева Д, Нурсултанов М.Е., Адиканова Д.Б.

*Кафедра химической и биохимической инженерии, Satbayev University, 050013,  
Алматы, Казахстан  
ulantaynakan@gmail.com*

Многие полимерные материалы находят особое применение благодаря своим уникальным свойствам. Среди них широко используются сополимеры, содержащие металлические наночастицы (Ag, Au, TiO<sub>2</sub> и др.), обладающие антибактериальными, магнитными, электропроводящими, фотокаталитическими и другими свойствами. Они востребованы, особенно в биотехнологии, медицине, электронике, сельском хозяйстве и других отраслях. Полимерные материалы, называемые «умными» или «стимул-чувствительными», содержащие металлические наночастицы, представляют особый интерес для исследователей благодаря своим уникальным свойствам. В связи с растущим спросом на эти полимеры исследования в данной области становятся все более актуальными. Поэтому глубокое изучение этих полимеров является требованием современности.

В данной научной работе сополимеры на основе N,N-Диметилацетамид (ДМА) и 2-Гидроксиэтилакрилат (ГЭА), содержащие серебряные наночастицы, были синтезированы методом радикальной полимеризации в водных растворах с использованием персульфата аммония в качестве инициатора и N,N-метилен-бис-акриламида в качестве сшивающего агента. Для улучшения свойств полимеров в гелевую матрицу были внедрены наночастицы серебра.

Процесс получения серебряных наночастиц происходит в результате окислительно-восстановительной реакции между нитратом серебра (AgNO<sub>3</sub>) и аскорбиновой кислотой (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>6</sub>) во время синтеза гидрогеля. Кроме того, серебряные наночастицы также синтезировались на основе окислительно-восстановительного процесса между нитратом серебра (AgNO<sub>3</sub>) и боргидридом натрия (NaBH<sub>4</sub>) и внедрялись в гель методом диффузии.

Введение серебряных наночастиц в гель, а также морфология поверхности геля были изучены и проанализированы с использованием сканирующего электронного микроскопа (SEM). Свойства гидрогелей, содержащих серебряные наночастицы, и контрольных образцов без серебра были исследованы с применением различных современных методов. Состав гидрогеля был изучен методом Фурье-ИК-спектроскопии (FTIR), и было определено соединение, соответствующее этому гидрогелю. Тепловые свойства гидрогелей были исследованы методами термогравиметрического анализа (TGA) и дифференциальной сканирующей калориметрии (DSC). Также была изучена кинетика набухания и сжатия гидрогелей ДМА-ГЭА.

# СОЗДАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ С АНТИМИКРОБНЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ

Журавлева О.А.<sup>1</sup>, Власова А.Ю.<sup>1</sup>, Малахов С.Н.<sup>1</sup>, Пацаев Т.Д.<sup>1</sup>, Васильев А.Л.<sup>1,2</sup>,  
Никулина Е.А.<sup>3</sup>, Цирульникова Н.В.<sup>3</sup>, Егоров А.С.<sup>3</sup>, Воейкова Т.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИЦ «Курчатовский институт», ККНИБИКС-ПТ, Москва, Россия  
123182, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

<sup>2</sup>МФТИ (НИУ), Москва, Россия  
117303, г. Москва, ул. Керченская, д. 1А, корп. 1

<sup>3</sup>НИЦ «Курчатовский институт», ККХИ, Москва, Россия  
123182, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1  
zhuravlevaolgg@gmail.com

Разработка и производство полимерных нанокомпозитов (ПНК), обладающих пролонгированным антимикробным действием, востребованы для отраслей промышленности, медицины, сельского хозяйства и экологии. Наличие в полимерных матрицах металлсодержащих наночастиц (НЧ) с биоцидными характеристиками обеспечивает создание функциональных ПНК с высокими потребительскими качествами, актуальными для сохранения объектов от биоповреждений и защиты окружающей среды [1].

В настоящей работе предложена эффективная технология создания ПНК с бактерицидными свойствами, основанная на введении биогенных НЧ Ag и Ag-Se в состав полимерных носителей различных типов – ионообменной и эпоксидной смолы, сополимеров сложных эфиров метакриловой кислоты БМК-5Б.

Для синтеза биогенных НЧ использовали разработанный нами природоподобный метод восстановления ионов Ag и Se из водных растворов  $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  в присутствии микробных клеток. НЧ охарактеризованы как кристаллические структуры с узким распределением по размеру, отрицательным зарядом поверхности, длительной устойчивостью к агломерации, высоким уровнем антимикробной активности. Разработаны способы получения сухих и жидких препаративных форм наноматериала без потери функциональных характеристик.

Установлено сохранение бактерицидной активности НЧ Ag-Se в смеси смол катионита и анионита Amberlite MB-3 и среднеосновного анионита Sephadex DEAE, что перспективно для создания фильтрационных материалов нового поколения.

Впервые предложена методика сочетания биогенных НЧ Ag и химически синтезированных комплексных соединений Cu и Zn в составе БМК-5Б. Полученные полимерные нанокомпозиции будут использованы для создания противообрастающих покрытий, пригодных для эксплуатации в условиях морской среды. Анализ бактерицидных свойств НЧ Ag в составе полимерных нанокомпозиций на основе БМК-5Б и эпоксидной смолы, контактирующих с морской водой в течение месяца, не показал снижения уровня биоцидной активности исследуемых образцов ПНК.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Husain S. et al. *Journal of Functional Biomaterials*, 2023, 14(1), 47.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт». Штаммы микроорганизмов предоставлены БРЦ ВКПМ НИЦ «Курчатовский институт».

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ САЖЕНАПЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, КАК СПОСОБ ИЗУЧЕНИЯ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Зверев А.Е., Марков А.В., Тарасова К.С

*МИРЭА - Российский технологический университет, Москва, Россия*

*119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78*

*[azmonst@gmail.com](mailto:azmonst@gmail.com)*

Перспективным направлением исследований электропроводящих саженаполненных полимерных композиционных материалов являются саморегулирующие нагревательные элементы и устройства [1,2]. В процессе нагрева, вблизи температуры плавления матричного полимера, электрическое сопротивление композиции начинает резко возрастать, что приводит к появлению эффекта терморегулирования [1,2]. Данное явление получило название эффекта положительного температурного коэффициента (ПТК) [1,2].

Цель данной работы исследовать электрические характеристики электропроводящих саженаполненных полимерных композиционных материалов на основе смесей полиолефинов вблизи температуры плавления матричного полимера в процессе релаксации после снятия деформации изгиба. Кроме этого, была предпринята попытка оценить взаимосвязь электрической и механической релаксации саженаполненных композиций.

В работе были исследованы электрические характеристики смесевых композиций полиэтилена низкой плотности 10813-020 (ПЭНП) и полипропилена 1120-16 (ПП), наполненных техническим углеродом (ТУ) специальной электропроводной марки УМ-76. Содержание технического углерода для всех композиций являлось постоянным и ставило 11,7 об.%. Исследованные композиции различались порядком смешения компонентов. По результатам исследования были установлены зависимости относительного электрического сопротивления (интенсивность эффекта ПТК) для всех саженаполненных композиций от температуры. Наибольшую интенсивность эффекта ПТК наблюдали для композиции ПЭ с ПП, которую наполняли ТУ, а также композиции ПП, которую наполняли смесью ПЭ с ТУ. В работе были исследованы зависимости относительного удельного объемного электрического сопротивления композиций от времени релаксации образцов. По результатам исследования зависимости относительного удельного объемного электрического сопротивления от времени релаксации после снятия деформации изгиба, были установлены зависимости изменения логарифма усредненного времени релаксации от температуры для выбранных смесевых композиций, а также построена зависимость времени релаксации электрического сопротивления от температуры. В ходе анализа полученных зависимостей с помощью уравнения Аррениуса установили, что энергия активации релаксации электрического сопротивления является близкой по величине к энергии активации вязкого течения. В свою очередь это говорит о том, что процесс электрической релаксации является сходным с механической релаксацией.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Марков А.В., Зверев А.Е., Марков В.А. *Тонкие Химические Технологии*, 2024, 19, 429-440.
2. Марков А.В., Тарасова К.С., Марков В.А. *Тонкие химические технологии*, 2021, 16, 345-351.

# ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИЭФИРОВ С ДИИЗОЦИАНАТАМИ

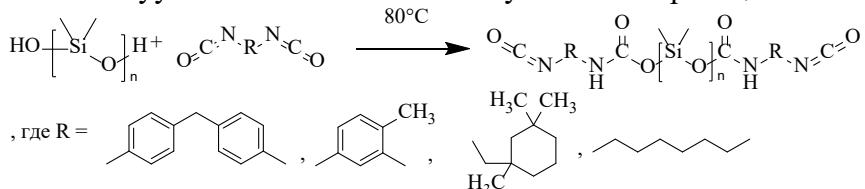
Иванов Р.С.<sup>1</sup>, Анисимов М.Ю.<sup>1</sup>, Безгин Д.А.<sup>1</sup>, Кузьмин М.В.<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,  
Чебоксары, Россия  
428015, Россия, г. Чебоксары, Московский проспект, д. 15.  
polysvbenzol@gmail.com

Кремнийорганические полимеры на основе полидиметилсилоксана (ПДМС) широко известны своими уникальными свойствами, такими как высокая термостабильность, химическая инертность, гидрофобность и отличные изоляционные характеристики [1]. Эти свойства делают такие полимеры востребованными материалом в различных областях, таких как медицина, электротехника, строительство и др. Однако их существенным недостатком являются низкие механические свойства, что ограничивает их применение при повышенных нагрузках [2].

Известно [3,4], что одним из способов нивелировать данные недостатки является синтез полиуретанов на основе кремнийорганических полимеров. Полиуретаны обладают высокой прочностью и устойчивостью к механическим воздействиям, а введение кремнийорганических полимеров, в частности ПДМС, в структуру полиуретана повышает их термостойкость и химическую устойчивость.

Исходя из вышеизложенного, целью данного исследования является изучение реакции взаимодействия ПДМС, содержащего терминалные гидроксильные группы, различной молекулярной массы с диизоцианатами в разных мольных соотношениях реагирующих групп. Синтез проводился в трехгорлой колбе с верхнеприводной мешалкой при 80°C в вакууме в течение 90-180 минут по схеме реакции:



Реакция сопровождается незначительным выделением тепла, реакционная система изменяет цвет с прозрачного на белый. Полученные форполимеры характеризуются вязкостью, превышающей аналогичный показатель ПДМС в 2-3 раза. Контроль хода реакции осуществляли методом ИК-спектроскопии, отслеживая изменение полосы поглощения в области 2239  $\text{cm}^{-1}$ . Согласно ИСО-1489 установлено, что 50% конверсия изоцианатных групп достигается за 60-90 минут от начала реакции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang, Y., Shang, J., Lv, F., & Chu, P. K. Synthesis and characterization of novel organosilicon-modified polyurethane // Journal of Applied Polymer Science. — 2012. — №. 125(2). — С. 1486–1492.
2. Eduok, U., Faye, O., Szpunar, J. Recent developments and applications of protective silicone coatings: A review of PDMS functional materials // Progress in Organic Coatings. — 2017. — №. 111. — С. 124–163.
3. Гармонов И.В. Синтетический каучук. — Л. : Химия, 1976. — 752 с.
4. Кремнийорганические полиуретаны / Кузнецова В. П., Ласковенко Н. Н., Запунная К. В. — Киев: Наук. думка, 1984. — 224 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEGR-2023-0012

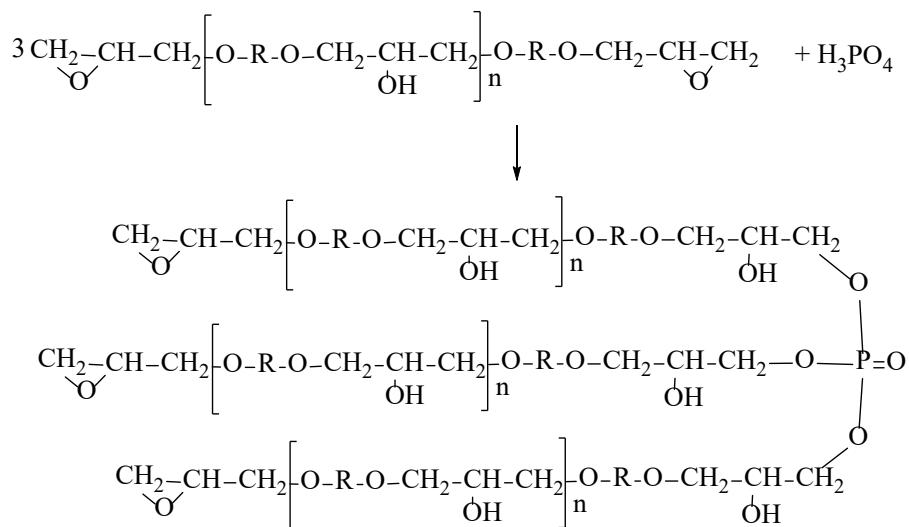
# СИНТЕЗ ЭФИРОВ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ И ЭПОКСИДИАНОВОЙ СМОЛЫ

Илларионова М.С., Кузьмин М.В.

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

Грунтование поверхности металла перед окрашиванием – один из важных этапов подготовки металла, обеспечивающий антакоррозионную защиту, равномерное распределение, долговечность и экономный расход лакокрасочного покрытия. Наиболее эффективными и часто применяемыми являются фосфатирующий и эпоксидные грунты. Преимущество фосфатирующего грунта в том, что он обеспечивает надежную защиту от коррозии и предотвращает развитие уже имеющихся микроочагов, однако требует послойного нанесения состава и сушки после каждого слоя. Эпоксидный грунт устойчив к перепаду температур и обладает высокой адгезией к металлам, обеспечивая надежное покрытие, но требует мероприятия по подготовке самого состава к нанесению. В связи с этим, цель нашего исследования – разработка одностадийного грунта для подготовки металлической поверхности к окрашиванию, который сочетает в себе преимущества фосфатирующего и эпоксидного грунтов.

Путем взаимодействия ортофосфорной кислоты с эпоксидиановой смолой нами был получен трехзамещенный эфир фосфорной кислоты:



где  $\text{R} = \text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_4$ .

Особенность данной реакции заключается в постепенном добавлении фосфорной кислоты для предотвращения полной полимеризации и отверждения эпоксидной смолы.

Полученное соединение было протестировано в составе однокомпонентного грунта путем однослоистого нанесения на стальную пластину и сушкой при  $140^\circ\text{C}$  в течение 10 минут. Установлено, что фосфатированные эпоксидные олигомеры обладают высокой адгезией к металлу, а грунт на его основе значительно упрощает процесс подготовки металла к окрашиванию. Дальнейшие исследования будут направлены на определение антакоррозионных свойств и эксплуатационных свойств грунта на основе трехзамещенных эфиров фосфорной кислоты и эпоксидиановой смолы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEGR-2023-0012.

# НОВЫЕ ШИРОКОЗОННЫЕ ХИНОКСАЛИН-СОДЕРЖАЩИЕ СОПРЯЖЕННЫЕ ПОЛИМЕРЫ, СИНТЕЗИРОВАННЫЕ МЕТОДОМ ПРЯМОЙ ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ ГЕТЕРОАРИЛИРОВАНИЯ ДЛЯ НЕФУЛЛЕРНОВЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Кештов М.Л.<sup>1</sup>, Калинкин Д.П.<sup>1</sup>, Шикин Д.Я.<sup>1</sup>, Хохлов А.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия  
119334, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 28, стр. 1  
kalinkin@ineos.ac.ru

Нами разработаны и синтезированы два сопряженных полимера с широкой запрещенной зоной **P140** и **P143** методом прямой поликонденсации гетероарилирования (Схема 1). Мономеры **M1**, **M2** и **M3** были синтезированы согласно литературным данным [1-3].

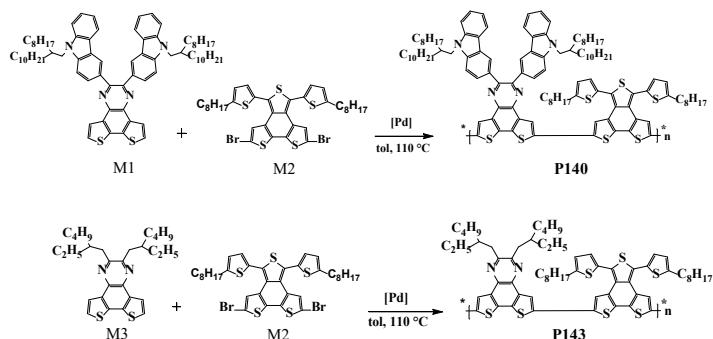


Схема 1. Синтетический путь получения полимеров **P140** и **P143**.

Были изучены абсорбционные свойства полимеров в хлороформе и пленках. Значения оптической ширины запрещенной зоны **P140** и **P143** составляют 1.92 и 1.97 эВ, соответственно. Значения высшей занятой и нижней свободной молекулярных орбиталей (В3МО/НСМО) полимеров, оцененные с помощью циклической вольтамперометрии (CV), равны –5.40/–3.49 эВ и –5.42/–3.44 эВ, соответственно. Они демонстрируют низколежащую В3МО по сравнению с коммерческим Р3НТ (В3МО = –4,75 эВ), что способствует высокому напряжению холостого хода ( $V_{oc}$ ), т.к.  $V_{oc}$  пропорционально разнице между уровнями В3МО донора и НСМО акцептора. Для предсказания геометрической структуры и расположения В3МО/НСМО **P140** и **P143** был выполнен теоретический расчет с использованием теории функционала плотности. Рассчитанные уровни В3МО/НСМО хорошо согласуются с CV-исследованиями. Синтезированные **P140** и **P143** обладают улучшенной планарностью цепи, межмолекулярным упорядочением и термической стабильностью. Они могут быть перспективными кандидатами в качестве донорных полимеров для тройных органических фотоэлектрических устройств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Keshtov M.L., Kuklin S.A., Konstantinov I.O., Godovskii D.Yu., Zou Y., Ostapov I.E., Makhaeva E.E., Khokhlov A.R. *Doklady Chemistry*, **2018**, *482*, 195–200.
2. Keshtov M.L., Kuklin S.A., Osipov S.N., Topchii M.A., Konstantinov I.O., Gamov A.L., Khokhlov A.R. *Doklady Chemistry*, **2015**, *460*, 50–56.
3. Zhou H., Yang L., You W. *Macromolecules*, **2012**, *45*, 607–632.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-43-02039.

# РАЗРАБОТКА УГЛЕПЛАСТИКОВ С ПОВЫШЕННЫМ ИНДЕКСОМ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Каменев Ю.Н.

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия  
400005, Россия, г. Волгоград, пр-кт им. В. И. Ленина, д. 28  
kamenev45@mail.ru*

С каждым годом требования к полимерным композиционным материалам, используемым в различных отраслях промышленности и приборостроении, становятся все выше. Особенno это касается углепластиковых элементов конструкций беспилотных летательных аппаратов. В связи с этим, в настоящее время обретают актуальность исследования, направленные на разработку углепластиков с высоким индексом эффективности, под которым понимают отношение прочности композиционного материала к его плотности.

В настоящей работе для создания углепластиков с повышенным индексом эффективности предлагается использование пары: углеткань с модифицированной металлом поверхностью – реакционноспособное связующее, содержащее кислотные полимеризационноспособные компоненты. При формировании материала между связующим и поверхностью углеткани будут дополнительно образовываться химические связи, что синергетически увеличит физико-механические характеристики.

В рецептуру разрабатываемого связующего входит диметакриловый эфир триэтиленгликоля (ТГМ-3), метакриловая кислота (МАК) для увеличения реакционной способности к металлу, поливинилбутириль (ПВБ) для понижения усадки и 2-гидроксипропилметакрилат как активный сорасторовитель ПВБ. В качестве отвердителя используется окислительно-восстановительная система, включающая в себя метилэтилкетона пероксид и октоат кобальта. Модификация углеткани электролитическим методом проводилась в 0,1 М растворе соли сульфата цинка.

При исследовании усадки разработанных связующих выявлено, что введение ПВБ до 10 масс. ч. и МАК до 2.5 масс. ч позволило снизить усадку до 3.5 %, что в 2 раза ниже, чем у не модифицированного связующего. В ходе исследования реологических характеристик установлено, что введение метакриловой кислоты приводит к снижению вязкости и величины энергии активации вязкого течения. Модуль упругости и максимальная прочность материалов на основе разработанных связующих при статическом изгибе составили 2.3 ГПа и 67.9 МПа соответственно.

Выявлено, что модификацию углеткани в 0,1 М растворе сульфата цинка электролитическим методом наиболее эффективно проводить при плотностях тока от 0.05 до 0.2 А/дм<sup>2</sup>, поскольку в этих условиях на поверхности углеродного волокна формируется наиболее плотный осадок преимущественно из частиц цинка, средний размер которых составляет от 3 до 5 мкм.

На основе разработанного связующего и модифицированной ткани методом вакуумной инфузии были изготовлены углепластики, модуль упругости и прочность при статическом изгибе которых на 21 и 42 % выше чем у материалов изготовленных с применением не модифицированной углеткани.

Разработанные в ходе проведенных исследований материалы возможно использовать для изготовления углепластиковых элементов конструкции беспилотных летательных аппаратов.

*Исследование выполнено за счет средств программы развития ВолГТУ «Приоритет 2030», в рамках научного проекта № 17/658-24.*

## МОДИФИКАЦИЯ УРЕТАНОВЫХ ПРЕПОЛИМЕРОВ ДЛЯ КЛЕЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Костиков А.Р.<sup>1</sup>, Давлетбаева И.М.<sup>1</sup>, Каюмов М.Н.<sup>2</sup>, Сафиуллин К.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт полимеров ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Республика Татарстан, 420015, Российская Федерация, Республика Татарстан, Казань, ул.К.Маркса, 68

<sup>2</sup>LLC «RIBERG BAUCHEMIE» Kyrgyzstan, Bishkek,

Ch. Aitmatov Ave. 303. Free economic zone

davletbaeva09@mail.ru

Одними из наиболее универсальных полимеров на базе которых можно создать материалы с широким диапазоном эксплуатационных показателей, таких как повышенная твердость, высокий модуль упругости, эластичность, стойкость к истиранию, растворителям, маслам и высокая прочность являются полиуретаны. Изменяя химическую природу исходных компонентов можно в значительных пределах варьировать значения этих показателей и получать как ударопрочные пластики, так и эластомеры. Один из способов, позволяющих влиять на химическое строение и морфологию полиуретанов (ПУ), связан с их модификацией металлокомплексными соединениями (МК) и устойчивыми к самоконденсации органозамещенными кремнезёмы (ASiP) и получением соответствующих модифицированных полиуретанов (МПУ). Актуальной является проблема использования малых количеств модификаторов как способа влияния на надмолекулярную организацию полиуретанов и соответственно на их технические свойства.

В данной работе для модифицирующего воздействия были использованы уретановые преполимеры (УП), содержащие терминальные изоцианатные группы. УП были получены на основе полипропиленоксида (ММ=2000) и диизоцианатов как ароматической (дифенилметандиизоцианат, МДИ), так и алифатической (изофорондиизоцианат, ИФДИ) природы. Исследуемые УП производятся на «RIBERG BAUCHEMIE» и используются в качестве клеевого связующего для резиновой крошки.

В проводимых нами исследованиях для модификации используемых в качестве клеёв уретановых преполимеров были использованы МК и ASiP, способные приводить к структурированию полиуретанов и активно влиять на их физико-механические и электрофизические характеристики.

Было установлено, что при использовании низких концентраций МК и ASiP (от 0,5 мас.%) происходит увеличение прочности и удлинения при разрыве на 30%. При этом наблюдается закономерное понижение модуля упругости. Структурирование с использованием МК приводит также к понижению в 5000 раз удельного объёмного электрического сопротивления полиуретановых связующих, придавая получаемым с их использованием дорожным композициям способность не накапливать и отводить статическое электричество. МК оказывают также воздействие на химические процессы, происходящие при отверждении УП. В результате наблюдается сокращение времени формирований композиционных материалов на основе УП и резиновой крошки.

# ПОЛИМЕРНОЕ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОГО ОЛИГОМЕРА И ХРОМФОСФАТНОГО МОДИФИКАТОРА

Кувшинова Д.Р., Борисов С.В., Ваниев М.А.

*ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,  
Волгоград, Россия, 400005, пр-кт им. В. И. Ленина, д. 28, rector@vstu.ru*

Существует множество методов защиты металла от коррозии, включая применение ингибиторов, катодной и анодной защиты, а также использование различных покрытий. Последнее достигается за счет нанесения специальных покрытий, таких как лакокрасочные материалы, в которых могут использоваться эпоксидные смолы, или конверсионные покрытия, например, хроматные, фосфатные или хромофосфатные. Цель данной работы заключалась в разработке антикоррозионного покрытия, объединяющего барьерные и конверсионные компоненты.

В качестве барьерной составляющей выступает эпоксидиановая смола марки ЭД-20, содержащая гидроксоксилат магния (ГС-Mg), снижающей значение краевого угла смачивания покрытия, в качестве конверсионной составляющей – хромофосфатный модификатор (ХФМ), представляющий собой смесь ди-, изо(поли)-хромовых и ортофосфорной кислот. Модификатор добавлялся в смолу ЭД-20 в концентрации – 8,5%, 10% и 12%. При содержании ХФМ менее 8,5% композиция не отверждается, при содержании ХФМ более 12% происходит вспенивание образца.

Испытания на определение прочности при ударе (по ГОСТ Р 53007-2008), были проведены с грузом массой 1 кг при комнатной температуре. Разрушение образца при содержании модификатора 8,5 %, 10 % и 12 % – 20, 36 и 40 см, соответственно, не содержащего модификатор с 2,5 см. Время гелеобразования исследуемых рецептур при температуре 30 °С составило 204 - 217 с. Поскольку данный параметр менее 15 мин, то в соответствии с ГОСТ 27271-2014 все разрабатываемые покрытия были отнесены к быстроотверждающимся. Время достижения 7 степени высыхания, определенное по ГОСТ 19007-73, снижается с 1194 до 100 минут по мере увеличения концентрации ХФМ.

Для испытаний на коррозионную стойкость в естественных условиях под воздействием прямых солнечных лучей были изготовлены пластины размером 150×70×1 мм из стали марки 15ЮА с нанесенным покрытием. Пластины были установлены на открытых площадках под углом 45° с ориентацией на юг. Испытания проводились в течение 9 месяцев на открытых участках с травяным покрытием и различными уровнями солнечного излучения: в условиях континентального засушливого климата (Волгоградская область) – 1278 кВт·ч/м<sup>2</sup>, и в тропическом климате (Вьетнам, станция КонЗо) – 1750-2000 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Распространение коррозии от надреза в условиях Волгоградской области для рецептуры Cr-8,5 составило 0,37 мм, Cr-10 – 2,21 мм, Cr-12 – 2,10 мм, образец сравнения полностью покрылся коррозией спустя 180 дней испытаний. Распространение коррозии от надреза в условиях тропиков для рецептуры Cr-8,5 составило 0,50 мм, Cr-10 – 0,77 мм, Cr-12 – 0,5 мм, образец сравнения полностью покрылся коррозией спустя 21 день испытаний.

Полученные данные свидетельствуют о значительном увеличении антикоррозионных свойств разработанного покрытия, содержащего ХФМ, в сравнении с не модифицированным образцом при испытаниях на коррозионную стойкость в естественных условиях под действием прямых солнечных лучей.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение научных исследований межрегионального научно-образовательного центра Юга России при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (соглашение № FZUS-2024-0001).

# СОЗДАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ НА ПОЛИМЕРНОМ НОСИТЕЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНАЦИИ ПОДХОДОВ ЛАЗЕРНОЙ ХИМИИ И МЕТОДА ИОННОГО НАСЛАИВАНИЯ

Канева М.В.<sup>1</sup>, Лобинский А.А.<sup>1</sup>, Левшакова А.С.<sup>2</sup>, Е.М. Хайруллина Е.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия  
194021, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26.*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
199034, Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская наб. д. 7–9,  
skt94@bk.ru*

В последнее время прослеживается тенденция к разработке гибких композитных материалов для изготовления высокопроизводительных электродов различного назначения. Особое внимание уделяется методам нанесения высокопроводящих углеродсодержащих и металлических структур на полимерные носители.

В данной работе была применена комбинация методов лазерной химии и ионного наслаждания для создания композитных электродов на гибком носителе. Ранее был адаптирован метод лазерно-индуцированного пиролиза подложки из полиэтилентерефталата (ПЭТ) [1]. Процесс заключался в локальном пиролизе ПЭТ под действием лазерного излучения с длиной волны 450 нм, в результате чего поверхностный слой подложки трансформировался в графитосодержащий композит. Предварительная всесторонняя характеристика данного материала [1] продемонстрировала высокую развитость поверхности, механическую прочность и устойчивость к изгибу, а также структурную и химическую стабильность при воздействии различных растворителей, что говорит о высоком потенциале данных углеродных электродов как базовых для дальнейшей модификации и создания электрохимически активных устройств на их основе.

Подход ионного наслаждания как один из перспективных методов жидкофазного синтеза [2] был применен для модификации гибких полимерных электродов. Исследована возможность синтеза гексацианоферратов цинка, меди и кобальта, в качестве модифицирующего слоя электродов, для чего использовались растворы соответствующих солей металлов в процессе синтеза. Полученные композитные электроды на полимерном носителе были протестированы в качестве катодов для различного типа суперконденсаторов. Значения удельной емкости достигали 230 мФ/см<sup>2</sup> (при плотности тока 0,5 мФ/см<sup>2</sup>). Продемонстрированная комбинация лазерно-индуцированного метода синтеза и ионного наслаждания может быть использована для изготовления других высокоэффективных гибких электродов различного состава и назначения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Rodriguez R.D., Shchadenko S., Murastov G., Lipovka A., Fatkullin M., Petrov I., Tran T.-H., Khalelov A., Saqib M., Villa N.E., Bogoslovskiy V., Wang Y., Hu C.-G., Zinovyev A., Sheng W., Chen J.-J., Amin I., Sheremet E. *Adv. Funct. Mater.*, **2021**, 31, 2008818.
2. Tolstoy V., Kaneva M., Fedotova N., Levshakova S. *Ceram. Int.*, **2020**, 46, 20122-20128.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-29-00758.

# СРАВНЕНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, ОТВЕРЖДАЕМЫХ ПРОМЫШЛЕННО ВЫПУСКАЕМЫМИ АМИННЫМИ ОТВЕРДИТЕЛЯМИ

Ковалев М.В.<sup>1</sup>, Олихова Ю.В.<sup>1</sup>, Горбунова И.Ю.<sup>1</sup>, Костромина Н.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва,  
Россия*

*125047, Россия, г. Москва, Миусская пл., д. 9  
michaelkovalev1805@gmail.com*

От эпоксидных связующих, в частности электротехнического назначения, зачастую требуется способность отверждаться без необходимости в нагреве изделия или склеиваемого соединения [1]. Для отверждения эпоксидных олигомеров при комнатной температуре (в условиях «холодного отверждения») используют алифатические аминные отвердители [2]. Пригодность связующих для обеспечения надежности адгезионных соединений, в первую очередь, оценивается по значениям адгезионной прочности. Актуальность также имеют такие характеристики как краевой угол смачивания, температура стеклования, ударная вязкость, позволяющая оценить надежность kleевого соединения под воздействием ударных нагрузок.

Были исследованы свойства композиций на основе эпоксидной смолы ЭД-20. В качестве отвердителей применяли коммерчески доступные марки: ЭТАЛ 45, ЭТАЛ 45М, М4 и ПО-300, взятые в рекомендованных соотношениях 50, 50, 18 и 70 м.ч. на 100 м.ч. ЭД-20 соответственно. Композиции отверждали при комнатной температуре в течении 14 суток. Продолжительность отверждения выбирали, исходя из данных о содержании гель-фракции композиций, полученных экстрагированием образцов в аппарате Сокслета. Наибольшие скорость и глубина отверждения наблюдались при использовании отвердителя М-4 (содержание гель-фракции составило 98%). Вместе с тем, было установлено, что для этой композиции характерны наиболее высокие остаточные напряжения, которые определяли методом консольной балки, а также наименьшая ударная вязкость по Изоду (1,9 кДж/м<sup>2</sup>).

По значениям температуры стеклования, полученным в результате термомеханических исследований отверженных композиций, можно судить об их деформационной теплостойкости. Температура стеклования возрастила в ряду: ЭТАЛ 45М, М4, ЭТАЛ 45, ПО-300. По данным термомеханического анализа (ТМА) были рассчитаны плотность сшивки и модуль высокоэластичности, которые оказались максимальными при отверждении ЭД-20 отвердителем М-4. Для этой композиции наблюдалось выраженное доотверждение в процессе ТМА.

Прочность kleевых соединений при сдвиге определяли в соответствии с ГОСТ 14759 на полосах стали марки 12Х18Н10Т, соединенных внахлест. Наиболее высокой адгезионной прочностью обладали образцы композиции с отвердителем ПО-300 (значения прочности при сдвиге были выше на 15-40% выше, чем у других эпоксиаминных композиций). Этой композиции присуща наименьшая плотность сшивки, что, по-видимому, обуславливает наименьший уровень остаточных напряжений среди всех исследованных эпоксиаминных композиций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Aradhana R., Mohanty S., Nayak, S. K. *Int. J. Adhes. Adhes.*, **2020**, 99, 102596.
2. Петрова А. П., Малышева Г.В. Клеи, kleевые связующие и kleевые препреги. М.: ВИАМ. 2017. 472 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ЛИНЕЙНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ НА СВОЙСТВА СТРЕТЧ-ПЛЁНОК

Комаев Т.Э., Бокова Е.С.

*Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Москва, Россия  
119071, Россия, г. Москва, ул. Малая Калужская, д. 1  
e-mail: timur.komaev@gmail.com*

Стабилизация ЛПЭНП - ключевой этап производства стретч-плёнок, обеспечивающий сохранение свойств материала при экструзии, эксплуатации и хранении. Неоптимальные рецептуры стабилизации приводят к термоокислительной деградации, снижению прочности, пожелтению плёнок и сокращению срока их службы. Отсутствие системного подхода к выбору комбинаций антиоксидантов, УФ-стабилизаторов и синергистов ограничивает создание материалов для экстремальных условий (высокие или низкие температуры, УФ-излучение).

Цель работы - определить влияние состава и концентрации стабилизирующих добавок в ЛПЭНП на механические, термические и оптические свойства стретч-плёнок.

Для достижения поставленной цели, в работе решены несколько задач: проведен сравнительный анализ эффективности различных антиоксидантов (фенольные, фосфитные) и их комбинаций; исследована роль антиоксидантов и их композиций на основные свойства стретч-плёнок; оценено влияние синергических систем на ключевые характеристики стретч-плёнок.

В качестве объектов исследования использованы марки отечественных ЛПЭНП (производства ПАО «Казаньоргсинтез», ПАО «Нижнекамскнефтехим», ООО «ЗапСибНефтехим»), а также пятислойные стретч-плёнки на их основе, полученные методом плоскощелевой экструзии.

В работе проанализированы основные ингредиенты, применяемые для синтеза (стабилизации) различных марок полиэтиленов, а также их содержание в рецептах. Методами элементного анализа, ИК-спектроскопии, а также термогравиметрического анализа установлено наличие во всех образцах заявленных производителями компонентов стабилизации, при этом, в одной из марок полиэтилена выявлено избыточное содержание стеарата кальция (более 0,08%, норма 0,03%), что привело к появлению шероховатости на функциональной стороне стретч-плёнки и потере её самоадгезии.

Полученные результаты позволили выдвинуть гипотезу о причинах снижения самоадгезии, вследствие возможной конкуренции за миграцию на поверхность плёнок в ходе экструзии аддитивной добавки, вводимой в лицевой слой для придания самоадгезии (сополимер пропилена и этилена марки Vistamaxx) и стеарата кальция. Предположено, что появление шероховатости связано с наличием в поверхностном слое фрагментарных участков с локализацией термостабилизатора, либо образованием поверхностного слоя, полностью состоящего из данного компонента синтеза ЛПЭНП.

Таким образом, установлено, что состав стабилизирующих систем ЛПЭНП напрямую влияет на эксплуатационные свойства стретч-плёнок. Синергический эффект комбинации антиоксидантов, свето- и термостабилизаторов, а также добавок функционального действия может быть достигнут только при строго определённом их соотношении в композициях для синтеза.

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ  
ПОЛИАКРИЛАМИДНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ 1-БУТИЛ-  
3-ВИНИЛ-1Н-ИМИДАЗОЛ-3-ИУМ БРОМИДОМ**

Коробова В.Д., Печникова Н.Л., Агеева Т.А.

*Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия  
153000, Россия, г. Иваново, Шереметьевский проспект, д. 7.  
tageeva@isuct.ru*

Ионогели представляют собой гибридные полимерные соединения, содержащие в своей структуре сшитый полимер и ионную жидкость (ИЖ). Их можно получить за счет физического взаимодействия и химического связывания компонентов. Такие материалы сочетают в себе свойства и ИЖ, и полимеров и могут быть использованы в качестве литий-ионных аккумуляторов, проводящих многофункциональных материалов, датчиков в гибкой электронике [1-3]. Эти характеристики можно изменять за счёт варьирования соотношения исходных компонентов или добавления новых в полимерную матрицу. Исходя из этого, ионогели являются перспективными материалами, которые могут быть использованы в таких отраслях, как электрохимия, биомедицина, сенсорика и др. [3].

В работе получены ионогели на основе акриламида (АА) и 1-бутил-3-винил-1Н-имида-3-иум бромида. Процесс реакции свободнорадикальной полимеризации проводился в инертной среде в деионизированной воде. В качестве сшивающего агента был выбран N, N'-метилен-бис-акриламид (МБА), персульфат калия как инициатор. Синтез ионогелей проводили с различным соотношением исходных компонентов АА : ИЖ от 50 : 1 до 2 : 1, соответственно. При увеличении содержания ИЖ в ионогелях их внешний вид меняется от белого до полупрозрачного. При анализе сорбционных характеристик полученных соединений прослеживается тенденция увеличения степени набухания ионогелей по сравнению с немодифицированным гидрогелем полиакриламида при увеличении содержания 1-бутил-3-винил-1Н-имида-3-иум бромида в соотношении АА : ИЖ. Гель-фракция синтезированных гелей варьируется в пределах 75-80%. Полученные за счет ковалентного связывания ионогели в отличие от физически связанных являются необратимыми, то есть в процессе эксплуатации не будет происходить вытеснение ИЖ из полимерной сетки, что обеспечит стабильность характеристик ионогелей во времени.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Zhao K., Song H., Duan X., Wang Z., Liu J., Ba X. *Polymers*, **2019**, *11*, 444.
2. Alekseeva O., Shibaeva V., Noskov A., Agafonov A. *Coatings*, **2023**, *13*, 1475.
3. Jin L., Ju S., Zhao Y., Xing S., Tang J., He Y., Chen C., Liang G., Zhang J. *RSC Adv.*, **2023**, *13*, 31925-31934.

Работа выполнена финансовой поддержке Госзадания (Проект № FZZW-2023-0009).

## ЭПОКСИДНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ, МОДИФИЦИРОВАННОЕ ЭПОКСИФОСФАЗЕНОМ

Костромина Н.В., Малаховский С.С., Олихова Ю.В., Горбунова И.Ю.

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва,  
125047, Россия, г. Москва, Миусская площадь, д. 9  
kostromina.n.v@muctr.ru*

Эпоксидные связующие являются незаменимыми в электротехнической, химической промышленности, авиастроении, но имеют существенный недостаток – высокую горючность. Повышенным интересом при создании полимерных композиционных материалов с пониженной горючностью пользуются эпоксифосфазеновые смолы, которые не только не снижают механические свойства эпоксидных связующих, но и улучшают их за счет образования трехмерной полимерной сетки, в узлах которой располагаются фосфазеновые циклы [1], [2]. В качестве основы связующего использовался олигомер ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), который модифицировали эпоксифосфазеновой смолой марки РНА-1-50. Смола РНА-1-50 представляет собой равновесную смесь диглицидилового эфира дифенилолпропана и эпоксифосфазенового дианового эпоксидного олигомера. Содержание эпоксидных групп в РНА-1-50 составляет 17-18 %, средняя функциональность фосфазенового компонента – 5. В качестве отвердителя был использован ароматический диамин 4,4'-диаминодифенилметан (ДДМ), производства АО «ХИМЭКС Лимитед». Количество необходимого отвердителя для ЭД-20 и РНА-1-50 определяли в расчете на эпоксидные эквивалентные массы. Установлено, что эпоксидная смола ЭД-20, модифицированная эпоксифосфазеном, характеризуются повышенной ударной вязкостью (A) и температурой стеклования ( $T_g$ ), которую определяли методом динамического механического анализа (табл. 1).

Таблица 1. Свойства исследуемых композиций

Состав композиции	A, кДж/м <sup>2</sup>	T <sub>g</sub> , °C
ЭД-20 (100 масс. ч.) + ДДМ	3,9	170
ЭД-20 (100 масс. ч.) + РНА-1-50 (60 масс. ч.) + ДДМ	10,3	192

Установлено, что введение в состав связующего 60 масс. ч эпоксифосфазена позволяет снизить скорость распространения фронта пламени с 18 мм/с для немодифицированных составов до 2 мм/с. Синергетический эффект атомов фосфора и азота в РНА-1-50 заключается во вспенивании образующегося барьера приграничного слоя (кокса) выделяющимся нейтральным газом N<sub>2</sub>. Такой вспененный слой позволяет эффективно изолировать материал от поступающего тепла пламени и значительно снизит скорость распространения пламени [3], [4]. Введение РНА-1-50 в состав эпоксидной смолы ЭД-20 не снижает технологичность связующего, вязкость всех связующих на основе ЭД-20 практически одинакова в условиях отверждения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Tarasov I.V., Oboishchikova A.V., Borisov R.S., Kireev V.V., Sirotin I.S. *Polymers*, **2022**, 21, 4547-4569.
2. Kireev V.V., Bilichenko Y.V., Sirotin I.S., Filatov S.N. *Polym. Sci. B*, **2022**, 2, 89-108.
3. Малаховский С.С., Тарасов И.В., Костромина Н.В., Олихова Ю.В., Горбунова И.Ю., Онучин Д.В., Малышева Г.В. *Хим. пром. сегодня*, **2024**, 3, 38-43.
4. Малаховский С.С., Тарасов И.В., Костромина Н.В., Олихова Ю.В., Горбунова И.Ю., Малышева Г.В. *Хим. пром. сегодня*, **2023**, 2, 26-32.

# ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ПОЛИМЕРНОМ КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ, НАПОЛНЕННОМ АНИЗОТРОПНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ.

Крылов А.В., Мещерякова Г. П., Цобкалло Е. С.

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия*

*191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18*

*E-mail: [Antkrylov@gmail.com](mailto:Antkrylov@gmail.com)*

Одним из наиболее перспективных путей решения задачи получения материалов с требуемым комплексом функциональных свойств является создание композиционных материалов. Для создания полимерных материалов с антистатическими, экранирующими, проводящими, теплоотводящими и другими свойствами необходимо повысить их тепло- и электропроводность. С этой целью в полимерную матрицу вводят проводящие частицы, причем во многих случаях наиболее перспективным является использование углеродных наполнителей. К решению проблемы создания полимерных композиционных материалов (ПКМ) с требуемыми свойствами существует нескольких подходов: экспериментальный; аналитический, состоящий в моделировании с использованием известных закономерностей физических свойств материалов; цифровое моделирование с использованием современных программных пакетов. Последний подход и был использован в настоящей работе. В программном пакете COMSOL Multiphysics построена геометрическая цифровая модель ПКМ, полученного на основе полимерной термопластичной полипропиленовой матрицы (ПП) и анизотропных углеродных нановолокон (УНВ). Выбор обусловлен наличием большого числа полученных нами экспериментальных результатов по измерению коэффициента теплопроводности для этого композита. Процесс моделирования явления теплопереноса в среде Comsol Multiphysics состоял из следующих этапов: создание геометрической модели; соотнесение компонентам ПКМ требуемых физических свойств ПП и УНВ (для нашей задачи - плотности, коэффициента теплопроводности удельной теплоемкости); моделирование процесса теплопроводности с использованием уравнения теплопроводности; определение связи между объектами и граничных условий; численное решение системы уравнений методом конечных элементов; интерпретация полученных результатов и их визуализация. В настоящей работе определение коэффициента теплопроводности ПКМ осуществлялось путем численного решения методом конечных элементов классического уравнения теплопроводности. На основании цифровой модели ПКМ при 5% массовой концентрации наполнителя УНВ выполнен расчет коэффициента теплопроводности данного материала. Показано что результат, полученный на основе представленной и используемой в данной работе цифровой модели согласуется с экспериментальными данными. Отмечено, что точность полученных на основе представленной модели значений теплопроводности может быть повышена путём увеличения числа рассматриваемых и рассчитываемых фрагментов.

# МАТРИЧНО-СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ ГЕТЕРОМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НАНОЧАСТИЦЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ В СОПРЯЖЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ТВЕРДОФАЗНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ И КОНТРОЛИРУЕМОГО ТЕРМОЛИЗА

Кугабаева Г.Д.<sup>1,2</sup> Букичев Ю.С.<sup>1</sup> Голубева Н.Д.<sup>1</sup> Кыдralиева К.А.<sup>2</sup>,  
Джардимилиева Г.И.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, Черноголовка, Россия 142432, Россия, г. Черноголовка, просп. Академика Семенова, д. 1.

<sup>2</sup>Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), Москва, Россия  
E-mail: kugabaeva@icp.ac.ru

Ранее нами предложен и развит оригинальный метод получения матрично-стабилизированных наночастиц металлов или их оксидов(карбидов) в сопряженном процессе твердофазной полимеризации металлосодержащих мономеров и контролируемого термолиза формирующихся металлополимерных продуктов [1,2].

Частицы наносплавов FeCo и FeNi, инкапсулированные в легированную азотом карбонизированную оболочку (FeCo/C-N и FeNi/C-N), были синтезированы путем термолиза при 400 °C полиакриламидных комплексов, формируемых *in situ* в ходе фронтальной полимеризации сокристаллизатов нитратов Fe(III) и Co(II)/Ni(II) и акриламида. В ходе термолиза полиакриламидных комплексов в самогенерируемой атмосфере ионы Co(II) или Ni(II) и Fe(III) восстанавливаются с образованием частиц наносплавов FeCo и FeNi, в то время как полиакриламид одновременно образует слой углеродной оболочки, легированной азотом. Эта уникальная архитектура обеспечивает высокую химическую и термическую стабильность получаемых нанокомпозитов. Средний размер кристаллитов наночастиц FeCo и FeNi, равномерно инкапсулированных в карбонизированную полимерную матрицу, составляет 10 и 12 нм соответственно. Нанокомпозиты исследованы методами рентгеновской дифракции, атомно-силовой микроскопии, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии. Полученные гетерометаллические нанокомпозиты испытаны в качестве антифрикционных и противоизносных присадок в смазочных маслах [3]. Определены оптимальные концентрации наночастиц, при которых антифрикционные и противоизносные свойства смазки проявляются наилучшим образом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Dzhardimalieva G.I., Uflyand I.E. *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.* **2020**, 30, P. 88–110.
2. Zotti A., Borriello A., Zuppolini S. Antonucci V. Giordano M., Pomogailo A.D., Lesnichaya V.A., Golubeva N.D., Bychkov A.N., Dzhardimalieva G.I. *Eur. Polym. J.* **2015**, 71, P.140–151.
3. Uflyand I.E., Burlakova V.E., Drogan E.G., Zabiyaka I.Y., Kydralieva K.A., Kugabaeva G.D., Dzhardimalieva G.I. *Micromachines* **2022**, 13, 1984.

Работа выполнена по теме Государственного задания (№ гос. регистрации 124013000722-8, 124013000757-0 и 124020800013-7) с использованием оборудования аналитического центра коллективного пользования ФИЦ ПХФ и МХ РАН.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГЕТЕРОГЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Кулиева Л.Э.<sup>1</sup>, Краснопевцева О.В.<sup>2,3</sup>, Андреева Е.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия*

*125047, Россия, г. Москва, Миусская пл., д. 9*

<sup>2</sup> *ФГБУ ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия*

*119071 Россия, г. Москва, Ленинский проспект, дом 33, строение 2*

<sup>3</sup>*ООО «Кологик», Москва, Россия*

*117105, г. Москва, Нагатинский 1-й пр-д, д. 6, стр. 1*

*go@cologic.ru*

Разработка современных композиционных и функциональных материалов связана с использованием современных методов проектирования и наблюдения их надмолекулярной и фазовой структуры. Важное значение приобретает количественное описание пространственного строения микро и макроструктуры тел геометрическими параметрами, позволяет получать достоверные корреляционные зависимости между структурой и свойствами, осуществить выбор оптимального состава и наилучшей технологии производства материалов [1]. Построение соответствующих математических моделей с использованием баз данных (БД) полимерных матриц и дисперсных наполнителей, алгоритмов планирования и управления открывает широкий спектр возможностей для развития технологий новых материалов.

Целью настоящей работы являлась апробация методики моделирования структуры гетерогенных полимерных систем с применением фрактального анализа.

В качестве объектов исследования использовали несколько типов гетерогенных полимерных систем с дисперсными наполнителями. Аморфный диоксид кремния марок Оризосил, полистирол, полизобутилен и высокопористые полимерные материалы из смеси сомономеров стирола и дивинилбензола, и поверхностно-активного вещества сорбитан моноолеата были выбраны в БД для моделирования [2]. Использовали два метода приготовления образцов: путем инициированной радикальной полимеризации дисперсионной среды и при воздействии рентгеновского облучения [3]. Полученные системы были исследованы методом просвечивающей электронной микроскопии. Для описания структуры гетерогенных полимерных материалов использовали методики обработки изображений и программу, основанную на методе «покрытия» с последующим определением параметров фрактальных размерностей [1].

В ходе исследования установлено, что апробированный алгоритм анализа электронно-микроскопических изображений позволяет получать количественную информацию о структуре дисперсных систем, связанные элементов структуры между собой. Полученные характеристики могут использоваться при моделировании материалов с заранее заданными параметрами и селективными свойствами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чалых А.Е., Герасимов В.К., Горшкова О.В., Стоянов О.В. *В журнале Вестник Казанского технологического университета*, **2016**. Т 19, № 18, с. 18-24
2. Краснопевцева О.В., Фирсов А.В., Новиков А.Н., Адаев Р.Б. *В Управление инновациями-2022: Материалы международной научно-практической конференции* **2022**. С. 58-60.
3. Широких С.А., Кулиева Л.Э., Королева М.Ю., Юртов Е.В. *В Коллоид. ж.* **2020**. Т. 82. № 6. С. 771-780.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ЦИНКОСОДЕРЖАЩИМИ МИКРОЧАСТИЦАМИ

Кудрявцева Д. А., Борисов С. В.

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия 400005,  
Россия, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28  
daschakud@yandex.ru*

С момента создания эпоксидные смолы (ЭС) привлекают значительное внимание исследователей и активно применяются в различных отраслях благодаря своим ценным эксплуатационным свойствам и сырьевой доступности. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе ЭС занимают 15 % рынка ПКМ, охватывая строительство, авиацию и транспорт. Несмотря на увеличивающийся спрос на эпоксидные композиционные материалы, вопрос о снижении их горючести остаётся актуальным, так как в отверждённом состоянии кислородный индекс ЭС варьируется от 19 до 20 об. %. В последние годы, для этой цели, широко используются металлсодержащие антипириены, в частности соли, благодаря способности к снижению дымообразования. Как правило, модификаторы данного типа синтезируются в виде мелкодисперсных порошков, добавление которых непосредственно в эпоксидную смолу приводит к их агломерации, осаждению и, как следствие анизотропии свойств полимера.

В связи с этим, целью настоящего исследования является модификация эпоксидных стеклопластиковых композитов цинксодержащими микрочастицами, которые образуются непосредственно в формирующейся полимерной матрице.

Объектами исследования являлись эпоксидированная смола, марки ЭД-20, модифицирующая добавка на основе сернокислого цинка 7-водного и ортофосфорной кислоты, отверждающий агент триэтилентетрамин, активный разбавитель лапроксид 201Б и стеклоткань ЕЕ390.

По результатам ИК-Фурье-спектроскопии выявлена способность разработанной модифицирующей добавки, при отверждении, вступать во взаимодействие с триэтилентетрамином и эпоксидной смолой. При анализе поверхности скола эпоксидных полимеров на сканирующем электронном микроскопе установлено наличие частиц неправильной формы от 3 до 30 мкм, содержащих азот 7.7 % масс фосфор 3.0 % масс и цинк 0.1 % масс. Для изготовления стеклопластиков использовали метод контактно-вакуумного формования и 12 слоёв стеклоткани, отверждение проводили согласно стандартному режиму. Композиты, модифицированные цинксодержащими микрочастицами, обладают повышенными значениями прочности и модуля упругости – до 685 МПа и 25 ГПа, что на 10 % выше, чем у контрольного образца. Кислородный индекс разработанных материалов составляет 25-26 об. %. По результатам испытаний на конусном калориметре отмечено снижение полного тепловыделения при горении на 30 %, при содержании в рецептуре композита Zn и P 0.11 и 0.49 % масс. соответственно. Коэффициент дымообразования, при тепловом потоке 35 кВт/м<sup>2</sup>, составляет 366 м<sup>2</sup>/кг – категория Д2. Также была установлена способность модифицирующей добавки сохранять физико-механические свойства композитов, замедляя климатическое старение в 1,5 раза. Результаты свидетельствуют о том, что разработанные стеклопластики могут быть охарактеризованы как материалы пониженной горючести с высокими прочностными характеристиками.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение научных исследований межрегионального научно-образовательного центра Юга России при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (соглашение № FSUS-2024-0001).

# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СМЕШЕНИЯ И СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПВС И АГАРА НА СВОЙСТВА ИХ КРИОГЕЛЕЙ

Курская Е.А., Исламова Э.А., Афанасьев Е.С., Кононова Е.Г., Подорожко Е.А.

Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмиянова, ИНЭОС РАН  
119991 ГСП-1, Москва В-334, ул. Вавилова, д. 28

Структура и свойства макропористых смешанных криогелей (КГ) на основе поливинилового спирта (ПВС) и агара (АГ) во многом определяются термической предысторией их приготовления. В настоящей работе варьирование физико-химических показателей системы ПВС-АГ осуществляли путем изменения температурно-временных условий и скорости охлаждения водных растворов ПВС и агара.

Процесс образования гидрогелей сопровождается фазовым расслоением системы при температурах ниже 40°C для водного раствора агара и ниже 20°C - для раствора ПВС. В области 20-40°C раствор полимерной смеси является гетерофазной системой, содержащей коллоидные частицы агара и ассоциаты макромолекул ПВС. Скорость охлаждения смешанных растворов полимеров от 40 до 0°C в криокамере варьировали путем изменения установленной в ней температуры. Разная скорость охлаждения растворов до 0°C и последующее их замораживание при отрицательных температурах оказывают влияние на распределение концентраций компонентов в сформированных КГ. Методом НПВО было подтверждено градиентное распределение компонентов в смешанных КГ по толщине образца: в верхней части КГ (по отношению к подложке) находился преимущественно ПВС, в нижней – преимущественно агар. Эффектом неравномерного распределения концентраций компонентов в КГ обусловлено различие в температурах плавления ( $T_{пл}$ ) верхнего, среднего и нижнего слое КГ (рисунок), при этом  $T_{пл}$  среднего слоя, вне зависимости от скорости охлаждения, превышала  $T_{пл}$  соседних слоев, достигая 64°C. Размеры пор смешанных КГ составляли 1-2 микрометров.

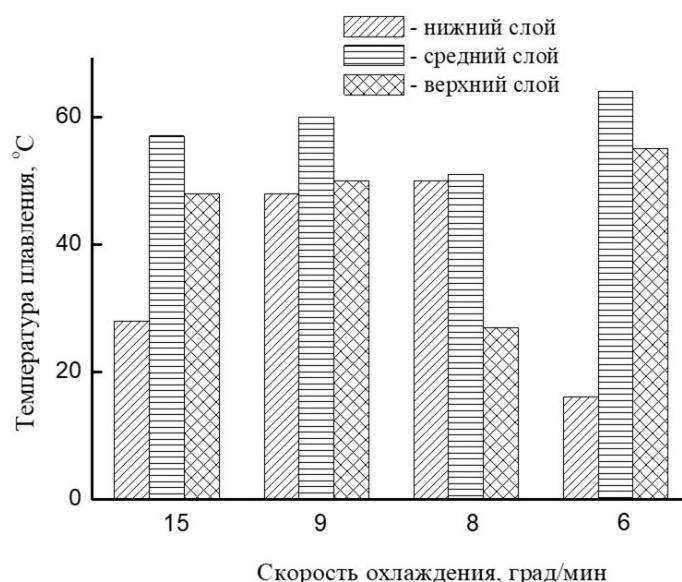


Рисунок. Влияние скорости охлаждения смешанных водных растворов состава 6 мас.% ПВС-0.5 мас.% АГ от 40 до 0°C на температуру плавления слоев криогеля.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Минобрнауки РФ.

## СОЗДАНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА И ДРЕВЕСНОЙ МУКИ

Лаздин Р.Ю., Кулиш Е.И.

*Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия  
450076, Россия, г. Уфа, Заки Валиди, д. 32  
onlyalena@mail.ru*

Полиэтилен и полипропилен занимают 54 % в общем объеме мирового производства полимеров и являются основой для производства многих композиционных материалов. Модификация исследуемых полиолефинов путем их физического смешения с различными наполнителями представляется наиболее простым и низкозатратным способом создания новых материалов. Получение композиций на основе отходов этих полимеров, наполненных компонентами растительного происхождения, позволит создавать материалы с повышенной способностью к биоразложению в условиях окружающей среды и одновременно решить проблему отходов синтетических полимеров. К сожалению, наполнение этих термопластов компонентами растительного происхождения может вызвать определенные реологические проблемы, связанные с неспособностью наполнителя переходить в вязкотекучее состояние. Целью данной работы стало изучение реологических свойств полимерной композиции на основе вторичного полиэтилена и наполнителя растительного происхождения – древесной муки.

В качестве объекта исследования выбраны отходы производства полиэтилена низкого давления марки ПЭНД 273-83. В качестве была использована древесная мука марки 180 «хвоя». Количество наполнителя варьировалось от 2 до 50% масс. Моделирование процесса переработки полимерных материалов осуществляли в расплаве на лабораторной станции (пластограф) "PlastographEC" (Brabender, Германия) в течение 15 мин при нагрузке 200 Н. Количество загружаемого полимерного композита составляло 25 г. Реологические измерения проводили на модульном динамическом реометре Haake MarsIII в режиме осцилляции в диапазоне частот осцилляции от 0.01 до 100 герц.

Полученные в ходе исследования результаты однозначно показывают, что введение наполнителя приводит к существенному увеличению динамической вязкости полиэтилена. Наиболее существенный прирост вязкости имеет место при превышении содержания наполнителя более 30% мас. При этом, чем больше наполнителя содержит композиция, тем сильнее выражена аномалия вязкости. Об этом говорят отклонения тангенса угла наклона в зависимости динамической вязкости от частоты, определенной в логарифмических координатах. Кроме того, по мере увеличения содержания наполнителя в системе не только увеличиваются вязкие свойства композиции, но и ее упругие характеристики. Этот вывод может быть сделан на основании зависимостей модулей накоплений и потерь от частоты осцилляции. Установлено, что по мере наполнения полимера наполнителем, происходит закономерное увеличение модуля накоплений, резкий рост которых наблюдался при превышении содержания наполнителя в композиции более 30%.

Таким образом, поскольку наиболее интенсивный рост динамической вязкости и упругих свойств композиции имеет место при превышении содержания древесной муки более 30%, при получении композитов рекомендуется не превышать содержание наполнителя более этого значения для предотвращения проблем, связанных с перерабатываемостью материала.

## ВЛИЯНИЕ ПИГМЕНТ-НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ВОДНО-ДИСПЕРСИОННОЙ АКРИЛАТНОЙ КРАСКИ

Ларина Ю.Н., Чуркина М.М., Морозова А.М., Лялякин Д.А.

*Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия  
153000, Россия, г. Иваново, Шереметевский пр., д. 7  
ynlarina@inbox.ru*

В настоящее время диоксид титана широко используется в качестве эффективного пигмента для придания белизны и укрывистости лакокрасочным материалам (ЛКМ) за счет высокого коэффициента преломления (2,7) и эффективного светорассеяния. Однако его высокая стоимость, токсичность и энергоемкость производства, санкции и сокращение импорта из недружественных стран, подчеркивают необходимость поиска альтернативных белых пигментов. Это позволит производителям снизить риски, связанные с перебоями в поставках, укрепить позиции российского сырьевого рынка и снизить себестоимость продукции [1].

В качестве перспективной частичной замены диоксида титана в водно-дисперсионной акриловой краске (ВД-АК) были предложены пигмент-наполнители омикарб, мибари и ПК-пигмент. Их выбор обусловлен природой, особенностью строения, доступностью, экологичностью и сравнительно низкой себестоимостью. Их введение в ЛКМ осуществлялось посредством водно-дисперсионной пигментной пасты (ВДПП), где содержание наполнителя изменялось от 5 до 30%. В базовой рецептуре содержание диоксида титана в ВДПП составляет 70%.

Результаты исследований показали, что с увеличением доли наполнителя в ВД-АК значения МДНВ и pH незначительно увеличиваются, как и отклонение цвета покрытия. Однако, максимальная величина  $\Delta E2000$  составляет 0.74, таким образом разбеливающая способность не будет визуально определяться.

Увеличение доли наполнителя от 5 до 30% приводит к скачкообразному изменению вязкости ВД-АК в диапазоне от 31 до 33 кПа·с, что допустимо по ТУ на данный вид ЛКМ. Показатель укрывистости увеличивается в присутствии мибари и ПК-пигмента на 8,2% и 31,5% соответственно и снижается на 7,6% в присутствии омикарба (30% масс.) по сравнению с базовой рецептурой, что указывает о снижении расхода ЛКМ. Следует также отметить, что с увеличением содержания омикарба и мибари в рецептуре наблюдается тенденция к улучшению укрывистости, в отличие от ПК-пигмента, что скорее всего обусловлено особенностью строения цеолитного ядра. Ввиду этого степень перетира ЛКМ также будет завышена по сравнению с использованием природных наполнителей. К недостаткам использования ПК-пигмента можно отнести низкую стабильность ЛКМ во времени.

Установлена, что природа и количество наполнителя, вводимого в ВД-АК не оказывает влияния на время высыхания, адгезию и стойкость покрытия к статическому воздействию воды, показатели аналогичны базовой краске.

Сравнение свойств ВД-АК с различными наполнителями и покрытий на его основе показали, что возможна альтернативная замена диоксида титана на омикарб в количестве 30% при этом наблюдается сохранение технологических и эксплуатационных характеристик, а также снижение расхода материала.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Павлуненко Л.Е., Губа Л.Н. *Строительство и техногенная безопасность*, 2013, 46, 56-62.

## ОЦЕНКА КОНФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ОЛИГОМЕРНЫХ ГИАЛУРОНАНОВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

Ли Е.Г., Жаворонок Е.С.

*МИРЭА – Российский технологический университет,*

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова,*

*Кафедра биотехнологии и промышленной фармации, Москва, Россия*

*119571, ЦФО, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 86*

*li.ekga@yandex.ru*

Гиалуронаны (ГН) представляют собой класс несульфатированных гликозаминогликанов, мономерное звено которых состоит из двух дисахаридных звеньев – D-глюкуроновой кислоты и N-ацетил-D-глюкозаминогликана. Гиалуронаны нашли широкое применение в медицине и биотехнологии благодаря своим уникальным свойствам, а их химическая модификация позволяет создавать биоматериалы с заданными характеристиками. Исследование конформационного поведения гиалуронанов необходимо для понимания доступности их функциональных групп при химической модификации.

В рамках данной работы методом динамической сканирующей флуориметрии (ДСФ) были проанализированы олигомерные образцы ГН в условиях температурного воздействия.

**Цель исследования:** изучение конформационного поведения олигомерных ГН, а именно – доступности концевого звена N-ацетил-D-глюкозаминогликана после его модификации с помощью флуоресцентной метки (антраниловой кислоты) методом ДСФ.

**Основные объекты исследования:** олигомерные гиалуронаны с ММ 11.2, 20.2 и 50.0 кДа, производства компании Xi'an Lyphar Biotech, Китай (содержание основного вещества более 97.5%).

Исследование конформационной стабильности ГН в водном растворе проводили методом ДСФ с помощью комплексной платформы UNcle (Ucnhained Labs, Великобритания) в динамическом режиме в температурном диапазоне от 25 до 90°C со скоростью нагрева 1°C/мин при времени термостатирования 120 с.

Для проведения исследования во флуориметрическом режиме образцы ГН были модифицированы посредством восстановительного аминирования с использованием флуоресцентного красителя – антраниловой кислоты (2-АА) в присутствии диметилсульфоксида и ледяной уксусной кислоты. Определение связи метки 2-АА и ГН проводили методами спектрофлуориметрии с помощью прибора Agilent Cary Eclipse (Agilent Technologies, USA) и гидрофильной ВЭЖХ с помощью системы Alliance 2695/e2695 (Waters, USA) с флуориметрическим детектором.

В рамках проведенной работы методами спектрофлуориметрии и гидрофильной ВЭЖХ доказана связь между ГН и флуоресцентной меткой. В частности, на хроматографических профилях установлены два основных повторяющихся характеристических пика, относящиеся к моносахаридным звеньям ГН. Данные пики представляют собой два гомологичных пика, отличающиеся друг от друга одним мономерным звеном, о чем свидетельствуют изменения во времени их удерживания. Последующие исследования методом ДСФ позволили оценить конформационное поведение олигомерных образцов гиалуронанов в диапазоне температур от 25 до 90°C и установить отсутствие критических изменений в нем.

# МОДИФИКАЦИЯ ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ ФОСФАТАМИ МЕДИ ДЛЯ ПРИДАНИЯ ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ

Любибогов А.А., Борисов С.В.

*Волгоградский государственный технический университет*

В настоящее время широко распространены и используются в различных областях полимерные композиционные материалы на основе эпоксидных олигомеров, но в большинстве случаев эти материалы хорошо поддерживают горение. Для придания им пожаробезопасных свойств используются связующие, содержащие галогены, а также галоген- и фосфорсодержащие антипириены. Недостатком антипириенов на основе галогенов является, что при горении выделяются токсичные вещества, опасные для здоровья человека. Для предотвращения данного эффекта используются фосфатные соединения металлов, в частности меди. Из литературы известно, что металлическая медь проявляет ингибирующий эффект радикальных процессов при горении в конденсированной фазе.

В связи с этим, целью данного исследования стала разработка связующего на основе эпоксидных олигомеров, модифицированных фосфатами меди, имеющих пониженную горючесть.

В качестве модификатора использовались растворы гидрофосфата меди в фосфорной кислоте. Содержание модификатора варьировалось от 0,25 до 8,0 % масс. по отношению к связующему, включающему смолу ЭД-20 и триэтилентетрамин. Установлено, что исследуемый модификатор снижает уровень физико-механических характеристик, вероятно за счет формирования структур, образующихся при взаимодействии фосфатов меди с триэтилентетрамином, выявленных нами методами микроскопии. Наилучшими значениями характеризуются образцы, содержащие 1,5 % масс. модификатора – разрушающее напряжение и модуль упругости при статическом изгибе достигают 51 МПа и 3,9 ГПа соответственно. Значение кислородного индекса достигает при этом 25,1 % об. Для повышения значений кислородного индекса необходимо увеличение содержания модификатора, которое было достигнуто путем использования его в качестве отвердителя без триэтилентетрамина. Полученный полимерный материал достигает значений кислородного индекса до 33,6 % об. При этом, его горение сопровождается высоким интумесцентным эффектом: коэффициент вспучивания превышает 75. Уровень физико-механических характеристик данной серии образцов значительно выше, разрушающее напряжение и модуль упругости при статическом изгибе достигают 96,9 МПа и 2,71 ГПа соответственно. Разработанные связующие могут быть использованы для получения полимерных композиционных материалов методом прямого прессования.

Работа выполнена при финансировании Минобрнауки России в рамках Г3 FZUS-2024-0001.

# ДИСПЕРСНОАРМИРОВАННЫЕ СТЕКЛОПЛАСТИКИ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЩЕЛОЧНЫМ АЛКОГОЛИЗОМ

ЛюхоИ.А.<sup>1</sup>, Проценко А.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Россия  
681013, Россия, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина, д. 27.  
keltani@mail.ru

Отходы полимерных композиционных материалов (ПКМ) образуются в результате производственных операций (резка, фрезеровка и др.), а также в результате естественной деградации и износа изделий ПКМ, что в свою очередь оказывает негативное влияние на экологию. Решение проблемы утилизации ПКМ является актуальной задачей.

В работе представлена методика сольволиза [1] стеклопластика на основе эпоксидного связующего Sicomin SR8100/SD8824 и стеклоткани 1250-T30-290 (Umatex) в среде этилового спирта в присутствии NaOH в качестве катализатора. Параметры эксперимента: температура 250 °C, время нахождения в реакционном пространстве варьировалось от 2 до 7 часов, концентрация щелочи варьировалась от 0 до 0,4  $\frac{\text{г NaOH}}{\text{г ПКМ}}$ .

В ходе работы установлены зависимости степени удаления матрицы от времени процесса и концентрации щелочи по данным термогравиметрии. По результатам исследования разрывной нагрузки восстановленного волокна установлено ухудшение свойств при повышении концентрации щелочи. При превышении содержания NaOH выше 0,25  $\frac{\text{г}}{\text{г ПКМ}}$  прочностные свойства волокон ухудшались на 75 %. При концентрации щелочи 0,4  $\frac{\text{г}}{\text{г ПКМ}}$  остаточная прочность составляла 10 %.

Извлеченное волокно измельчали в барабанной шаровой мельнице до фракции размером 0,4 мм. Полученный порошок спешивали с эпоксидным связующим Sicomin SR8100/SD8824 с целью получения стеклопластиков. Содержание дисперсного наполнителя варьировалось от 10 до 60 %. Прочность на изгиб полученных дисперсноармированных пластиков снижалась на 36 % при увеличении доли измельченного стекловолокна до 50 %. При этом прочность на сжатие возросла до 64,3 МПа при содержании наполнителя 30 %, после чего снижалась до 52,3 МПа при достижении 50 % содержания наполнителя. Прочность на сжатие ненаполненной эпоксидной матрицы составила с 43,5 МПа. [2]

Таким образом, посредством щелочного сольволиза возможно извлекать армирующий наполнитель из отработанных стеклопластиков. Извлеченные волокна частично сохраняют свои свойства и могут быть повторно использованы в качестве дисперсного наполнителя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Проценко А.Е., Петров В.В., Проценко А.Н., ЛюхоИ.А. *Ползуновский вестник*, 2023, № 2, 192-200.
2. Проценко А.Е., ЛюхоИ.А. *Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению*. 2023, 41-43.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-79-01137,  
<https://rscf.ru/en/project/23-79-01137/>.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ КОЖ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

Маринин Д.Д.<sup>1</sup>, Бокова Е.С.<sup>1</sup>, Константинова Н.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Москва, Россия  
119071, Россия, г. Москва, ул. Малая Калужская, д. 1*

<sup>2</sup> *ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт  
противопожарной обороны МЧС России», Балашиха, Россия  
143903, Россия, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12  
daniil.marinin.00@gmail.com*

Разработка материалов с пониженной пожароопасностью представляет собой комплексную научно-техническую задачу, особенно актуальную для многослойных полимерных материалов, в частности, искусственной кожи (ИК) на основе поливинилхлорида (ПВХ).

Одновременное снижение горючести, интенсивности дымообразования и выделения токсичных веществ требует применения различных, зачастую противоречивых подходов. Введение антипиренов, пластификаторов пониженной горючести и интумесцентных систем эффективно снижает пожарную опасность, однако потенциально ухудшает другие эксплуатационные характеристики и увеличивает стоимость, особенно в тонкослойных материалах.

Для достижения оптимального баланса свойств необходимо комплексное решение, включающее оптимизацию состава полимерных композиций и обоснованную корректировку нормативных требований. Соответствие Федеральному закону № 123 "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" и другим нормативным документам, таким как СП 384.1325800.2018 (Проектирование строительных тентовых конструкций), ГОСТ 30244 (Горючесть), ГОСТ 30402 (Воспламеняемость), ГОСТ Р 51032 (Распространение пламени), ГОСТ 12.1.044 (Дымообразование и токсичность продуктов горения), а также Правилам противопожарного режима в Российской Федерации, критически важно для обеспечения безопасности и функциональности разрабатываемых материалов в различных областях применения (транспорт, реклама, строительные тентовые конструкции).

В качестве объектов исследования выбраны образцы пожаробезопасной ИК на основе пластифицированного ПВХ для производства тентов и баннеров, изготовленные российскими (АО «Ивановоискож», ОАО "Ручайка") и зарубежными (Mehler Texnologies GmbH) компаниями.

Методом дифференциально-сканирующей калориметрии (прибор DSC 3500 Sirius фирмы Netzsclh (Германия)) обнаружено наличие эндотермических пиков, соответствующих испарению пластификаторов с низкой температурой кипения. Термическое разложение пластификаторов, особенно сложных эфиров дикарбоновых кислот, приводит к образованию легковоспламеняющихся летучих продуктов, увеличивающих пожароопасность. Наиболее интенсивный эндотермический пик связан с термическим разложением ПВХ, на который оказывает значительное влияние состав композиции (наличие стабилизаторов и антипиренов). В случае образца производителя ОАО "Ручайка" наблюдается экзотермическая окислительная деструкция. При этом у тентовых материалов термическая стабильность выше, чем у баннеров.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ ПЛЕНОЧНЫХ СИСТЕМ «ДИПЛЕН-ДЕНТА»

Медведева Д.А.<sup>1</sup>, Полетаева А.Н.<sup>1</sup>, Бокова Е.С.<sup>1</sup>, Олтаржевская Н.Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия*

*115035, Россия, г. Москва, ул. Садовническая, д. 33, стр. 1*

<sup>2</sup>*ООО «Колетекс»*

*115093, Россия, г. Москва, ул. Павловская, д. 21*

*darinainf.00@gmail.com*

Аппликационные лекарственные формы (АЛФ) представляют собой фармацевтические системы, предназначенные для локального воздействия на кожу, слизистые оболочки или раневые участки. Основное их преимущество заключается в целенаправленном действии на очаг поражения, что позволяет уменьшить системную нагрузку и риск побочных эффектов. Эти формы включают мази, кремы, гели, растворы и пленочные системы, каждая из которых обладает особыми физико-химическими свойствами, определяющими их фармакинетику и фармадинамику.

Процесс аппликации реализует медикаментозное пролонгированное и контролируемое высвобождение препаратов через фиксацию носителя на биологических поверхностях, обеспечивая локальное или системное действие путем абсорбции действующих веществ.

Эффективность АЛФ зависит не только от активности действующих веществ, но и от состава носителя, который важен для селективного и безопасного введения. Особое внимание заслуживают пленочные материалы, чья тонкая структура обеспечивает широкий контакт с биологическими поверхностями и защитную функцию. Применение пленочных систем распространено в стоматологии, где они помогают в лечении заболеваний, таких как пародонтит или гингивит, а также обеспечивают защиту после хирургических вмешательств [1].

Современные пленочные системы часто создаются из биосовместимых полимеров. Их композиционный состав позволяет регулировать высвобождение действующих веществ, что делает лечение более эффективным и комфортным для пациента. Однако большинство таких продуктов на российском рынке импортного производства. Примером продуктов Российского производства является линейка пленок "Диплен-Дента", содержащих разнообразные активные вещества для местного применения.

Цель работы – идентификация состава аппликационных пленок "Диплен-Дента" методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

В качестве объектов исследования использовали образцы, содержащие биглюконат хлоргексидина и метронидазол. Результаты показали наличие в пленках нескольких эндотермических пиков, что указывает на композиционный состав продукции, включающей поливинилпирролидон, поливиниловый спирт, полиэтиленгликоль, а также полиэтилентерефталат.

Полученные данные носят предварительный характер и требуют дальнейшего уточнения с применением более точных методов анализа.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Rokaya D. et al. *Journal of advanced research*, **2018**, 14, 25-34.

# АНГИДРИДСОДЕРЖАЩИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МОДИФИКАТОРЫ, ПОВЫШАЮЩИЕ АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ СИСТЕМ К СЛАБОПОЛЯРНЫМ СУБСТРАТАМ

Мелехина В.Я.<sup>1</sup>, Безруков Н.П.<sup>1</sup>, Власова А.В.<sup>1</sup>, Макарова В.В.<sup>1</sup>, Романов А.Н.<sup>2</sup>,  
Моронцев А.А.<sup>1</sup>, Бермешев М.В.<sup>1</sup>, Антонов С.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиеva РАН, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, 29

<sup>2</sup> МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), Москва, Россия  
119454, Россия, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78  
bezrukov@ips.ac.ru

Эпоксидные материалы, такие как связующие, клеи и герметики, пользуются все большей популярностью благодаря своим преимуществам: низкой усадке, хорошей адгезии к полярным поверхностям и высокой прочности. Однако у эпоксидных систем есть и некоторые недостатки, такие как низкая трещиностойкость и плохие ударные характеристики. Ещё один немаловажный минус эпоксидных систем - невысокая адгезионная прочность к слабополярным и неполярным поверхностям. Для решения этих проблем часто используются различные модификаторы. Но даже с их помощью не всегда удается добиться удовлетворительных свойств композиций, особенно когда речь идет об адгезии к слабополярным поверхностям. В данной работе рассматривается использование в качестве многофункционального модификатора эпоксидных систем реакционноспособного полимера, способного вовлекаться в процесс отверждения.

В качестве модификатора эпоксидных систем на основе эпоксидного олигомера DER-330 (Dow Chemical, США) был использован специально синтезированный поли(ангидридом норборнен-2,3-дикарбоновой кислоты) (поли(НДА), ИНХС РАН, Россия) различной молекулярной массы. В качестве основного отвердителя был взят изометилтетрагидрофталевый ангидрид (ИМТГФА), роль ускорителя отверждения выполнял 2-метилимидазол (оба - Химэкс Лимитед, Россия). Адгезионную прочность при сдвиге к металлу и полиамиду, прочность при трехточечном изгибе определяли на универсальной машине И1140М (Россия). Ударную вязкость определяли на маятниковом копре КМО-2 (Россия). Температуру стеклования отверженных образцов определяли на калориметре 2920 MDSC (США) и на ротационном реометре DHR-2 (США) с единым консольным блоком для динамического механического анализа. Для характеристики структуры и морфологии отверженных образцов был использован метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

В процессе работы была произведена замена части ИМТГФА, который является основным отвердителем, на поли(НДА) с различной молекулярной массой. Это позволило снизить тепловой эффект и температуру максимальной скорости отверждения эпоксидного олигомера по сравнению с немодифицированной системой. Введение данного модификатора привело к улучшению прочностных свойств при изгибе в 2 раза, ударной вязкости в 2-3 раза, адгезионной прочности при сдвиге к металлу с 12 до 18 МПа и к полиамиду в 4 раза по сравнению с немодифицированной системой. Участие модификатора в реакции отверждения позволило предотвратить формирование крупных частиц при фазовом расслоении и сохранить оптическую прозрачность отверженных образцов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-73-00330, <https://rscf.ru/project/24-73-00330/>.

## СОЗДАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА *BOMBYX Mori*

Милушева Р.Ю., Рашидова С.Ш.

*Институт химии и физики полимеров АН РУз, Ташкент, Узбекистан  
100128, Узбекистан, Ташкент, ул. А.Кадыри, д. 7 б  
rumilusheva@gmail.com*

Одним из перспективных направлений биомедицинского материаловедения является решение проблемы биосовместимости имплантатов за счет повышения физико-механических и биологических характеристик медицинских материалов. Наиболее распространенным методом повышения функциональных свойств имплантатов является модификация поверхности материала их основы. Показано, что такими веществами могут быть ионы фосфата, кальция, меди, золота, никеля, а также макроионы – биоактивные полимеры, в частности, хитозан, фибронин и др. [1-3].

В данном исследовании представлен метод электролитического осаждения биоактивного покрытия хитозана и трикальцийфосфата (ТКФ) и на титановые имплантаты с целью повышения их биосовместимости. С целью изучения надежности биоактивного слоя были подобраны оптимальные концентрации для электролитического осаждения хитозана на титановой пластине, растворением хитозана в 2% -ной уксусной кислоте, который затем добавляли в перенасыщенный раствор ТКФ. Оптимальная температура осаждения хитозанового покрытия составила 52°C в течение 15 часов в перенасыщенном буферном растворе с pH= 6,6 и током 2,0 мА / см<sup>2</sup>. Подобранные оптимальные параметры осаждения обеспечили формирование равномерного и стабильного покрытия. Покрытие исследовано на сканирующем микроскопе EVO MA10, фирмы ZEISS (Германия). Спектральный анализ хитозановой пленки позволил установить появление углерода в количестве - 9,9 %, что свидетельствует о присутствии полимера хитозана на данном покрытии, и зафиксировал присутствие кальция - Ca, фосфора - P и кислорода - O, что также подтверждает формирование комбинированного покрытия Х3-ТКФ.

Большое значение придается роли хитозана в процессах обмена веществ в костной ткани, а также в лечении остеопорозов разной этиологии. Проведены исследования по влиянию хитозана *Bombyx mori* и его модифицированной формы на формирование костной ткани и оценке морфологических характеристик. В качестве модифицированных форм хитозана использовали хитозан с активным кальцием в соотношении 1:1 и хитозан с кальций Д3 Никомед в соотношении 1:1. Морфологические показатели свидетельствуют, что применение комбинированных препаратов: хитозан+ активный кальций и хитозан+ кальций Д3 Никомед способствуют быстрой нормализации структуры костной ткани, устранивая признаки остеопороза и сокращая сроки лечения и реабилитации. Эти результаты подчеркивают потенциал хитозана в качестве терапевтического средства для лечения остеопороза.

Авторы выражают благодарность сотрудникам стоматологического Института и сотрудникам кафедры травматологии Ташкентской медицинской Академии за проведение медико-биологических исследований

### ЛИТЕРАТУРА

1. Chang P. C. *Clin. Oral Implants Res*, **2010**, 21 (1), 1–12.
2. Variola F. *Nanoscale*, **2011**, 3(2), 335–353.
3. Gaifullin N. M. *European Journal of Molecular Biotechnology*, **2013**, 1 (1), 11–14
4. Новочадов В. В. *Российский медико-биологический вестник им. академика И. П. Павлова*, **2013**, 2, 30–35.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Минзанова С.Т., Чекунков Е.В., Миронова Л.Г., Губайдуллин А.Т., Смоленцев А.В., Безкишко И.А., Милюков В.А.

Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, Россия  
420088, Россия, г. Казань, ул. Академика Арбузова, д. 8.  
minzanova@iopc.ru

В настоящем исследовании из свекловичного жома – многотоннажного отхода свеклосахарной промышленности – была выделена микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ). Благодаря уникальным физико-химическим свойствам МКЦ востребована в различных областях промышленности (фармацевтическая, строительная и др.).

Химической обработкой депектинизированной (роторно-пульсационный аппарат, 0.1М HCl) массы свекловичного жома, включающей щелочную обработку сырья, кислотный гидролиз и отбеливание, был получен целевой продукт и охарактеризован современными физико-химическими методами (ИК спектроскопия, порошковая рентгеновская дифракция, ТГА/ДСК). Экспериментальные дифрактограммы измельченных гранул свекловичного жома (1) и полученного образца МКЦ (2) приведены на рис. 1.

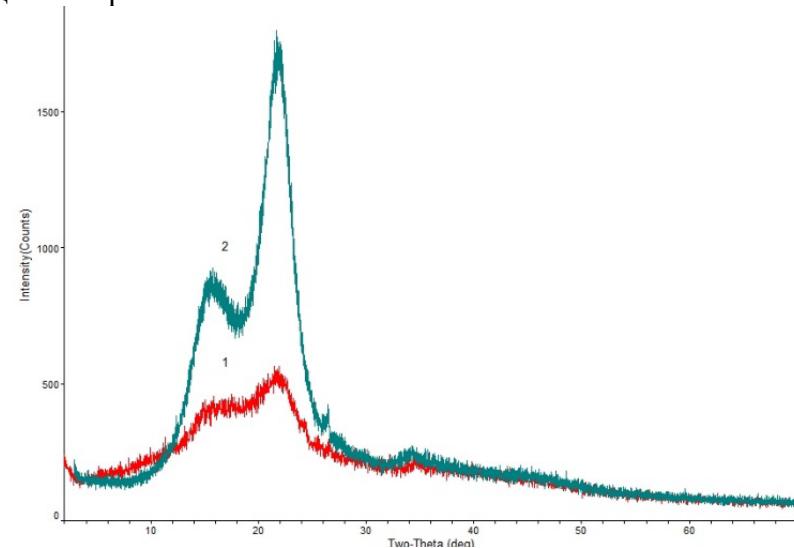


Рисунок 1. Дифракционные пики свекловичного жома (1) и выделенной МКЦ (2)

Показано (рис. 1), что образец (2) демонстрирует два дифракционных пика кристаллической фазы с максимумами в области углов  $2\theta$   $16^\circ$  и  $22^\circ$ , характерных для МКЦ [1]. Для необработанного сырья (1) дифракционный пик при  $22^\circ$  достаточно широкий, при  $16^\circ$  недостаточно четко выражен, что указывает на его низкую степень кристалличности, в отличие от полученного химической обработкой образца МКЦ. Результаты подтверждают перспективность утилизации свекловичного жома для получения МКЦ, особенно для регионов с развитой свеклосахарной промышленностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Mahmoud, Y., Safidine, Z., Belhaneche-Bensemra, N., *J. Serb. Chem. Soc.*, **2021**, 86, 521–532. <https://doi.org/10.2298/jsc200806011m>.

# ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СУПЕРКОНСТРУКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ПОСЛЕ ДЕЗИНФЕКЦИИ И СТЕРИЛИЗАЦИИ

И.Н. Мусин, И.В. Волков, М.С. Лисаневич

*ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»*

Медицинские изделия на основе суперконструкционных полимеров (СКП), в основном, многократного применения. Высокая механическая прочность, термо- и химическая стабильность в агрессивных условиях стерилизации суперконструкционных полимеров обуславливает их широкое применение.

При выборе суперконструкционного полимера для производства медицинского изделия выбранного класса риска важным аспектом является устойчивость к очистке, повторной дезинфекции и стерилизации изделий.

Разработка методики оценки свойств для новых марок отечественных суперконструкционных полимеров является актуальной задачей. Это позволяет обеспечить подготовку регистрационного досье и расширение номенклатуры медицинских изделий из отечественных полимеров.

На базе ФГБОУ ВО КНИТУ проводятся исследования поведения зарубежных и отечественных полифениленсульфонов в условиях, моделирующих реальные условия медицинских учреждений.

В качестве сред для тестирования для длительной экспозиции образцов выбраны водные растворы перекиси водорода (4%), гипохлорита натрия (0,5%), Аламинола (8%) или аналога, Глутарала или аналога, Велтолена (5%) или аналога. Режимы дезинфекции повторяют режимы при обработке реальных медицинских изделий. В динамике будет оценивается момент существенного снижения функциональных свойств материала.

Реализуемый подход позволяет прогнозировать жизненный цикл медицинских изделий из суперконструкционных полимеров и востребованы как у производителей, так и у потребителей данных полимеров.

# СНИЖЕНИЕ РАЗМЕРА ПОР МЕМБРАН ИЗ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА ПУТЁМ ВВЕДЕНИЯ В ФОРМОВОЧНЫЙ РАСТВОР 1,4-ДИОКСАНА

Небесская А.П.<sup>1</sup>, Шворобей Ю.В.<sup>1</sup>, Баско А.В.<sup>2</sup>, Почивалов К.В.<sup>2</sup>, Юшкин А.А.<sup>1</sup>, Волков А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиеva Российской академии наук,  
Москва, Россия

119991, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 29.

<sup>2</sup> Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, Иваново,  
Россия

153045, Россия, г. Иваново, ул. Академическая, д. 1.

*nebesskaya@ips.ac.ru*

В настоящее время, активно исследуется возможность применения баромембранных технологий в нефтяной промышленности. В частности, существует ряд задач, таких как выделение катализаторов нефтехимического синтеза или асфальтенов из нефти и нефтепродуктов, которые требуют разработки и использования ультрафильтрационных мембран с величиной молекулярного веса отсечения (molecular weight cut-off – MWCO) в диапазоне 1000-3000 г/моль. Данный диапазон относится к области наиболее плотных ультрафильтрационных мембран. В качестве мембранных материалов для задач в нефтехимии наиболее подходящим является полиакрилонитрил (ПАН), который отличается высокой стабильностью в органических растворителях, в том числе углеводородах. Однако получение мембран с величиной MWCO ниже 5000 г/моль из ПАН весьма затруднительно [1]. В связи с этим для получения ПАН мембран, пригодных для отделения молекул с меньшим молекулярным весом, требуется дополнительная модификация мембран, направленная на уменьшение размера пор. Такая модификация обычно требует использования токсичных соединений и отжига мембран при высокой температуре в течение нескольких часов, что технологически затруднительно в условиях промышленного производства. Большой технологической привлекательностью отличается направление уменьшения размера пор путём введения в формовочный раствор легколетучего сорастворителя, причем характеристики получаемых ПАН мембран, как известно [1,2], зависят от выбранного сорастворителя. В связи с этим, в данной работе проведено исследование влияния 1,4-диоксана, как сорастворителя на свойства мембран из ПАН. Показано, что 1,4-диоксан по отношению к ПАН является мягким осадителем, как и ацетон, добавление которого в формовочный раствор позволило уменьшить MWCO от 58 до 1,8 кДа [1]. В ходе работы установлена предельная концентрация 1,4-диоксана в смешанном растворителе на основе диметилсульфоксида или N-метилпирролидона (не более 30% масс.), которая обеспечивает получение гомогенного формовочного раствора и, соответственно может быть использована для формирования мембран. В докладе детально обсуждено влияние добавления 1,4-диоксана на вязкость формовочного раствора, размер пор и фильтрационные свойства полученных мембран.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Yushkin A., Basko A., Balynin A. et al. *Polymers*. **2022**. 14(21). 4603.
2. Moghadassi A.R., Bagheripour E., Hosseini S.M. *J. Appl. Polym. Sci.* **2017**. 134(26). 44993.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-29-00851.

# ВЫБОР КАТАЛИЗАТОРОВ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОТВЕРЖДЕНИЯ БЕНЗОКСАЗИНОВЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Никитин В.С.<sup>1</sup>, Андрианова К.А.<sup>1</sup>, Амирова Л.М.<sup>1</sup>, Амиров Р.Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н.Туполева-КАИ, Казань, Россия  
420115, Россия, г. Казань ул. Толстого, д. 15  
<sup>1</sup>Казанский федеральный университет, Казань, Россия  
420008, Россия, г. Казань ул. Кремлевская, д. 18  
rramirov58@mail.ru

В последние годы бензоксазины, как новый класс термореактивных связующих, привлекают большое внимание в связи с наличием у них комплекса ценных свойств. При термическом воздействии бензоксазины могут полимеризоваться с раскрытием оксазолинового кольца при различных условиях в зависимости от заместителей и наличия катализаторов. Существенным недостатком является высокая температура отверждения бензоксазинов, для снижения которой применяются различные подходы. Один из них основан на использовании катализитического эффекта для замещенных бензоксазинов, однако это приводит к снижению температуры стеклования полимеров на их основе. Другой путь ускорения полимеризации бензоксазинов состоит в использовании дополнительно вводимых катализаторов раскрытия кольца. В качестве таких катализаторов могут выступать различные соединения, однако при выборе наиболее подходящего вещества задачу снижения высокой температуры полимеризации бензоксазинов нельзя решить без понимания механизмов отверждения и, особенно, анализа факторов, влияющих на кинетику отверждения и сравнительного анализа эффективности катализатора.

Целью данной работы являлся выбор наиболее эффективных катализаторов и исследование их влияния на процесс отверждения бензоксазиновых композиций. В качестве объектов исследования использовали бензоксазиновое соединение (ВА-а) на основе бисфенола А и анилина (БФАА), синтезированное безрастворным методом. В качестве катализаторов отверждения бензоксазинов был выбран ряд органических кислот различного строения (винная, аминоуксусная, малеиновая и др.). Бензоксазиновую смолу предварительно измельчали и смешивали с катализатором в необходимой пропорции, сплавляли при предварительно выбранной оптимальной температуре, охлаждали и измельчали до получения однородного порошка.

Все экспериментальные данные были получены на дифференциальном сканирующем калориметре 204 F1 Phoenix (Netzsch, Germany), кинетический анализ проводили на основе неизотермических данных ДСК при различных скоростях нагрева с применением программного обеспечения Thermokinetics 3. Выбраны наиболее эффективные катализаторы и их концентрации, позволяющие снизить температуру отверждения исследуемой бензоксазиновой смолы. Оптимизированы технологические режимы процесса отверждения, обеспечивающие получение полимеров с высокой теплостойкостью, пониженной горючестью и высоким коксовым остатком. На основе проведенных исследований предложены составы высокотемпературных порошковых связующих на основе бензоксазинов для получения толстостенных изделий из композиционных материалов.

Работа выполнена за счет средств проекта № FZSM-2023-0018 государственного задания.

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В БИОРАЗЛАГАЕМЫХ КОМПОЗИЦИЯХ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА, ЖЕЛАТИНА И ГЛИЦЕРИНА МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ

Бурханова Н.Ж., Нургалиев И.Н.

*Институт химии и физики полимеров АН РУз, Ташкент, Узбекистан, 100128, г. Ташкент, ул. Абдулла Кадыри, 76  
ilnar82@mail.ru*

Возрастающая потребность в устойчивых материалах для упаковочной и биомедицинской промышленности стимулирует активные исследования гибридных систем на основе биополимеров и синтетических полимеров. Одной из перспективных комбинаций является композиция на основе полиэтилена, модифицированного малеиновым ангидридом (МА-г-ПЭ), желатина и глицерина, которые формируют биоразлагаемые материалы с улучшенными механическими и экологическими характеристиками. Настоящая работа представляет собой теоретическое исследование молекулярных взаимодействий и структурной устойчивости таких композитов с использованием метода функционала плотности (DFT).

В ходе компьютерного моделирования полиэтилен описывался как линейная углеводородная цепь, желатин — как полипептид, состоящий из аминокислот, таких как глицин и пролин, а глицерин — как триол с возможностью образования водородных связей. Результаты DFT-расчётов выявили наличие прочных межмолекулярных взаимодействий, в частности, между амидными группами желатина и сегментами малеинового ангидрида в МА-г-ПЭ, что способствует межфазной адгезии за счёт водородных связей и механизмов переноса заряда. Рассчитанная энергия адсорбции, равная  $-121,3$  кДж/моль, подтверждает термодинамическую стабильность комплекса желатин–МА-г-ПЭ и свидетельствует о граничном характере взаимодействий между физической и химической адсорбцией, что критично для сохранения структурной целостности материала.

Установлено, что глицерин играет ключевую роль в повышении гибкости композита. Выступая в роли пластификатора, глицерин разрушает внутреннюю сеть водородных связей желатина, увеличивая подвижность молекул и снижая хрупкость материала. Кроме того, добавление триглицеридов дополнительно регулирует текучесть и механические свойства композита, способствуя восстановлению термопластичности и формированию мелкодисперсной фазовой структуры. Эти взаимодействия влияют не только на морфологию материала, но и обеспечивают улучшение показателей прочности на разрыв и модуля упругости.

Анализ электронной структуры, включая распределение HOMO и LUMO молекулярных орбиталей, показал выраженный перенос электронов от желатина к МА-г-ПЭ, при этом рассчитанное значение переноса заряда по методу натуральных орбиталей связи составило  $-0,41$  е. Этот результат свидетельствует о наличии динамических электронных взаимодействий, способствующих стабилизации композита на молекулярном уровне. Кроме того, теоретический расчет ИК спектров подтвердил образование межфазных связей путём исчезновения характерных полос, соответствующих малеиновому ангидриду, при его взаимодействии с аминогруппами желатина. Это свидетельствует о протекании реакции раскрытия кольца малеинового ангидрида с образованием поперечных связей в биокомпозите.

# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МИМ ТЕХНОЛОГИИ

Павлов Е. Ю., Кузьмин М.В.

«Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», Чебоксары, Россия  
428015, Россия, г. Чебоксары, Московский пр., д. 19  
[pavlov.pw98@yandex.ru](mailto:pavlov.pw98@yandex.ru)

Технология Metal Injection Molding (MIM) является одним из наиболее перспективных методов производства сложных металлических изделий с высокими требованиями к точности и механическим свойствам [1]. Однако выбор металлических порошков для MIM остается сложной задачей, так как их свойства напрямую влияют на процесс формования, спекания и конечные характеристики изделий. В связи с этим сравнительный анализ металлов для технологии MIM приобретает особую значимость, объединяя научный интерес и практическую ценность.

В данной работе проведен сравнительный анализ металлических порошков, применяемых в MIM, с акцентом на их гранулометрический состав, поведение при спекании, механические и функциональные свойства, а также области применения изделий. Особое внимание уделено нержавеющим сталим, титановым сплавам, вольфраму, мягким магнитным сплавам, инструментальным сталим, суперсплавам и меди. Для анализа были отобраны образцы металлических порошков с различным химическим и гранулометрическим составом. Исследования включали определение размера и формы частиц, анализ условий спекания и измерение механических свойств (твердость, прочность на растяжение, и т. д.) готовых изделий.

Результаты исследования показали, что каждый из исследуемых металлов имеет свои уникальные преимущества и ограничения. Нержавеющие стали, такие как 316L и 17-4 PH, обладают высокой коррозионной стойкостью и биосовместимостью, но требуют строгого контроля содержания углерода и кислорода. Титановые сплавы, например Ti-6Al-4V, демонстрируют высокую удельную прочность и биосовместимость, но чувствительны к окислению, что делает их наиболее подходящими для медицинского и аэрокосмического применения. Вольфрам и его сплавы, такие как W-Ni-Fe, характеризуются высокой плотностью и износостойкостью, но сложны в обработке из-за высокой температуры плавления. Инструментальные стали, такие как H13 и M2, обеспечивают высокую твердость и износостойкость, но склонны к образованию карбидов при спекании. Такого вида изделия могут быть использованы в условиях высоких нагрузок. Мягкие магнитные сплавы, включая Fe-Si, Fe-Ni обладают высокими магнитными свойствами, но требуют точного контроля состава для уменьшения потерь. Медь и ее сплавы, например Cu-Ni и Cu-Zn, обладают высокой электропроводностью и теплопроводностью, но склонны к окислению. Они находят применение в электронике и энергетике. Суперсплавы, такие как Inconel 718 используются в высокотемпературных условиях, но требуют сложных условий спекания. Результаты исследования подчеркивают необходимость тщательного выбора металлических порошков для MIM в зависимости от требований к конечному изделию.

Полученные данные могут быть использованы для оптимизации процессов MIM, включая выбор материалов, параметров формования и спекания, что позволит повысить качество и функциональность изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Heaney, D. F. Handbook of Metal Injection Molding // Woodhead Publishing. 2019. P. 656.

# АНАЛИЗ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ ОКСИДА ЦЕРИЯ В ПОЛИРОВАЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЛАНАРИЗАЦИИ СТРУКТУР С ИЗОЛИРУЮЩИМИ ТРАНШЕЯМИ

Плотников Д.С.<sup>1</sup>, Малкова К.А.<sup>1</sup>, Бокова Е.С.<sup>1</sup>, Евсюкова Н.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Москва, Россия  
119071, Россия, г. Москва, ул. Малая Калужская, д. 1  
E-mail: [disdisel@gmail.com](mailto:disdisel@gmail.com)

В современном микроэлектронном производстве особое место занимает технология химико-механической планаризации (ХМП) структур с изолирующими траншеями STI (Shallow Trench Isolation). В отличие от простых диэлектриков структуры STI состоят из последовательно сформированных на кремниевой пластине слоев нитрида и оксида кремния (рис.1), для планаризации которых требуется выполнение нескольких условий: полировка должна заканчиваться над нитридным слоем, не допуская его эрозии; остатки оксида над нитридом и утончение слоя оксида в траншеях должны быть минимальными или вовсе отсутствовать [1].



Рисунок 1—Схема реализации процесса ХМП STI

Технология ХМП STI не требует специализированного оборудования и для ее реализации используют стандартные установки для обработки поверхности межслойных диэлектриков. При этом одним из важных отличий процессов ХМП и ХМП STI является тип применяемой полирующей супензии, которая в случае ХМП STI должна обладать селективностью по отношению к оксиду и нитриду кремния, обеспечивая высокую скорость удаления оксидных пленок и низкую нитридных. Такие супензии изготавливают на основе оксида церия ( $CeO_2$ ), с добавлением пассивирующих добавок, как правило, полимерной природы. Как химическое, так и механическое взаимодействие между компонентами супензии, а также полируемой пластиной и супензией, влияющие на скорость и качество проведения процесса ХМП, во многом, зависят от размера абразивных частиц[2].

Цель работы – определения размера частиц  $CeO_2$  и их распределение по размеру в полирующих супензиях, используемых в процессе ХМП STI. В качестве объектов исследования использовали три супензии иностранного и производства (Япония, Китай). Средний размер частиц и их распределение по размерам определяли методом динамического светорассеяния (прибор PHOTOCOR Complex). Размер частиц всех супензий лежал в наноразмерном диапазоне и составил 50, 180 и 220 нм. При этом одна из супензий характеризовалась узким, а две широким распределением частиц по размерам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. D.S. Lim a, J.W. Ahn a, H.S. Park b, J.H. Shin b. *Surface & Coatings Technolog*, 2005, 200, 1751 – 1754
2. Luo J., Dornfeld D. *Ieee transactions on semiconductor manufacturing*, 2003, vol. 16, 3, 469-479.

# ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕХМЕРНЫХ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ ПРИВИТЫХ СОПОЛИМЕРОВ КОЛЛАГЕН-ПЕКТИН-ПОЛИАКРИЛАТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТОКАТАЛИЗА В ПРИСУТСТВИИ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ

Продаевич В.В., Смирнова О.Н., Семенычева Л.Л.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород,  
Россия  
[prodaevitchnika@yandex.ru](mailto:prodaevitchnika@yandex.ru)*

Полимерные гидрогели являются универсальными материалами с широким спектром применения благодаря способности удерживать большие объемы воды и сопротивляться растворению. Сочетание в трехмерных структурах уникальных свойств природных полимеров и синтетических фрагментов перспективно для создания гибридных гидрогелиевых материалов с необходимым набором биомиметических свойств. Использование гетерогенного фотокатализа представляется привлекательным для получения биомедицинских материалов на основе природных полимеров как инновационной стратегии «зеленой химии» [1]. Ранее с использованием гетерогенного фотокатализа в присутствии сложного оксида  $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$  под действием видимого света были получены и охарактеризованы гидрогели трехмерной структуры на основе сополимера трескового коллагена и метилметакрилата. В качестве модифицирующей добавки в них использован полиэтиленгликоль [2].

В данной работе гидрогели привитого полимера метилметакрилата (бутилакрилата) на смесь трескового коллагена и пектина были получены в ходе фотокатализа в присутствии сложных оксидов  $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$  и  $NaVMoO_6$  при облучении видимым светом дисперсии исходных реагентов в воде. Хорошо известно, что полисахариды в составе гидрогелей значительно влияют на характеристики конечных продуктов [3]. В данном случае дополнительно к известным эффектам полисахаридов за счет водородных связей с фрагментами матриц [3] происходит образование привитого сополимера пектина с акрилатом [4], что приводит к образованию дополнительных ковалентных сшивок.

Полученные образцы отделяли от катализаторов центрифугированием, лиофильно высушивали и анализировали. Методом СЭМ выявлено образование матриц с размерами пор различного диаметра, а также обнаружены незначительные фрагменты оксидов металлов, которые, как показали исследования пленок образцов по ГОСТ 9.049-91, выполняют роль бактерицидных добавок. В качестве тест-культур использовались микроскопические грибы активные деструкторы полимерных материалов: *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Aspergillus oryzae*, *Chaetomium globosum*, *Paecilomyces variotii*, *Penicillium funiculosum*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium cyclopium*, *Trichoderma viride*. Было установлено, что содержание коллагена в образцах матриц с пектином значительно меньше, чем в сополимерах акрилатов с коллагеном.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zivic N., Bouzrati-Zerelli M. [et all]. *ChemCatChem*, **2016**, 8, 1617.
2. Semenycheva L.L., Chasova V.O., Sukhareva A.A. [et all]. *Appl. Sci.*, **2023**, 13, 5455.
3. Li R., McRae N.L. [et all]. *Biomacromolecules*, **2018**, 19, 825.
4. Semenycheva L.L., Chasova V.O. [et all]. *J. Inorg. Organomet. Polym.*, **2021**, 31, 3572.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Госзадание FSWR-2023-0024) на оборудовании Центра коллективного пользования «Новые материалы и ресурсосберегающие технологии».

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ СТЕКЛОТКАНЕЙ ВОССТАНОВЛЕННЫХ В СРЕДЕ СУБКРИТИЧЕСКОГО ПИРИДИНА

Проценко А.Е

*ФГБОУ ВО «КнАГУ», Комсомольск-на-Амуре, Россия  
681013, Россия, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, д. 27  
protsenko.ae@yandex.ru*

Высокий объем потребления реактопластичных полимерных композиционных материалов (ПКМ) способствует к росту не разлагаемых отходов в виде отработанных изделий. Потеря прочности данных материалов прежде всего вызвана старением и разрушением матрицы. В тоже время армирующий наполнитель сохраняет свои свойства. Таким образом, разработка технологических принципов рециклинга ПКМ с целью получению армирующего наполнителя пригодного для дальнейшего использования является актуальной задачей современности.

В данной работе рассматривается процесс рециклинга стеклопластиков на основе эпоксидной матрицы Sicomin SR8100/SD8824 и стеклоткани 1250-T30-290 (Umatex). Производство композитов осуществлялось методом вакуумной инфузии. Рециклинг осуществлялся методом субкритического сольволиза в среде пиридина в герметичном реакторе при температуре 250 °С в течение 2 часов. Методика процесса подробно представлена в [1-2] В результате были получены листы очищенной стеклоткани. Остаточное содержание продуктов деструкции полимерной матрицы по данным термогравиметрического анализа составило 1,4 % Остаточная прочность на разрыв восстановленных волокон составила 93 % от прочности первичных волокон.

Из восстановленных листов стеклоткани был изготовлен образец стеклопластика методом вакуумной инфузии. Пропитка осуществлялась связующим аналогичным исходным образцам. Прочность на изгиб восстановленных пластиков возросла на 16,1 % по сравнению исходным пластиком. Данный факт вызван тем, что на поверхности стекловолокна после процесса сольволиза остается покрытие, образованное сольволизной жидкостью [4]. Данный вывод также подтверждается результатами испытаний композитов на основе первичной стеклоткани, обработанной в сольволизной жидкости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Protsenko A.E., Protsenko A.N., Shakirova O.G., Petrov V.V *Polymers*, **2023**, 15, 1559
2. Проценко А.Е., Петров В.В., Проценко А.Н., Люхो И.А. *Ползуновский вестник*, **2023**, 2, 193-200
3. Проценко А.Е. *Пластические массы*, **2024**, 4, 44-47
4. Проценко А.Е., Петров В.В. *Упрочняющие технологии и покрытия*, **2022**, 18(8), 347-351.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 23-79-01137, <https://rscf.ru/en/project/23-79-01137/>.

# КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ СВЕРХРАЗВЕТВЛЕННОГО ПОЛИМЕРА И НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА ДЛЯ СОЗДАНИЯ SERS АКТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Прытков В.А., Кутырева М.П., Кузнецов И.В., Хамидуллин Т.Л., Димиев А.М., Улахович Н.А.

Химический институт им. А.М. Бутлерова, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия  
420008 г. Казань, ул. Кремлевская, д. 29/1.  
VaAPrytkov@kpfu.ru

Наночастицы серебра, обладающие выраженной плазмонной активностью, являются перспективными объектами для создания SERS активных материалов, которые могут быть использованы в качестве инструментов для прямого обнаружения биомаркеров. Одним из ключевых подходов в данном направлении является использование полимеров различных классов в качестве конструкционного блока SERS-активного материала. В рамках данной работы представлены возможности дендритоподобных (сверхразветвленных) полимеров для разработки сенсоров на основе поверхностно-усиленного рамановского рассеяния. Преимуществами полимеров с 3D архитектурой являются высокая стабилизирующая активность по отношению к наночастицам серебра, широкие возможности функционализации для придания как восстановительной, так и адгезионной активности.

На основе сверхразветвленного полиэфирополиамина, функционализированного фрагментами 3[(2-аминоэтил)амино]пропионата (G2-EDA) методом *one pot* синтеза получен и охарактеризован композит Ag@G2-EDA, содержащий сферические наночастицы серебра с диаметром  $28 \pm 9$  нм (рис. 1а). Для оценки возможности использования данного нанокомпозита Ag@G2-EDA в качестве конструкционного блока SERS – активной поверхности была использована модельная система на основе родамина 6Ж (рис. 1б). Процедура конструирования SERS – сенсора состояла в следующем: на поверхность стеклянной пластины ( $s = 1$  мм) было нанесено покрытие нанокомпозита методом сорбции из раствора. Затем капельным методом на поверхность данного сенсора наносили спиртовой раствор красителя ( $10^{-6}$  М, 50 мкл), после чего регистрировали спектры КР при  $\lambda_{\text{возб}} = 532$  нм (рис. 1б). Установлено, что плазмонактивный нанокомпозит Ag@G2-EDA проявляет SERS активность, что указывает на принципиальную возможность дальнейшего использования композитов данного типа в разработках SERS-сенсоров для биомедицины.

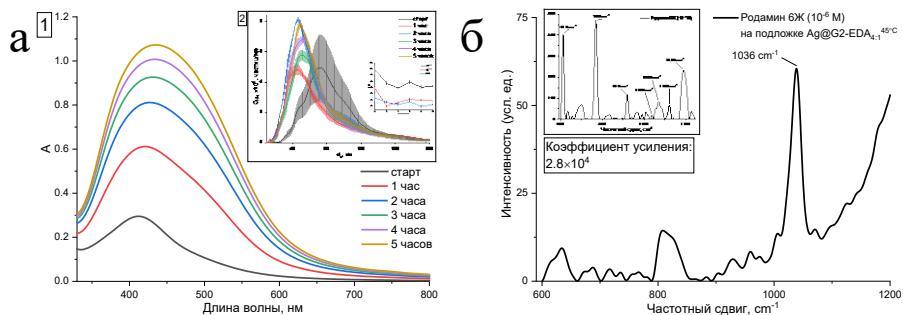


Рис. 1. Данные УФ-Вид спектроскопии и NTA-анализа образца Ag@G2-EDA(а), Рамановский спектр родамина-6Ж, нанесенного на подложку Ag@G2-EDA (б).

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 22-73-10036.

# ПОРИСТАЯ КОМПОЗИТНАЯ МЕМБРАНА НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛИМЕРА И НАНОЧАСТИЦ $\text{BiFeO}_3$ ДЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Рабаданова А.А.<sup>1</sup>, Селимов Д.А.<sup>1,2</sup>, Оруджев Ф.Ф.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>НИЛ «Smart Materials Laboratory», ФГБОУ ВО Дагестанский Государственный  
Университет, Махачкала

<sup>2</sup>Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского федерального  
исследовательского центра РАН; Россия, 367015, г. Махачкала, Россия  
rabadanova.alinka@mail.ru

В последние годы разработка многофункциональных материалов путем объединения как органических, так и неорганических компонентов привлекает все большее внимание. Одним из наиболее распространенным методом изготовления композитных материалов, является мембранные технологии [1, 2]. В связи с увеличением загрязнения сточных вод и растущим спросом на возобновляемые источники энергии, одним из перспективным методом очистки сточных вод стали каталитические процессы (AOPs).

В рамках исследования была синтезирована функциональная полимер-неорганическая мембрана с различной массовой загрузкой ПВДФ\BiFeO<sub>3</sub> (5,10%) методом термоиндуцированной инверсии фаз из не растворителя (NIPS-TIPS) [3]. Полученные образцы были исследованы методами сканирующей электронной микроскопией (СЭМ), инфракрасной спектроскопией с преобразованием Фурье (ИК-Фурье), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопией (РФЭС) и термический анализ методом ДСК. Исследования показали, что включение наночастиц BiFeO<sub>3</sub> преимущественно способствует увеличению доли электроактивной фазы (FEA). С помощью РФЭС были исследованы химические состояния поверхности. В результате добавление BiFeO<sub>3</sub> (10% по массе) в матрицу PVDF, полученный композит показал высокую эффективность в ходе разложения модельного красителя метиленового синего.

Таким образом, разработка новых гибридных функциональных материалов актуальной задачей для решения проблем, связанных не только с очисткой сточных вод. Эти материалы обладают улучшенными свойствами, снижают риск вторичного загрязнения и обладают потенциалом для производства возобновляемой энергии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Orudzhev F., Alikhanov N., Amirov A., Rabadanova A., Selimov D., Shuaibov A., Rodionova V. *Catalysts*, 2023, 13(5), 874.
2. Orudzhev F., Sobola D., Ramazanov S., Částková K., Papež N., Selimov D., Holcman V. *Polymers*, 2023, 15(1), 246.
3. Rabadanova A. A., Selimov D. A., Shuaibov A. O., Alikhanov N. R., Suleymanov S. I., Shishov A.Y., Orudzhev F.F. *Polymer*, 2025, 128241.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 22-73-10091.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИТОТОКСИЧНОСТИ НОВЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРА РЫБНОГО КОЛЛАГЕНА И МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МТТ-ТЕСТА

Румянцева В.О.<sup>1</sup>, Семенычева Л.Л.<sup>1</sup>, Егорихина М.Н.<sup>2</sup>, Линькова Д.Д.<sup>2</sup>, Левичева К.А.<sup>2</sup>,  
Фукина Д.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, Россия,  
603022, Россия, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23*

<sup>2</sup> *Приволжский исследовательский медицинский университет Министерства  
здравоохранения Российской Федерации, Нижний Новгород, Россия,  
603005, Россия, г. Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского. д.10/1  
[vo.rumyantseva@mail.ru](mailto:vo.rumyantseva@mail.ru)*

Гидрогели как тканеинженерные конструкции представляют собой оптимальное сочетание химических свойств, внутренней архитектоники, биосовместимости и биодеградируемости в определенных условиях. Ранее были получены и охарактеризованы гидрогели трехмерной структуры на основе сополимера трескового коллагена и метилметакрилата (ТК-ПММА) с использованием гетерогенного фотокатализа в присутствии сложного оксида  $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$  под действием видимого света [1, 2].

Целью данной работы является анализ цитотоксичности новых гидрогелей ТК-ПММА с использованием МТТ-теста. Для проведения сравнительной оценки цитотоксичности анализ по методике МТТ-тест был выполнен для промежуточных соединений в процессе синтеза геля: сополимера состава ТК-ПММА, ТК-ПММА-ПЭГ [1], для структурно-устойчивого гидрогеля ТК-ПММА [2], продуктов ферментативного разрушения раствора сополимера - гидролизатов ТК-ПММА [3].

Было установлено, что экстракти всех продуктов, а также экстракти при разведении 1:1 при колориметрическом контроле демонстрируют токсичность. При дальнейшем разведении экстрактов в соотношении 1:2, 1:4 и 1:8 образцы демонстрируют отсутствие цитотоксичности. Клетки в экстрактиках таких разведений образуют субконфлюэнтный монослой, визуально клетки не токсированы. Незначительное снижение жизнеспособности клеток при больших концентрациях сополимера (геля), вероятно, вызвано не выделением цитотоксичных веществ из геля, а снижением количества специфических компонентов полной культуральной среды, используемой для получения экстрактов за счет известной адсорбции белков среды компонентом геля – ПЭГ [4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Semenycheva L.L., Chasova V.O. [et al.] *Appl. Sci.*, **2023**, *13*, 5455.
2. Семенычева Л.Л., Румянцева В.О. [и др.] *Изв. РАН. Сер. хим.*, **2025**, *74*.
3. Semenycheva L.L., Chasova V.O. [et al.] *Life*, **2023**, *13*, 352.
4. Bernhard C., Roeters S.J. [et al.] *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2017**, *19*, 28182- 28188.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (Госзадание FSWR-2023-0024) и программы "Приоритет 2030" с использованием оборудования ЦКП «Новые материалы и ресурсосберегающие технологии» НИИХ ННГУ.

**НОВАЯ СТРУКТУРА СТАТЕЙ ПО ХИМИИ  
И УСЛОВИЯ БЫСТРОЙ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ  
«ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК. СЕРИЯ ХИМИЧЕСКАЯ»  
(RUSSIAN CHEMICAL BULLETIN)**

Рыжакова Н.В.<sup>1</sup>, Коннова Г.Н.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup> Институт органической химии имени Н. Д. Зелинского Российской академии наук,  
Российская Федерация, 119991 Москва, Ленинский просп., 47.  
izvan@ioc.ac.ru*

Журнал издается на русском и английском языках. Издателем английской версии остается издательство Springer and Business Media LLC. Журнал выходит в электронном и печатном виде. Электронная русскоязычная версия доступна на сайте e-library ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)), англоязычная – на сайте Springer (<http://link.springer.com/journal/11172>). Ежегодно публикуется не менее 350 статей из 130 российских и зарубежных научных центров. Журнал включен в список ВАК, индексируется и реферируется ведущими реферативными журналами, в том числе Science Citation Index, SCOPUS, ChemWeb и др. Импакт-фактор составляет 1.7. Высокое качество статей достигается в результате тщательного отбора материала путем двойного рецензирования и научного редактирования. Хорошо подготовленные статьи публикуются за 2–4 месяца.

В журнале публикуются обзоры, аналитические и исследовательские статьи, а также краткие сообщения. Тематика журнала охватывает все направления химической науки, в том числе координационную химию, и смежных областей.

Журнал не публикует работы по частным и сугубо прикладным вопросам.

С 2023 г. в публикациях перед списком литературы приводятся разделы «Благодарности» (если есть), «Финансирование», «Соблюдение этических норм», «Конфликт интересов». Правила и примеры оформления новых разделов размещены на сайте журнала: <http://www.russchembull.ru>.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ FDM-ПЕЧАТИ

Савицкая Ю.А., Харламова К.И.

*МИРЭА – Российский технологический университет, институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, кафедра химии и технологии переработки пластмасс и полимерных композитов, Москва, Россия  
119454 г. Москва, проспект Вернадского, д. 78  
juli.ska@mail.ru*

В последние годы было проведено большое количество исследований, доказывающих, что напечатанные методом FDM-печати изделия обладают не высокими физико-механическими характеристиками относительно образцов полученных методом литья под давлением. Это связано с особенностями процесса трёхмерной печати, заключающейся в последовательном наплавлении слоёв, что приводит к анизотропии комплекса эксплуатационных свойств в зависимости от сонаправленности приложенной нагрузки и слоев.

С целью улучшения физико-механических характеристик необходимо получать изделия с минимальной анизотропией структуры образца. Улучшение качества межслоевой сварки в процессе FDM-печати возможно путем увеличения количества подаваемого материала, что может быть скорректировано эмпирическим параметром «коэффициент потока».

Цель работы заключается в определении влияния параметра «коэффициент потока» на физико-механические свойства дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов (ДНПКМ) на основе ABS-пластика.

В ходе работы с целью моделирования поведения ДНПКМ на двухшнековом экструдере LabTech LZ-80 / VS (Labtech Engeneering Co. Ltd., Тайланд) при 210-225°C были получены материалы на основе ABS-пластика марки General ABS POLYLAC® PA-757 (Chimei corporation, Тайвань) ( $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$ ) с 2 об. % полых стеклянных микросфер (ПСМС) марки МС-ВП-А9 (ИПО «Стеклопластик», Россия) ( $\rho = 0,36 \text{ г/см}^3$ ,  $d_{cp} = 40 \text{ мкм}$ ). Филамент для 3D-печати был произведен на экструдере Scientific (Labtech Engeneering Co. Ltd., Тайланд) при 220°C.

Печать образцов (лопатки тип 5, ГОСТ 11262-2017) проводили на 3D-принтере Anyform XL250-G3 High-resolution 3D printer (Total Z, Россия) при  $T_{стола} = 110^\circ\text{C}$  и при  $T_{сопла} = 230^\circ\text{C}$ , скорости печати 45 мм/с, высоте и ширине слоя – 0,2 и 0,4 мм соответственно. Физико-механические свойства образцов исследовали в соответствии с ГОСТ 11262-2017 на универсальной испытательной машине И11М (ООО «ТОЧПРИБОР-КБ») со скоростью 50 мм/мин.

Установлено, что при изменении коэффициента потока относительное удлинение не изменяется, оставаясь в диапазоне доверительного интервала. При этом, зависимость модуля упругости ( $E$ , МПа) проходит через максимум (1986 МПа) при значении коэффициента потока, равном 1,15. Таким образом, для получения изделий на основе ДНПКМ с крупными частицами, характеризующихся наибольшим модулем упругости, рекомендуется использовать коэффициент потока, равный 1,15.

Работа выполнена при финансовой поддержке Грантовой программы в рамках Акселерационной программы «Акселератор РТУ МИРЭА».

# СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СФЕРОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ПТФЭ, ИСХОДНЫХ И ОБЛУЧЁННЫХ В РАСПЛАВЕ

Садовская Н.В.<sup>1,2</sup>, Хатипов Р.С.<sup>2</sup>, Таджибаев А.М.<sup>2</sup>, Bao Xiaohua<sup>3</sup>, Gao Xiaolong<sup>4</sup>, Wu Daming<sup>4</sup>, Авилов А.С.<sup>1</sup>, Хатипов С.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Курчатовский комплекс кристаллографии и фотоники НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

119333, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 59

<sup>2</sup> ООО «НПП «Арфлон», Москва, Россия

109456, г. Москва, 1-й Вешняковский пр., д. 2, стр. 1

<sup>3</sup>Zhejiang Hezhixiang Technology Co.,Ltd, Zhejiang Sheng, China

<sup>4</sup>Beijing University of Chemical Technology, Beijing, China

Beisanhuan East Road, 15, Chaoyang District, Beijing, China

[nataly\\_sadovska@mail.ru](mailto:nataly_sadovska@mail.ru)

Гамма-облучение в расплаве композитов ПТФЭ с различными органическими и неорганическими наполнителями позволяет достичь рекордных результатов [1]. Стеклянные полусфера (СС) в полимерных композитах используют как лёгкий наполнитель, позволяющий повысить удельно-прочностные характеристики изделий при одновременном снижении их массы. В работе проведено исследование надмолекулярной структуры, механических и триботехнических свойств сферопластиков на основе ПТФЭ (ПТФЭ + СС), исходных и гамма-облученных в расплаве. Для сравнения исследовали также исходный ПТФЭ и облученный в расплаве (АР-200). Облучение проводили при температуре выше 330°C гамма-квантами  $^{60}\text{Co}$  дозой 200 кГр. Механические свойства определяли при температуре жидкого азота и комнатной.

Показано, что при гамма-облучении в расплаве в композитах ПТФЭ + СС:

- структура полимерной матрицы претерпевает изменения: происходит переход от ламеллярной (рис. 1а) к фибриллярной с центрально симметричной упаковкой фибрилл, стеклянные сферы становятся центрами структурообразования (рис. 1б); смачивание СС полимером значительно улучшается, пористость снижается, плотность возрастает;
- механические свойства улучшаются (модуль упругости и прочность при растяжении при пределе текучести) как при комнатной температуре, так и в области криогенных температур;
- пластические свойства при температуре жидкого азота сохраняются (рис. 1в);
- средний износ облучённого композита по сравнению с исходным ПТФЭ снижается в 312 раз.

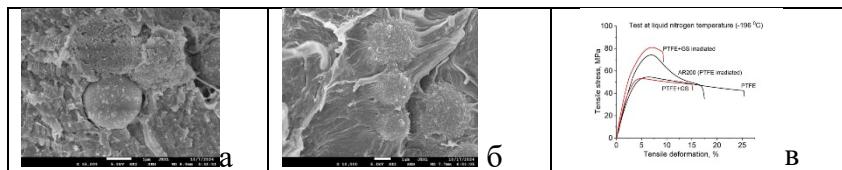


Рис. 1. Микроструктура композита ПТФЭ + СС: а – исходный композит, б – облученный в расплаве дозой 200 кГр; в – кривые напряжение-деформация при растяжении при температуре жидкого азота ( $-196^{\circ}\text{C}$ ).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Садовская Н. В., Обвинцев А. Ю., Хатипов Р. С., Селиверстов Д. И., Хатипов С. А. *Поверхность. Рентген., синхротр. и неитрон. исслед.*, 2016, 91, 1–8.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЕВ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ FDM-ПЕЧАТИ

Сайтгалиева А. З.<sup>1</sup>, Юркин А. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Российский технологический университет – МИРЭА, Москва, Россия*

*119435, Россия, г. Москва, Малая Пироговская 1с5.*

*alsusaitgalieva@mail.ru*

За последнее десятилетие широкое распространение в различных сферах промышленности получили аддитивные технологии. К ним также относится FDM-печать – один из методов переработки пластических масс. Однако, по своим эксплуатационным характеристикам изделия, полученные данным методом, продолжают уступать изделиям, произведенным классическими методами переработки пластмасс. В значительной степени это связано непосредственно с технологией FDM-печати – изделие формируется при послойном нанесении расплава полимерного материала, на этапе подготовки модели к печати в программном обеспечении, слайсере, задается высота и ширина слоев, однако, даже при соответствии итоговых результатов заданным, не обеспечивается полное прилегание слоев, образовывая пустоты между ними. Количество материала, поданного на слой, в настройках принтера регулируется технологическим параметром печати, отвечающим за соотношение фактического объемного расхода к теоретически необходимому – коэффициентом потока ( $Q_c/Q_\phi$ ). Увеличивая его, возможно достичь слоев, размер которых обеспечит максимальное прилегание слоев друг к другу, тем самым повысив адгезию и улучшив эксплуатационные характеристики. Цель работы заключалась в исследовании зависимости размеров слоев от коэффициента потока.

На 3D-принтере Anyform XL250-G3 (Total Z, Россия) с  $d_{\text{сопла}}=0,4$  при  $T_{\text{стола}} = 110^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{сопла}} = 230^\circ\text{C}$  и скорости печати 45 мм/с, высоте и ширине слоя – 0,2 и 0,4 мм соответственно, напечатаны образцы в виде брусков с продольным направлением слоев, без заполнения, с изменением коэффициента потока в интервале от 0,85 до 1,1 из ABS-пластика марки ABS PA 757 (ООО «СНМЕИ», Тайвань). Измерение геометрических параметров слоев проводилось на микрофотоснимках низкотемпературного скола образцов, сделанных с помощью микроскопа МИК-1 (Россия).

Зависимость площади поперечного сечения слоев от коэффициента потока (рис. 1). показывает, что при увеличении  $Q_c/Q_\phi$  от 0,85 до 1,0 площадь растет, а при дальнейшем увеличении объемного расхода становится постоянной, максимально приближаясь к теоретическим значениям, отмеченным пунктирной линией. Несовпадение полученных данных с теоретическими, объясняется мощностными ограничениями нагревателя филамента – экструзионная головка не способна расплавлять достаточное количество полимера, для соответствия заданному коэффициенту потока.

Таким образом, в данных условиях достижение максимального возможного прилегания слоев с соответствием заданным размерам осуществляется при выборе значений коэффициента потока не менее 1,0.

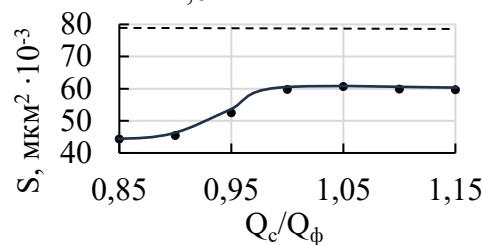


Рисунок 1. Зависимость площади поперечного сечения слоев от коэффициента потока

# ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИ(МЕТ)АКРИЛИМИДНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ МЕТОДОМ ВСПЕНИВАНИЯ ЧАСТИЦ (МЕТ)АКРИЛОВЫХ СОПОЛИМЕРОВ

Сафонов А.Н.<sup>1</sup>, Шалагинова И.А.<sup>1</sup>, Корниенко П.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт химии и технологии полимеров им. В.А.

Каргина, Дзержинск, Россия

606000, Россия, г. Дзержинск, ш. Автозаводское, д. 101А

safonov@nicp.ru

Поли(мет)акрилимидные (П(М)И) пенопласти благодаря высоким физико-механическим и температурно-деформационным характеристикам в сочетании с низким удельным весом в настоящее время широко используются в качестве заполнителя при создании различных многослойных конструкций, применяемых в аэрокосмической, морской, ветроэнергетической и автомобильной технике. П(М)И пены в основном получают путем термического вспенивания листов блочных сополимеров (мет)акрилонитрила ((М)АН) и метакриловой кислоты (МАК). Недостатки данной технологии заключаются в том, что листы пенопласта имеют ограниченную толщину, а для изготовления деталей сложной формы требуется трудоемкая и дорогостоящая механическая обработка с большим количеством отходов. Для решения этих проблем была разработана технология, основанная на формировании П(М)И пенопластов методом вспенивания частиц измельченных блочных сополимеров АН-МАК.

Установлено, что на плотность пенопласта оказывают влияние различные технологические факторы, а наиболее предпочтительным инструментом для регулирования плотности является варырование гранулированного состава частиц сополимеров. Сравнительные анализы прочностных свойств П(М)И пенопластов свидетельствуют о том, что технология получения пенопласта методом вспенивания частиц сополимера оказывает наибольшее влияние на прочность при растяжении, в то время как прочность при сжатии с увеличением плотности стремится к показателям пенопласта на основе блока.

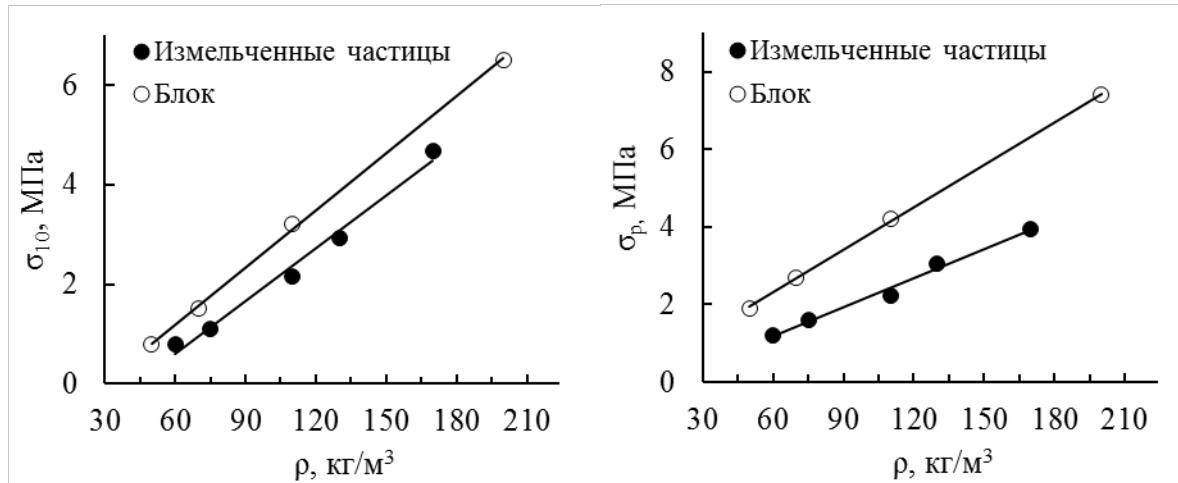


Рис.1 – Прочность при сжатии (слева) и растяжении (справа) П(М)И пенопластов

Полученные материалы обладают термостойкостью при температуре до 170 °С. Разработанная технология синтеза пенопластов из вспениваемых частиц в перспективе позволяет получать изделия сложной формы, в том числе, с проведением процесса вспенивания одновременно с процессом формования композиционных материалов, имеющих оболочку из одного и/или нескольких покрывающих слоев пластика.

# РЕМИНЕРАЛИЗОВАННЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАПРАВЛЕННОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ТКАНЕЙ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ХИРУРГИИ

Смирнова П.В. , Смирнов И.В., Тетерина А.Ю., Комлев В.С.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, , 119334, Россия, г.*

*Москва, Ленинский пр. д. 49.*

*smirnova-imet@mail.ru*

Разработка костных трансплантатов, обладающих высокой остеоинтеграционной способностью и обеспечивающих полноценное восстановление костной ткани, остается важной и недостаточно изученной задачей. В данном исследовании представлен инновационный подход к созданию биомиметических композитных материалов для реконструктивной хирургии. Метод основан на реминерализации высокоочищенных деминерализованных коллагеновых матриц путем осаждения кальций-фосфатных слоев, имитирующих естественную минеральную структуру кости.

Гистологический и элементный анализ подтвердил сохранение архитектоники костного матрикса и высокую степень чистоты коллагеновых скаффиолдов. Комплексные исследования с использованием адсорбционной спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), микрокомпьютерной томографии (микроКТ), инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (ИК) и рентгеновской дифракции (РФА) продемонстрировали равномерное распределение и кристалличность осажденных кальций-фосфатных покрытий [1].

Оценка биосовместимости *in vitro* с применением клеточных культур и конфокальной микроскопии выявила отсутствие цитотоксичности как у деминерализованных, так и у реминерализованных матриц, подтвердив их перспективность для клинического использования. Наиболее значимые результаты были получены в ходе экспериментальной гетеротопической имплантации у крыс: через 7 недель в реминерализованных образцах наблюдалась интенсивная интрабекулярная инфильтрация кальций-фосфатных преципитатов, а также активная синтетическая и ремоделирующая деятельность остеобластов. В отличие от деминерализованных аналогов, такие матрицы продемонстрировали динамичное взаимодействие с клеточным микроокружением, что свидетельствует об их способности стимулировать регенеративные процессы [2].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Minaychev V. V. et al. Composite Remineralization of Bone-Collagen Matrices by Low-Temperature Ceramics and Serum Albumin: A New Approach to the Creation of Highly Effective Osteoplastic Materials //Journal of Functional Biomaterials. – 2024. – Т. 15. – №. 2. – С. 27. [1].
2. Minaychev V. V. et al. Low-Temperature Calcium Phosphate Ceramics Can Modulate Monocytes and Macrophages Inflammatory Response In Vitro //Biomedicines. – 2024. – Т. 12. – №. 2. – С. 263.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-73-10208.

## СИНТЕЗ СИЛОКСАНОВЫХ ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ ПОЛИМЕРОВ С ПЕРФТОРАЛКИЛЬНЫМИ ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ

Солодухин Д.А.<sup>1</sup>, Шкинев П.Д.<sup>1</sup>, Дроздов Ф.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколова  
РАН, 117393 Россия, г. Москва, Профсоюзная ул. 70  
d.solodukhin@ispmt.ru

Гребнеобразные полимеры – это высокомолекулярные соединения, макромолекулы которых содержат боковые ответвления. На основе силоксановых гребнеобразных полимеров и молекулярных щеток были получены полимеры, которые используют в таких областях, как генная терапия и 3D биопечать, получение градиентных материалов с помощью, а также они играют огромную роль в химической и медицинской промышленности.

В качестве заместителя в наших гребнеобразных полимеров было решено ввести перфторалкильный заместитель, поскольку при введении перфторалкильных компонентов в силоксаны изменяются их свойства. Они обладают масло- и термостойкостью, а также имеют расширенный диапазон рабочих температур.

В нашем исследовании мы выбрали димер гексафторпропилена так как он является одним из наиболее коммерчески доступных и легко модифицируемых фторорганических соединений. Стоит подчеркнуть, что перфторалкильные производные на основе димера гексафторпропилена не включены в Стокгольмскую конвенцию о пер- и полифторалкильных веществах (PFAS), которые наносят серьезный вред окружающей среде. Поэтому их использование оправдано с точки зрения экологической безопасности.

Таким образом, целью работы является получение силоксановых гребнеобразных полимеров с перфторалкильными заместителями.

### ЛИТЕРАТУРА

1. M. Zhang, A. H. E. Müller // *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 2005 - V. 43 – P. 3461–3481
2. Fedor V. Drozdov, Alena L. Krapivko, Georgij V. Cherkaev, Lev L. Gervits, Nikolaj A. Yashtulov, Alexandra A. Kalinina, Aziz M. Muzafarov, *Journal of Organometallic Chemistry*, Volume 921, 2020

# СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ В КАТАЛИЗАТОРАХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИОЛЕФИНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

Сулейманов С.М.<sup>1</sup>, Салахов И.И.<sup>1</sup>, Колосов Н.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>СИБУР Центр пилотирования технологий, Тобольск, Россия  
626150, Россия, г. Тобольск, территория «Восточный промышленный район» квартал  
9, дом 1/1.

*suleymanovsm@tobolsk.sibur.ru*

<sup>2</sup>СИБУР Инновации, Томск, Россия  
634022, Россия, г. Томск, Кузовлевский тракт д.2, стр. 270

Полиолефиновые эластомеры (POE) занимают важное место в современной химической промышленности благодаря их уникальным свойствам и широкому спектру применения. POE применяются в автомобильной, строительной и медицинской промышленности. Их производство требует точного контроля над молекулярной структурой, что достигается за счет использования высокоеффективных катализаторов и оптимизации условий процесса [1]. В последние годы наблюдается значительный прогресс в области катализа, кинетики и аппаратурного оформления, что позволяет повысить эффективность и экологичность производства POE.

Современные катализаторы для синтеза POE можно разделить на три основные группы: Циглера-Натта, металлоценовые и пост-металлоценовые катализаторы.

Катализаторы Циглера-Натта остаются наиболее распространенными благодаря их низкой стоимости и высокой активности. Однако их недостатком является широкое молекулярно-массовое распределение (ММР) получаемых полимеров, что ограничивает их применение в высокотехнологичных областях.

Металлоценовые катализаторы на основе титана, циркония и гафния обеспечивают более узкое ММР и высокую стереоселективность, что позволяет получать POE с улучшенными механическими свойствами.

Использование циркоценовых катализаторов позволяет синтезировать этилен-пропиленовые каучуки с высокой эластичностью и термической стабильностью [2], а внедрение мономеров и сомономеров имеет высокую степень распределения и упорядоченности, что позволяет получать полиолефины с улучшенными физико-механическими, оптическими и органолептическими характеристиками [3].

Способность современных технологий производства полиолефинов, производить полимеры с низкой плотностью на металлоценовых катализаторах, открыла новые коммерческие возможности для производства широкого спектра эластомеров и пластомеров, на текущий момент, самым распространенным способом производства которых, является растворный процесс.

## ЛИТЕРАТУРА

1. McDaniel, M. P. **2021**. In-situ Monitoring of Olefin Polymerization. *Macromolecular Reaction Engineering*, 15(2), 2000056.
2. Kaminsky, W., & Arndt, M. **2019**. Metallocenes for Polymer Catalysis. *Advances in Polymer Science*, 127, 143-187.
3. Moritz C. Baier, Martin A. Zuiveld, Stefan Mecking. **2014**. Post-Metallocenes in the Industrial Production of Polyolefing. *Angewandte Chemie International Edition*, 53(37), 9722-9744.

# ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИЭФИРОВ

Бакирова Э.Р.<sup>1</sup>, Сунаргулов А.Б.<sup>1</sup>, Кулиш Э.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия*

*450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32/5.*

*elina\_bakirova@mail.ru*

В современном мире использование более экологичных материалов, таких как биоматериалы и биоразлагаемые полимеры в качестве заменителей пластика, является весьма актуальной задачей. Полилактид (ПЛ) — термопластичный, высокопрочный, биоразлагаемый, компостируемый алифатический полиэфир. ПЛ, получаемый из возобновляемых ресурсов, находит свое применение во многих областях промышленности и медицины. Одним из главных преимуществ ПЛ является то, что для его переработки не требуется специального оборудования. ПЛ легко перерабатывается литьем под давлением, экструзией, выдувом пленки, термическим прессованием и др. Основным недостатком ПЛ является его хрупкость и низкая прочность. Поликапролактон (ПКЛ) широко используется в биомедицине для создания имплантатов и материалов с контролируемым высвобождением лекарств. ПКЛ — нетоксичный, легкодоступный, биосовместимый, биоразлагаемый синтетический полимер. Одной из основных целей смешения ПЛ и ПКЛ является разработка материалов с улучшенной прочностью при сохранении биоразлагаемости и биосовместимости обеих фаз [1]. В отличие от классических дисперсий, при использовании полимерных композиций с резким охлаждением расплава ниже температуры плавления полимерных компонентов удается зафиксировать сформированную морфологию системы. При этом даже термодинамически двухфазная система может обладать хорошими механическими свойствами. Таким образом, целью данной работы было изучение физико-механических свойств материалов, полученных на основе смеси ПЛ:ПКЛ.

В работе использовались: ПКЛ марки Ecoplast (Китай), ПЛ марки Bio-101 (Китай). Процесс получения материала на основе ПКЛ, ПЛ и их смесей между собой осуществлялся путем обработки расплава на лабораторном пластографе (Brabender, Германия) с последующим прессованием полученного материала. Прессование осуществлялось на автоматическом гидравлическом прессе (Carver, США). Испытания на растяжение полученных материалов определялись на универсальной испытательной машине «ShimadzuAGS-X» (Япония) [2].

Установлено, что ПКЛ проявляет большую технологическую стабильность по сравнению с ПЛ в процессе переработки его расплавов. Оптимальные физико-механические характеристики ПКЛ и ПЛ наблюдаются при температуре в зоне пластикации и прессования 160 °С, скорости вращения шнека 10 об/мин и времени перемешивания 10 мин. Исходя из характера изменения физико-механических свойств при варьировании соотношения компонентов, предполагается, что инверсия фаз происходит при соотношении ПЛ:ПКЛ в смеси 30-40 масс.%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Delgado-Aguilar M., Puig R., Sazdovski I. et. al. *Materials*, **2020**, *13*, 2655.
2. Бакирова Э. Р., Лаздин Р. Ю., Котяшов М. С. et al. *Butlerov Communications*, **2023**, *12*, 10-16.

# ВЛИЯНИЕ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ НА СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ, СШИТЫХ ЛИМОННОЙ КИСЛОТОЙ

Таганбекова З.К., Маркин В.И.

Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия, 656049, пр. Ленина, 61,  
e-mail: [taganbekovaz1628@gmail.com](mailto>taganbekovaz1628@gmail.com)

Гидрогели на основе карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), сшитые лимонной кислотой (ЛК), демонстрируют перспективные свойства для создания функциональных материалов [1]. Получены гидрогели на основе КМЦ, сшитые лимонной кислотой в реакции этерификации, катализируемой соляной кислотой (HCl).

Синтез проводили в водной среде при 60°C с варьированием параметров: соотношения КМЦ:ЛК от 267:1 до 16:1, времени реакции (2-5 ч), соотношения КМЦ: HCl 12,5:1 и 5:1. В полученных образцах изучена водопоглощающая способность. Результаты представлены на рисунке 1.

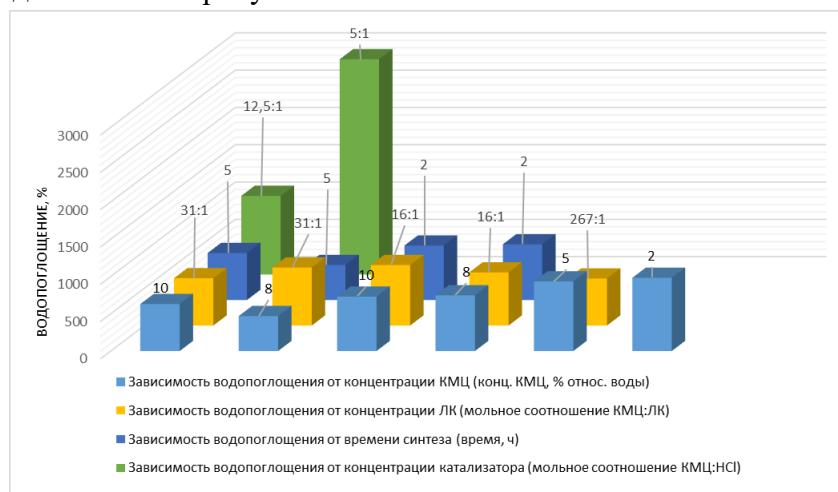


Рисунок 1 – Водопоглощающая способность отверждённых образцов на основе карбоксиметилцеллюлозы при различных концентрациях полисахарида, лимонной кислоты и соляной кислоты, а также при разном времени синтеза.

Понижение концентрации КМЦ и повышение концентрации ЛК увеличивает водопоглощающую способность.

Каталитическая роль HCl в реакции этерификации подтверждена сравнением образцов, что также повышает механическую стабильность гидрогелей. Оптимальное время синтеза составило 2 часа. Наибольшим водопоглощением (2885%) обладает образец при мольном соотношении КМЦ:ЛК:НСl 17:1:3,1 и времени синтеза 2 ч.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Mali K., Dhawale S., Dias R., Dhane N., Ghorpade V. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, **2018**, 80, 657-667.

Исследование выполнено в рамках реализации Программы развития Алтайского государственного университета на 2021-2030 годы в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030», проект «Разработка способов выделения и иммобилизации метаболитов из биомассы нематофаговых грибов для создания антигельминтного ветеринарного препарата».

# ПОЛИМЕРНЫЙ МАТЕРИАЛ С ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТЬЮ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ ЭД-20, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ФТОРСОДЕРЖАЩИМ ЭПОКСИФОСФАЗЕНОМ

Тамбура Б., Максимова Е.В., Маноил О.М., Чистяков Е.М.

*Российский Химико-Технологический Университет им. Д.И. Менделеева, Москва,  
Россия  
125047, Россия, г. Москва, Миусская площадь, д. 9  
tamboura.bakary@yahoo.fr*

Материалы с пониженной горючестью востребованы для предотвращения пожаров, снижения риска повреждения имущества и повышения безопасности. Они играют ключевую роль в промышленных производствах, при изготовлении различного оборудования, в транспортных средствах, а также для сохранения исторического и культурного наследия. Такие материалы должны быть способны выдерживать высокие температуры и эффективно предотвращать распространение огня [1].

Одним из известных классов материалов с пониженной горючестью являются модифицированные эпоксидные смолы. Эпоксидные смолы представляют собой перспективные связующие для изготовления композиционных материалов, клеев, лаков и красок, благодаря низкой усадке, высокой термо-, тепло- и химической стойкости. Для создания модифицированных эпоксидных композиций в их состав часто вводят фосфор и азот содержащие вещества в качестве модификаторов, наполнителей и т.д. Поэтому актуально использование фосфороганических соединений, таких как фосфазены, в качестве высокоэффективных антиприренов, которые, при этом, химически встраиваются в полимерную матрицу [2].

В настоящем исследовании был разработан новый полимерный материал на основе эпоксидной смолы ЭД-20 и 4-аллил-2-метоксиfenокси-фтор-2-метокси-4-(оксиран-2-илметил)fenоксициклотрифосфазена, отверженных изофорондиамином и наполненных микрочастицами алюминия.

Скорость горения полученных композиций измерялась методом горизонтального горения (ГОСТ 28157-2018). Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Скорость горения композиций при разном содержании модификатора.

Образец	Без модификатора	ЭД-20+20 масс. % модификатора	ЭД-20 + 50 масс. % Al	ЭД-20 + 50 масс. % Al + 20 масс. % модификатора
Скорость горения (мм/мин)	30	10	10	3

Результаты, представленные в таблице 1, демонстрируют, что благодаря сочетанию элементов фосфора и азота, модификатор обеспечивает высокие противопожарные свойства, что делает его перспективной добавкой для эпоксидных композиций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Torero J.L., *Fire Safety of Historical Buildings: Principles and Methodological Approach*, 2019, 13(7), 1–15.
2. Panfilova D.V., Chistyakov E.M., Filatov S.N., Tupikov A.S., Buzin M.I., *Proceedings of 16 international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2016*, 2016, 6(1), 103–110.

# СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ КОМПЛЕКСНОЙ БИОЦИДНОЙ ДОБАВКИ

Тихомиров В.А.<sup>1</sup>, Герасин В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза Российской академии наук, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 29.  
tikhomirov@ips.ac.ru

Среди многообразия комплексных биоцидных добавок, полученных в ИНХС РАН за последние годы [1], внимание привлекает наполнитель, представляющий собой сорбированный монтмориллонитом полигексаметиленгуанидин гидрохлорид, наиболее эффективно подавляющий рост и развитие планктонных форм микроорганизмов и замедляющий рост биоплёнки [2].

Данная добавка была испытана в условиях тропического климата Социалистической Республики Вьетнам на стациях Совместного Тропического Центра. В качестве полимерной матрицы был использован полиэтилен низкой плотности. Для лучшего совмещения были использованы два различных компатибилизатора – «Метален F 1018» и предварительно лиофилизированный «Arquad 2НТ-75». Материал экспонировался в виде плёнок на трёх или четырёх различных площадках (в зависимости от расположения станции).

Показано, что биоцидная защита не является критически значимым фактором стабильности полимерных плёнок в условиях тропического климата; гораздо больше на срок эксплуатации полиолефинов влияет ультрафиолетовое излучение Солнца и высокая температура. Видовой состав микроорганизмов, образующих колонии из смывов с поверхности, изменяется в зависимости от условий экспонирования, количества биоцида и компатибилизатора. После экспонирования на глубине около 20 см под землёй видовое разнообразие расширяется, но количество колоний снижается. Морская вода также не оказывает существенного влияния на плёнки, они служат лишь местом прикрепления макроорганизмов [3].

При экспонировании композитов полиэтилена с предложенными органоминеральными добавками в условиях рассеянного солнечного излучения обеспечивается защита материала от фотоокислительного старения на период не менее 21 месяца, при этом органоминеральная добавка превосходит по эффективности защиты полиэтилена такие традиционные фотостабилизаторы, как мел, оксид цинка и производные оксибензофенона [4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Герасин В.А., Сивов Н.А., Меняшев М.Р., Куренков В.В., Яковлева А.В., Сердюков Д.В. *Патент 2 679 804 С1, 2019*
2. Журина М.В., Каллистова А.Ю., Панюшкина А.Е., Ганнесен А.В., Мартынов С.В., Герасин В.А., Сивов Н.А., Тихомиров В.А., Плакунов В.К. *Микробиология*, 2020, 89, 400-409.
3. Менделеев Д.И., Легков С.А., Тихомиров В.А., Куренков В.В., Белоусько М.А., Hoang Q.C., Герасин В.А. *Высок. соед-я С. А*, 2023, 65, 72-80.
4. Тихомиров В.А., Куренков В.В., Менделеев Д.И., Легков С.А., Герасин В.А., Hoang Q.C. *Высок. соед-я С. А*, 2025, в печати.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИНХС РАН.  
Исследования проводились на приборах Центра коллективного пользования ИНХС РАН.

# ТРУДНОГОРЮЧИЕ ЭПОКСИДНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ Р,Н-АНТИПИРЕНОВ

Тоиров С.Х.<sup>1</sup>, Евтушенко Ю.М.<sup>1</sup>, Шевченко В.Г.<sup>1</sup>, Берлин А.А.<sup>2</sup>, Ушков В.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук (ИСПМ РАН) 117393 Москва, ул. Профсоюзная, 70

<sup>2</sup>ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР 119991, Москва, ул. Косыгина, 4

<sup>3</sup>Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ) 129337 Москва, Ярославское шоссе, 26.

[sh.toirov@ispmt.ru](mailto:sh.toirov@ispmt.ru)

В работе получены и охарактеризованы Р,Н-антипирены на основе меламина (МЕЛ) и аммонийных производных фосфорной кислоты варьированием соотношения соответствующих прекурсоров. В качестве фосфорсодержащих прекурсоров использованы полифосфат аммония (ПФА), дигидрофосфат аммония (ДГФА) и диаммоний гидрофосфат (ДАГФ). Р,Н-антипирены на основе МЕЛ и ПФА с соотношением компонентов 0:5; 1:4; 2:3; 3:2; 4:1; 5:0 получены перетиранием исходных порошков в фарфоровой ступке. Р,Н-антипирены на основе МЕЛ и ДГФА получены нагреванием соответствующих смесей компонентов при 100°C в течение 6 ч. Соответствующие Р,Н-антипирены на основе МЕЛ и ДАГФ получены при нагревании смесей компонентов при 140°C в течение 6 ч.

Полученные Р,Н-антипирены охарактеризованы методами ИК спектроскопии, термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии. Для испытаний на огнестойкость готовили образцы эпоксидно-диановой смолы DER 330 с 20%-ным содержанием соответствующего антипирена. Композиции отверждали 10% триэтилентетрамина (ТЭТА), испытания проводили через 72 ч. В качестве критериев синергетического эффекта использовали значения величин кислородного индекса (КИ) и время горения образца после первого ( $T_1$ ) и второго ( $T_2$ ) приложения пламени газовой горелки (стандарт UL 94). Результаты испытаний представлены в таблице.

МЕЛ+ПФА					
Композит	0:5	1:4	2:3	3:2	4:1
КИ, %	27,7	28,4	29,1	31,0	26,4
$T_1$	0	0	0	0	2
$T_2$	0	0	0	0	3
МЕЛ+ДГФА					
КИ, %	27,8	29,5	29,7	29,9	26,1
$T_1$	1	0	0	2	>10
$T_2$	5	8	4	3	-
МЕЛ+ДАГФ					
КИ, %	26,9	30,5	33,3	25,0	26,1
$T_1$	2	2	4	53	>10
$T_2$	1	3	3	>10	До зажима

Полученные данные свидетельствуют о наличии синергетических эффектов повышения стойкости к горению образцов. Значения КИ>27% образцов позволяют отнести таковые к трудногорючим композициям, при этом они соответствуют высшей категории стойкости к горению V<sub>o</sub> (стандарт UL 94). Работа выполнена при участии сотрудников Центра коллективного пользования ИСПМ РАН.

# ЭКСТРУЗИЯ СТЕКЛОПОЛИМЕРНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

И.В. Толстобров<sup>1</sup>, Е.С. Широкова<sup>1</sup>, А.И. Вепрева<sup>1</sup>,  
Д.Ю. Дубовцев<sup>1</sup>, Н.С. Саетова<sup>1</sup>, А.В. Кузьмин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Вятский государственный университет, Киров, Россия  
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36  
usr08669@vyatsu.ru

Создание методов герметичного соединения нескольких трубчатых твердооксидных топливных элементов (TOTЭ) в единый блок остается технически сложной задачей. В большинстве конструкций ТОТЭ для герметизации используются стеклогерметики. Для планарных ТОТЭ применяются различные методы, такие как литье стеклополимерных лент и нанесение герметиков трафаретной печатью. Однако, эти подходы не всегда применимы для трубчатых ТОТЭ из-за объемной конструкции герметизируемого узла, что требует разработки специализированных форм герметиков.

Одним из наиболее доступных и экономичных способов создания трехмерных объектов является FDM-печать, для которой необходимы стеклонаполненные филаменты. Актуальной задачей является разработка композитного материала на основе термопластичного связующего и стеклогерметика, пригодного для использования в широко доступных 3D-принтерах.

В ВятГУ был разработан и испытан ряд стеклополимерных композитных составов с высоким содержанием стеклогерметика [1,2] на основе: а) поликапролактона; б) термоэластопласта стирол-этилен-бутилен-стирола (СЭБС) и полипропилена. Из этих материалов были изготовлены филаменты для FDM-печати, а также напечатаны изделия для герметизации ТОТЭ, содержащие до 47 % об. стеклогерметика. Был оптимизирован температурный профиль для удаления органического связующего и обеспечения склейки металлического токосъема (интерконнектора) и керамическими топливными элементами стеклогерметиком. Установлено, что после склейки в структуре стеклогерметика остаются небольшие пузырьки и закрытые поры, образовавшиеся в результате разложения полимерного связующего. Герметичность соединения была подтверждена методом измерения напряжения разомкнутой цепи при работе ТОТЭ, что исключает наличие утечек газа.

Таким образом, разработаны композитные материалы с высокой степенью наполнения стеклогерметиком, пригодные для FDM-печати. Изделия из таких филаментов могут быть использованы для производства полуфабрикатов, обеспечивающих герметизацию ТОТЭ с высокой эффективностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Saetova N.S. et al. The development of 3D technology for the creation of glass sealants for tubular oxide fuel cells // Int. J. Appl. Glass. Sci., Vol. 13, Issue 4, 2022, pp. 684–694, DOI: 10.1111/ijag.16578;
2. Tolstobrov I.V. et al. Fused deposition modeling of glass sealants: A new approach to SOFC sealing // Ceram. Int., Vol. 50, Issue 11, Part B, 2024, pp. 19561-19570, DOI: 10.1016/j.ceramint.2024.03.068.

Работа выполнена при поддержке РНФ № 21-79-30051 и программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

# ПОЛИАКРИЛАТНЫЕ НАНОСФЕРЫ С МОРФОЛОГИЕЙ «ЯДРО-ОБОЛОЧКА», СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ ПОЛИМЕРНЫМ ПАВ

Точилов Д.М., Слепцова О.В.

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия  
394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, 1  
jeffray@mail.ru

Полимерные частицы с различной структурой активно разрабатываются и исследуются по всему миру, поскольку материалы на их основе обладают уникальными свойствами и широким спектром применимости [1]. Наноразмерные сферы вызывают особый интерес как своеобразные «наноконтейнеры» для различных функциональных частиц [1-2]. В связи с этим, разработка и оптимизация методик синтеза полимерных сферических частиц наноразмерного диапазона – актуальные задачи.

Цель данной работы – разработка и оптимизация условий синтеза поликарлатных наносфер с морфологией «ядро-оболочка». В качестве материала ядра выступали полибутилакрилат и полибутилметакрилат, в качестве материала оболочки – сетчатый сополимер N,N-диметиламиноэтилметакрилата и дивинилбензола. Выбор данных полимеров обеспечивает возможность последующего удаления ядра и получения наночастиц уже с иной морфологией – «полые сферы».

Синтез осуществляли методом непрерывной эмульсионной полимеризации по радикальному механизму. Инициатор – персульфат калия, активатор – метабисульфит натрия; дисперсная фаза – вода. Важной особенностью данной работы является применение для стабилизации водной эмульсии полимерного ПАВ, а именно – Pluronic P123: триблок-сополимер, состоящий из полиэтиленгликольных (ПЭГ) и полипропиленгликольных (ППГ) звеньев, ПЭГ<sub>20</sub>-ППГ<sub>70</sub>-ПЭГ<sub>20</sub>. Конформационные и надмолекулярные эффекты, возникающие при растворении и самоорганизации молекул в ассоциаты и мицеллы [3], оказывают существенное влияние на процессы солюбилизации компонентов полимеризационной смеси и на процесс полимеризации в целом.

Была исследована (гравиметрический метод, метод динамического рассеяния света) кинетика процесса полимеризации мономеров ядра, определен промежуток времени, оптимальный для начала полимеризации сомономеров оболочки и необходимая концентрация полимерного ПАВ. Методом динамического светорассеяния установлено, что синтезированные системы являются монодисперсными, гидродинамический радиус частиц ( $R_h$ ) - от 50 до 70 нм. Сферическая форма частиц подтверждена методами проникающей электронной микроскопии и атомно-силовой микроскопии. Исследование стабильности полученных водных дисперсий позволило судить об их агрегативной устойчивости, обеспечиваемой структурно-механическим фактором – наличием полимерного ПАВ на поверхности частиц.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kocak G., Tuncer C., Butun V. *The Royal Society of Chemistry: Polymer Chemistry*, 2017, 8, 144-176.
2. Beach M.A., Nayanathara U., Gao Y., Zhang C., Xiong Y., Wang Y., Such G.K. *Chemical Reviews*, 2024, 124(9), 5505-5616.
3. He Z., Alexandridis P. *Polymers*, 2017, 10(1), 1-18.

# НОВАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛАСТОМЕРОВ

Полухин Е.Л., Фирсова А.В., Игуменова Т.И.

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

В процессе литиевой анионной (со)полимеризации для регулирования микроструктуры диеновой части макромолекулы и ускорения процесса (со)полимеризации к литийорганическому соединению добавляют электронодонорные соединения, чаще всего это моно- и бидентантные простые эфиры, например тетрагидрофуран или дитетрагидрофурфурилпропан [1]. Однако известные электронодоноры эфирного типа не предотвращают гелеобразования при сополимеризации и не связывают микропримеси в шихте, поступающей на сополимеризацию. В отличие от электронодоноров эфирного типа, алкоголяты щелочных и щелочноземельных металлов связывают микропримеси, разрушающие н-бутиллитий, которые присутствуют в шихте (растворитель и мономеры). Это позволяет снизить расход н-бутиллития. Кроме того, указанные алкоголяты предотвращают обрастане гелем полимеризаторов в процессе непрерывной полимеризации.

Разработана новая функциональная добавка на основе алкоголятов и исследован способ ее получения [2]. Способ заключается во взаимодействии смеси алкилкарбита или оксипропилированного глицерина (Лапрол-373) и аминосодержащего спирта, выбранного из N,N,N',N'-тетра(β-оксипропил)этилендиамина (Лапрамол-294) или оксипропилированного анилина и оксипропилированного толуидина, в эквивалентном соотношении эфироспирт : аминосодержащий спирт, равном (1,0-4,0):1,0, с гидроксидами металлов натрия, калия, бария или металлическим натрием или их смесью при эквивалентном соотношении гидроксильная группа : гидроксиды металлов или щелочной металл, равном 1,0:(0,5-1,0), соответственно. Далее на второй стадии полученная спиртовоалкоголятная смесь взаимодействует с кальцием или магнием при эквивалентном соотношении алкохильная группа:щелочноземельный металл, равном 1,0:(0,1-1,0). В результате получена новая функциональная добавка, которая выполняют следующие функции:

1. Сближает константы сополимеризации сопряженного диена и винилароматического соединения, обеспечивая статистическое распределение винилароматического соединения.
2. Регулирует микроструктуру диеновой части полимера.
3. Повышает скорость сополимеризации мономеров.
4. Обеспечивают целевое молекулярно-массовое распределение ( $M_w/M_n = 1,8 \div 2,2$ ) в непрерывном процессе сополимеризации.
5. Предотвращают обрастане полимеризаторов высокомолекулярным полимером, что обеспечивает содержание геля в полимере не более 0,1 % масс. и длительную работу полимеризационной батареи без чистки (не менее 1 года).
6. Связывает полярные примеси в шихте (растворитель, бутадиен, стирол) такие как вода,  $O_2$ ,  $CO_2$  и другие примеси разрушающие н-бутиллитий, что обеспечивает низкий его расход.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Глуховской В.С., Харитонов А.Г., Бердников В.В., Комаров Е.В., Фирсова А.В., Земский Д.Н., Полухин Е.Л., Румянцева А.Л. Стереорегулирование структуры в процессе (со)полимеризации диенов и бутадиена со стиролом в присутствии металл-алкоголятных инициаторов // Промышленное производство и использование эластомеров. – 2021. – № 1. С. 10-15.
2. Патент RU № 2812838 от 02.02.2024.

# ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ НЕСОВМЕСТИМЫХ ПОЛИМЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ФЛЮИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Хабриев И.Ш.<sup>1</sup>, Хайрутдинов В.Ф.<sup>1</sup>, Абдулагатов И.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, 68*

<sup>2</sup> *Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики  
Филиал Объединенного института высоких температур Российской академии наук  
Россия, 367030, Махачкала, просп. И. Шамиля, 39-а  
termi0@yandex.ru*

Полимерные материалы и изделия из них широко применяются во всех отраслях промышленности, техники и бытового хозяйства, однако не все полимеры обладают необходимым комплексом свойств. Поэтому создание новых перспективных полимерных композитов в результате смешения полимеров является достаточно актуальной задачей и позволяет получать материалы с необходимым сочетанием свойств.

В настоящее время одним из перспективных направлений смешения и диспергирования полимерных материалов является достаточно большая группа методов, использующих процессы с участием сверхкритических флюидных сред и, несомненно, сверхкритического диоксида углерода. В отличие же от традиционных методов смешения и измельчения эти высокочувствительные к режиму осуществления процесса технологии позволяют получать однородные, с определенными физико-химическими свойствами и размерами частицы.

Предметом же настоящего исследования является смешение термодинамически несовместимых поликарбоната и полиэтилена высокого давления с использованием процесса диспергирования по методу сверхкритического флюидного антирастворителя, а именно по методу SEDS.

Представлены результаты совместного диспергирования полимерных смесей поликарбоната и полиэтилентерефталата, осуществленного в диапазоне давлений 8.0÷25МПа при температурах 313-353 К с использованием метода SEDS. Исследованы кинетики кристаллизации и превращения фаз в смесях полимеров, полученных смешением в расплаве и с использованием метода SEDS. Приведены результаты исследования физико-механических характеристик исследуемых смесей.

Для проведения совместного диспергирования полимерных смесей была использована экспериментальная установка разработанная авторами данного проекта и представленная в работах [1].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Khabriev I.Sh., Khairutdinov V.F., Gumerov F.M., Khuzakhanov R.M., Garipov R.M., Abdulagatov I.M. *J. Molecular Liquids*, **2021**, 337, 116371.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) от 29.12.2022 г. № 075-01508-23-00 (Сверхкритические флюидные технологии в переработке полимеров (FZSG-2023-0007)).

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ СТРУКТУРЫ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Хамзина Д.А., Борисов С.В., Ваниев М.А., Новаков И.А.

*Волгоградский государственный технический университет, Россия, Волгоград, проспект имени В.И. Ленина, 28  
E-mail: [dariakham@yandex.ru](mailto:dariakham@yandex.ru)*

Разработка биполимерных матриц на основе эпоксидных смол представляет собой перспективное направление научных исследований, что обусловлено возможностью целенаправленного управления физико-механическими, адгезионными и эксплуатационными свойствами получаемых материалов. Однако сшитые эпоксидные смолы характеризуются низкой ударной вязкостью и трещиностойкостью при комнатной температуре из-за своей хрупкости. Одним из современных методов решения данной проблемы является введение в систему второй микрофазы, что позволяет повысить устойчивость материала к растрескиванию. В качестве модифицирующих добавок, способных формировать многофазную структуру полимера в процессе отверждения, целесообразно использовать специализированные термопласти. В рамках проведенных исследований был предложен подход, основанный на совмещении различных концентраций термопластичного полиуретана (ТПУ) с триэтилентетрамином (ТЭТА) с последующим отверждением эпоксидной смолы ЭД-20 (Пат. РФ 2813712). В качестве модификатора использовался термопластичный полиуретан (ТПУ) марки Экопур-Т, производимый компанией ООО ПФ "Аксиос-Джет". Таким образом, целью работы является изучение фазовой структуры композиций на основе эпоксидной смолы ЭД-20, отверженной триэтилентетрамином (ТЭТА) и модифицированной термопластичным полиуретаном (ТПУ). Фазовую структуру объектов исследования изучали на сканирующем электронном микроскопе JSM-6060A (JEOL, Япония).

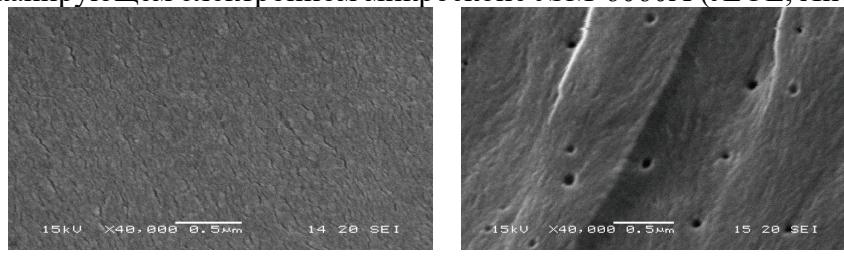


Рисунок 1 - СЭМ-изображения фазовой структуры в отверженной ТЭТА системе ЭД-20 – ТПУ. Концентрация ТПУ: а-0, б -25 %мас.

Исследование фазовой структуры систем (рис. 1) показало, что в отличие от отверженного эпоксидного олигомера, модифицированная ТПУ система характеризуются фазовой структурой типа матрица-дисперсия с размерами дисперсных фаз не превышающими 80 нм. При физико-механических исследованиях композиций, в которых наблюдается формирование в процессе отверждения структур обогащенных термопластом происходит рассеивание энергии роста трещины, что находит свое отражение в возрастании ударо-прочностных свойств композита. При оценке ударной вязкости эпоксидных полимеров с ТПУ выявлено, что наибольший прирост ударной вязкости (до 73%) наблюдается при введении 1,5 – 2 масс. ч. модификатора.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (ФЗУС-2024-0001).

# ИЗОСТРУКТУРНЫЕ 2D-КООРДИНАЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРЫ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ КАК КАТАЛИЗАТОРЫ РЕАКЦИИ ВЫДЕЛЕНИЯ КИСЛОРОДА

Хризанфоров М.Н.<sup>1,2</sup>, Самороднова А.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ИОФХ им. А.Е. Арбузова - обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, 420088, Россия, г. Казань, ул. Арбузова, д. 8.

<sup>2</sup> Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, 119991, Россия, г. Москва  
ул. Ленинский проспект, 47  
khrizanforov@gmail.com

Разложение воды является ключевым процессом в технологии производства водорода, а реакция выделения кислорода (РВК) является ограничивающим этапом этого процесса. В настоящей работе впервые исследованы изоструктурные двумерные координационные полимеры (2D-КП), на основе 1,1'-ферроцендиил-бис-Н-фосфиновой кислоты и различных узлов (Co, Mn, Cd) в качестве электрокатализаторов РВК. Эти полимеры были получены в растворе, что позволило синтезировать кристаллические материалы с высокой структурной целостностью. Электрокатализические свойства 2D-КП оценивались в 0,1 М KOH в трёхэлектродной системе, где композиты на основе Co- и Cd-КП продемонстрировали высокую каталитическую активность при перенапряжении 236-255 мВ при плотности тока 10 мА см<sup>-2</sup>, что превосходит многие ранее известные катализаторы РВК на основе КП.[1]

Дополнительно проведены исследования стабильности синтезированных материалов, включая сорбцию-десорбцию водяного пара и рентгеновскую дифракцию после продолжительного электролиза. Результаты подтвердили сохранение 2D-структур и каталитической активности в течение длительного времени. Комплексное исследование позволило выявить влияние металлического центра и ферроценилфосфинатного лиганда на каталитическую активность данных материалов. Настоящая работа демонстрирует потенциал использования координационных полимеров как перспективных катализаторов для реакций электрохимического разложения воды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Khrizanforov M.N., Samorodnova A.P., Bezkishko I.A., Gainullin R.R., Kholin K.V., Gubaidullin A.T., Shekurov R.P., Miluykov V.A., 2D Coordination Polymers of Transition Metals as Catalysts for Oxygen Evolution Reaction. *Materials Reports: Energy*, **2025**, Accepted

Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан».

# МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИУРЕТАНОВОЙ МЕМБРАНЫ, ОБРАБОТАННОЙ ПОТОКОМ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИОНОВ

Чиклеев И.А., Сайфутдинова И.Ф., Азанова А.А.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
Казань, Россия  
420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68  
tred302@mail.ru*

Обработка потоком низкоэнергетических ионов (ПНЭИ) в газовых разрядах [1-3] широко применяется для модификации текстильных материалов и полимерных пленок, что позволяет направленно изменять их механические характеристики.

Объектом испытаний являлась полиуретановая (ПУ) мембрана (ООО «Меркурий», г. Иваново), которая применяется для изготовления мембранных материалов для аутдор- и спецодежды. Обработка ПНЭИ осуществлялась в среде плазмообразующих газов – смеси аргона и углекислого газа (70/30). Параметры обработки: расход газа (G) 0,04 г/с, давление газа (P) 30-35 Па, мощность разряда (W) 0,5 и 1,5 кВт, время обработки ( $\tau$ ) 5 и 30 минут. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Механические показатели ПУ мембранны, обработанной потоком низкоэнергетических ионов

№ п/п	Плазмообра- зующая среда	W, кВт	$\tau$ , мин	$\varepsilon_r$ , %		$F_r$ , Н		$\sigma_r$ , МПа	
				вдоль	попе- рек	вдоль	поперек	вдоль	поперек
1	аргон/угле- кислый газ (70/30)	0,5	5	498	414	12	10	23	20
2			30	442	424	11	11	21	21
3		1,5	5	487	400	7	9	15	18
4			30	467	414	12	10	24	20
	Контрольный образец			403	398	6	7	13	14

Установлено, что обработка ПНЭИ приводит к повышению показателей механических свойств ПУ мембранны: увеличение разрывной нагрузки и прочности при разрыве  $F_r$  во всех вариантах обработки составило от 16 до 100%, модуля упругости  $\sigma_r$  – от 15 до 84 %. Наибольшее значение относительного разрывного удлинения  $\varepsilon_r$  модифицированного образца составило 498 %, получено при мощности разряда 0,5 кВт и времени обработки 5 минут. Таким образом, обработка ПУ мембранны ПНЭИ положительно влияет на ее механические характеристики, а подбор оптимальных режимов обработки позволит достигать требуемых значений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Быстрова П.Г., Лисаневич М.С. *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, научные технологии и материалы (SMARTEX)*, 2020, 1, 262-263.
2. Хамматова В.В. *Вестник Казанского технологического университета*, 2014, . 17. 66-68.
3. Федосов С.В., Акулова М.В., Таничев М.В. *Инженерные и социальные системы*, 2016, 34-42.

# ОСОБЕННОСТИ ПОСТПОЛИМЕРИЗАЦИОННОЙ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИАЛКИЛМЕТАКРИЛАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ

Шанвар С.<sup>1</sup>, Колякина Е.В<sup>1</sup>., Перепелицина Е.О.<sup>2</sup>, Гришин Д.Ф.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Нижегородский государственный университет  
603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и  
медицинской химии РАН  
142432, Московская обл., г. Черноголовка, пр. Ак. Семенова, д. 1  
[sameehshanwar.1995@gmail.com](mailto:sameehshanwar.1995@gmail.com)

Заметной тенденцией в современной химии полимеров является растущее внимание к макромолекулам со сложной архитектурой, среди которых выделяют дендримеры, гиперразветвленные полимеры, молекулярные щетки, полимеры в виде звезд и нано- или микрогели. Такие полимерные структуры в сравнении с линейными макромолекулами характеризуются более высокой плотностью мономерных звеньев на единицу объема, что придает им особые свойства. Развиваемые в последние десятилетия методы контролируемой радикальной полимеризации позволяют получать полимеры различной топологии как на стадии синтеза, так и на стадии постполимеризационной модификации.

Нами впервые с целью получения линейных полимеров большей молекулярной массы (ММ) и звездообразных макромолекул был разработан метод постполимеризационной модификации полимеров, полученных методом обратимой передачи цепи в присутствие 2-пропил-2-цианодитиобензоата. Процесс сочетания макромолекул (полиметилметакрилата, полиалкилметакрилатов фракции С<sub>10</sub>-С<sub>14</sub>, полицетилметакрилата) содержащих дитиобензоатные концевые фрагменты, проводили в растворе в присутствии катализитической системы на основе CuBr (рис. 1).

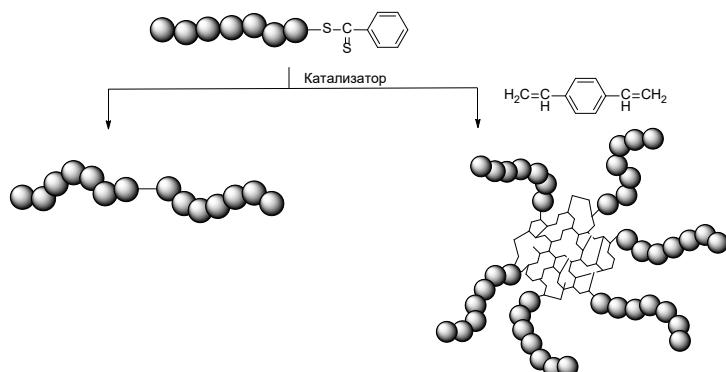


Рис. 1. Формирование линейных и звездообразных полимеров.

Показано, что степень сочетания макромолекул определяется как строением, так и молекулярно-массовыми характеристиками исходных полимеров. Установлено, что в ряду полиметилметакрилат, полиалкилметакрилаты фракции С<sub>10</sub>-С<sub>14</sub>, полицетилметакрилат и с увеличением их ММ степень сочетания уменьшается. Данные закономерности обусловлены конформацией макромолекул, а также стерическими факторами, создаваемыми алкильными заместителями эфирной группы у реакционного центра. Предложенная методика позволила синтезировать полимеры звездообразной архитектуры с количеством от трех до двадцати лучей и полидисперсностью 1.4-2.0.

# СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИАМФОЛИТОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ХЛОРИДА ТРИМЕТИЛАМИНОЭТИЛАКРИЛАТА

Шантроха Д.А.<sup>1</sup>, Байбурдов Т.А.<sup>1,2</sup>, Ступенькова Л.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия  
410012, Россия, г. Саратов, ул. Астраханская, д.83  
da820@yandex.ru

<sup>2</sup>ООО «АКРИПОЛ», Саратов, Россия 410059, Россия, г. Саратов  
пл. Советско-Чехословацкой дружбы, 1.

Известным способом получения синтетических полиамфолитов является радикальная сополимеризация анионных акриловых мономеров с четвертичными аммониевыми солями. Перспективы данных соединений обусловлены их свойствами, такими как зависимость конформации макромолекул от pH и ионной силы и возможность их регулировки [1].

Целью работы являлось синтез полиамфолитов на основе акриловой кислоты (АК) и хлорида trimетиламиноэтилакрилата (ТМАЕМС), исследование влияния pH на конформацию макромолекул.

Объектами исследования служили полиамфолиты на основе АК и ТМАЕМС, с мольным соотношением мономеров 1:1, полученные методом свободнорадикальной полимеризации, а также их водные и водно-солевые растворы в широком диапазоне pH.

Путем варьирования условий радикальной сополимеризации были получены образцы полиамфолитов с предельным числом вязкости  $[\eta]$  -1,5-6,7 дL/g, измеренной в 10% растворе NaCl при 25 °C. Для сополимеров данного состава проведено исследование поведения макромолекул в водном растворе в широком диапазоне pH. На рисунке 1а приведена зависимость удельной вязкости ( $\eta_{уд}/C$ , дL/g) от pH, наиболее развернутую конформацию макромолекула принимает в кислой области за счет ионизированных катионных звеньев, с увеличением pH происходит компенсация заряда, приводящая к сжиманию макромолекулярного клубка. Полученные результаты коррелируются с данными седиментации супензии мела в присутствии полиамфолита (рисунок 1б), где наблюдается уменьшение скорости седиментации (V, мм/с) с увеличением pH.

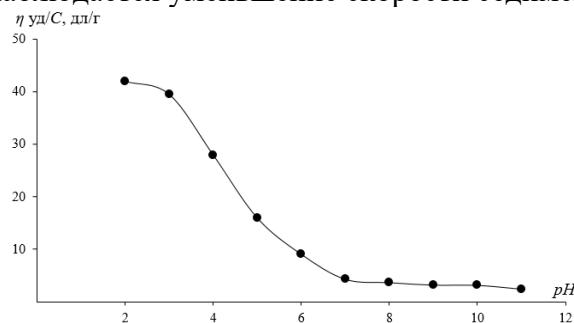


Рис. 1а- зависимость удельной вязкости  $\eta_{уд}/C$  0,25%-го водного раствора полиамфолита ( $[\eta]$  -4,0 дL/g) от pH.

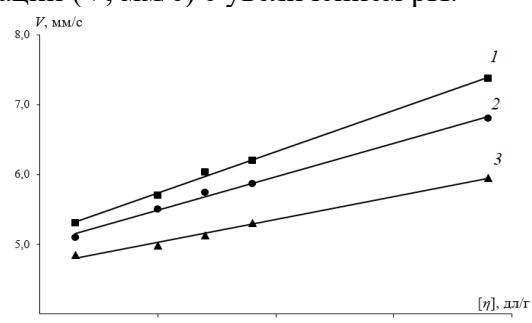


Рис. 1б- зависимость скорости седиментации (V, мм/с) супензии мела от предельного числа вязкости. 1-pH= 2,3, 2- pH= 4,2 , 3- pH= 6,0.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ciferri A., Kudaibergenov S. *Macromolecular rapid communications*, 2007, 28, 1953-1968.

## ПРИВИВОЧНАЯ СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ 2-АКРИЛАМИДО-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ НА ОБЛУЧЕННУЮ ПОЛИЭТИЛЕНОВУЮ ПЛЕНКУ

Швецова Е.Ю.<sup>1</sup>, Байбурдов Т. А.<sup>1,2</sup>, Обшицер А.С.<sup>2</sup>, Сидорова Н.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия  
410012, Россия, г. Саратов, ул. Астраханская, 83  
rina.shvetsova.01@mail.ru

<sup>2</sup>ООО «АКРИПОЛ», Саратов, Россия  
410059, Россия, г. Саратов пл. Советско-Чехословацкой дружбы, 1.

Прививочная полимеризация является эффективным методом создания ионообменных мембран [1]. Большое количество работ по синтезу таких ионитов рассматривает использование виниловых мономеров, относящихся к слабым кислотам, таких как акриловая кислота (АК) ( $pK_a=4.25$ ), что может влиять сорбционные свойства мембранны.

В данной работе рассматривается радикальная прививочная сополимеризация АК в присутствии сильной кислоты – 2-акриламидо-2-метилпропансульфоновой кислоты (АМПС) ( $pK_a =2.0$ ) [2] в виде натриевой соли, на облученные пленки полиэтилена высокого давления (ПЭВД) при различных концентрациях сомономеров. Инициирующая система реакционной смеси включала  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6 H_2O$ .

Для синтезированных сополимеров были получены значения степени прививки (P, %) и степени равновесного набухания в воде (W, г/г) кислой и нейтрализованной формы образцов по стандартным методикам. Установлено, что введение в реакционную массу АМПС-На в качестве сомономера приводит к увеличению степени прививки образцов с 120% до 141%, в сравнении со стандартным образцом нАК-ПЭВД. Параметр W у образцов нАК-АМПС-Н-ПЭВД показал большие значение, чем у образцов нАК-ПЭВД 5,2 и 4,4 г/г соответственно.

Способность мембраны к адсорбции тяжелых ионов хрома ( $Cr^{+3}$ ) из раствора оценивали фотоколориметрически. По полученным данным рассчитывали сорбционную емкость образцов (СЕ, мг/г) по формуле  $[(C_0-C_1) \cdot V] / [m]$ , где  $C_0$  - концентрация ионов хрома до и  $C_1$  - после погружения пленки в раствор, m - масса сополимера (г), V- объем раствора ионов хрома ( $Cr^{+3}$ ) взятого для анализа (мл). Результаты приведены ниже (табл.1).

Таблица 2. Сравнительная оценка сорбционной емкости образцов разного состава

Образец	P, %	m, г	$C_0$ , мг/см <sup>3</sup>	$C_1$ , мг/см <sup>3</sup>	СЕ, мг/г
нАК-ПЭВД	120	$2,44 \cdot 10^{-2}$	0,80	0,62	191
нАК-АМПС-На-ПЭВД	141	$2,62 \cdot 10^{-2}$	0,80	0,50	339

Сравнительная оценка образцов показала, что при одинаковых условиях у сополимера состава нАК-АМПС-На-ПЭВД адсорбция ионов хрома намного выше, чем у образца нАК-ПЭВД, о чем свидетельствует большее значение сорбционной емкости.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Lim K.L., Wong C.Y., Wong W.Y., Loh K.S., Selambakkannu S., Othman N.A.F., Yang H. *Membranes*, **2021**, 11, 397.
2. Atta A.M. et al. *Journal of Applied Polymer Science*, **2011**, 122, 999-1011.

# ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ, КАРБОКСИФОСФАЗЕНА И ЛИТИЕВЫХ СОЛЕЙ

Ши Б.<sup>1,2</sup>, Константина А. О.<sup>1</sup>, Лукашов Н. И.<sup>1</sup>, Чистяков Е. М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Москва, Россия  
125047, Россия, г. Москва Миусская площадь 9.

<sup>2</sup>Нанкинский университет науки и техники, Нанкин, Китай  
210094, Китай, г. Нанкин ул. Сяолинвэй, д. 200.  
shibaichuan@mail.ru

Эпоксидные смолы благодаря выдающимся механическим свойствам, химической стойкости и электроизоляционным характеристикам нашли широкое применение в аэрокосмической промышленности, автомобилестроении и электротехнике. Однако высокая горючность и недостаточные электротехнические характеристики ограничивают их использование в современных носителях электрической энергии. Разработка многофункциональных композиций на основе эпоксидных смол, сочетающих огнезащитные и электропроводящие свойства, представляет собой ключевое направление для расширения областей их применения.

Как правило, для улучшения электропроводимости эпоксидной смолы добавляются такие наполнители, как углеродные нанотрубки, а также различные металлы. Однако литиевые соли благодаря своему ионному механизму проводимости демонстрируют преимущества в плане низкого энергопотребления и безопасности, что делает их более предпочтительными для создания твердых электролитов, антистатических материалов и других областей применения. Образовавшиеся в результате диссоциации литиевой соли в эпоксидной матрице ионы  $\text{Li}^+$  формируют ионные миграционные каналы через полярные группы полимера, обеспечивая электропроводность. Согласно литературным данным, эпоксидная kleевая смола с содержанием 3 масс. % хлорида лития достигает проводимости  $8,7 \times 10^{-4}$  С/м при 25°C. Однако при использовании эпоксидных смол в литий-ионных батареях существенным недостатком является горючность. Традиционные галогенированные соединения могут эффективно повышать огнестойкость эпоксидных смол, но токсичные газы, выделяющиеся в процессе их термического разложения, представляют угрозу для окружающей среды и безопасности. Поэтому они постепенно заменяются безгалогенными огнезащитными системами. Соединения, основанные на карбоксифосфазене, вызывают особый интерес благодаря своему уникальному P-N кооперативному эффекту в области огнезащиты. В газовой фазе они нейтрализуют свободные радикалы, а в конденсированной фазе способствуют образованию коксового слоя. При этом они ковалентно встраиваются в эпоксидную матрицу, что исключает миграцию антиприренов на поверхность.

В рамках данного исследования на основе эпоксидной смолы УП-637 была разработана многокомпонентная композитная система с использованием сильного аполярного аprotонного растворителя – диметилсульфоксида для растворения карбоксифосфазена и литиевых солей. В качестве литиевых солей выбраны хлорид и гидроксид лития. Были получены однородно диспергированные композитные материалы, которые после отверждения продемонстрировали превосходные огнезащитные свойства, электропроводность и высокую температуру стеклования.

Таким образом, разработанный материал потенциально применим в электропроводящих kleевых пленках, антистатических покрытиях и проводящих мембранах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Guo W. и др. *Compos. Part B Eng.*, **2020**, 192, 107990.
2. Kakimoto K. и др. *J. Solid State Electrochem.*, **2022**, 26, 1349-1357.
3. Liu J., Zhang X., Liu S., Lei C. *Polym. Degrad. Stab.*, **2022**, 200.

# ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТЫ НА ОСНОВЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ КАУЧУКОВ И ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА

Широкова Е.С.<sup>1</sup>, Черепанова В.А.<sup>1</sup>, Гринченко А.И.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Вятский государственный университет, Киров, Россия*

*610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36.*

*usr06779@vyatsu.ru*

Резины на основе фторкаучуков обладают рядом преимуществ. Наличие атомов фтора, прочность связи фтор-углерод и отсутствие ненасыщенных связей в основной цепи обеспечивают высокую механическую прочность и отличную агрессивостойкость к минеральным маслам, органическим растворителям, топливу. Такие резины не поддерживают горение и способны функционировать в различных температурных условиях. Тем не менее необходимость вулканизации каучука требует применения сложного оборудования, крупных капиталовложений и значительных временных затрат на производство единицы продукции. Более того, резины либо полностью не подлежат вторичной переработке, либо такая переработка является дорогостоящей, а рост количества отходов может представлять проблему для окружающей среды.

Для сохранения эластичности, свойственной резиновым изделиям, но при этом обеспечения возможности их повторной переработки используют термоэластопласти (ТЭП). ТЭП бывают двух типов: блок-сополимеры и композиции каучук-пластмасса. Последние представляют больший интерес для исследований, так как можно легко регулировать свойства получаемых материалов в широких пределах, изменяя соотношения компонентов.

На сегодняшний день авторами получены и исследованы смесевые и динамические ТЭП на основе каучуков СКФ-26, СКФ-32 и поливинилиденфторида Фторопласт-2М марки А АО «Галполимер» (производство ориентировано на имеющуюся в стране сырьевую базу) [1-3]. В качестве вулканизующего агента исследована перекись – ди-(2-третбутилпероксизопропил)-бензол (Retic 40 СС) в различных дозировках. Для полученных материалов показана возможность варьирования технологических и физико-механических характеристик в широких пределах (изменением соотношения используемых компонентов). Также была подтверждена возможность многократной переработки полученных ТЭП (после трёх циклов переработки значительного снижения прочности не происходит). В ходе работы установлена отличная стойкость ТЭП к воздействию агрессивных сред (изменение массы после воздействия бензина АИ-92, серной кислоты концентрацией 80%, натрия гидроокиси концентрацией 50% и масла И-40 не превысило 1% по прошествии трёх месяцев).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Широкова Е.С., Фомин С.В., Морозова З.А., Гринченко А.И., Бузник В.М. Новые термоэластопласти на основе ПВДФ/каучук СКФ-32: влияние состава на технологические и эксплуатационные свойства // *Известия высших учебных заведений. Серия "Химия и химическая технология"*, 2024, 67(3), 111-118.
2. Гринченко А.И., Черепанова В.А., Морозова З.А., Широкова Е.С., Касперович А.В. *Динамический термоэластопласт на основе ПВДФ/СКФ26, Нефтегазохимия – 2024*, 2024, 89-91.
3. Гринченко А.И., Морозова З.А., Широкова Е.С., Фомин С.В. Смесевой термоэластопласт на основе ПВДФ/СКФ26, М.: ИОНХ РАН, 2024, 248-249.

# РАДИОЛИЗ КАРБОКСИМЕТИЛХИТИНА В СОЛЕВОЙ ФОРМЕ

Широкова Л.Н.<sup>1</sup>, Александрова В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиеva Российской академии наук,  
Москва, Россия

119991, ГСП-1, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, 29  
shirokova@ips.ac.ru

Цель работы – исследование влияния дозы  $\gamma$ -облучения на вероятность расщепления основной цепи солевой формы 6-О-карбоксиметилхитина (КМХ-На) по гликозидным связям, что может приводить к уменьшению молекулярной массы КМХ-На. Биополимер КМХ-На является матрицей, определяющей размер и форму наночастиц металла, для получения функциональных гибридных металл-полимерных композитных наноматериалов для биомедицины.

Водорастворимая солевая форма КМХ-На с молекулярной массой  $8 \times 10^4$  и степенью карбоксилирования 1.0 получали из хитина согласно известной методике.

Показано, что  $\gamma$ -облучение полимера-носителя КМХ-На в интервале поглощенных доз 2–10 кГр не оказывает существенного влияния на структуру основной цепи полимера КМХ-На. Дальнейшее увеличение суммарной дозы  $\gamma$ -облучения выше 15 кГц нежелательно, поскольку может приводить к уменьшению молекулярной массы КМХ-На вследствие расщепления основной цепи по гликозидным связям. Так, в ИК-Фурье-спектре образца КМХ-На, подвергнутого  $\gamma$ -облучению в дозе 10 кГр по сравнению с необлученным КМХ-На наблюдали незначительное снижение интенсивности полос в области 1000–1110  $\text{cm}^{-1}$ , относящихся к простым эфирным связям, и повышение интенсивности полос –OH групп в области 3400–3500  $\text{cm}^{-1}$  (рис. 1). Возможно, при получении наночастиц радиационно-химическим методом частично происходит разрыв связей –C–O–C и образование новых связей –OH.

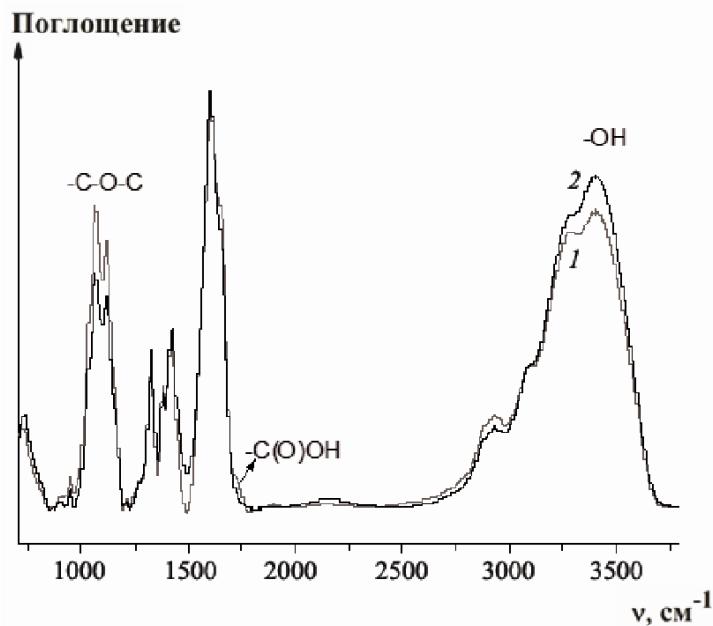


Рисунок 1. ИК-спектры пленок на чипе из водного раствора КМХ-На (1) и раствора КМХ-На подвергнутого  $\gamma$ -облучению в дозе 10 кГр (2)

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИНХС РАН.

## ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК ХИТОЗАН-ПОЛИВИНИЛОВЫЙ СПИРТ

Шуршина А.С., Кулиш Е.И.

*Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия  
450076, Россия, г. Уфа, Заки Валиди, д. 32  
anzhela\_murzagil@mail.ru*

Полимерные композитные материалы находят широкое применение в различных областях, включая медицину, благодаря их уникальным свойствам, таким как биосовместимость, гибкость и возможность контролируемого разложения. В частности, полимерные композитные пленки активно используются в лечении ран, где они выполняют функции защиты поврежденных тканей, поддержания оптимальной влажной среды и доставки лекарственных средств. Одной из ключевых проблем при использовании полимерных пленок в медицине является их недостаточная стабильность в физиологических условиях. Данный факт может приводить к преждевременной потере механической прочности и функциональности, что ограничивает их применение в лечении хронических ран или в условиях, требующих длительного терапевтического воздействия.

Особый интерес в решении данной проблемы представляет создание композиционных полимерных пленок путем введения второго полимера. Например, комбинация поливинилового спирта (ПВС) и хитозана (ХТЗ) демонстрирует значительный потенциал благодаря синергетическому эффекту: ПВС обеспечивает высокую механическую прочность и стабильность, а ХТЗ вносит вклад в биосовместимость и антимикробные свойства. Такие композиты открывают новые перспективы для создания полимерных пленок с улучшенными характеристиками. В связи с этим, целью данной работы стало создание композиционных полимерных пленок на основе ПВС и ХТЗ и исследование их транспортных свойств.

Предварительно была проведена работа по изучению характеристической вязкости исходных полимеров и их смесей. В ходе исследований было установлено, что характеристическая вязкость смеси меняется по кривой, лежащей выше аддитивной зависимости, и проходит через максимум, соответствующий составу 20 % ПВС. Данный факт свидетельствует об образовании гетероагрегатов ХТЗ-ПВС, которые, как известно, характеризуются пониженной плотностью упаковки и большими размерами, что, несомненно, должно отразиться как на сорбционных, так и на транспортных свойствах матрицы.

Действительно, при изучении сорбционных свойств полимерной матрицы на основе смеси полимеров было показано, что и в этом случае количество сорбированной воды смесью полимеров меняется по кривой, лежащей выше аддитивной зависимости, и проходит через максимум, соответствующий составу 20 % ПВС, также как это было при изучении характеристической вязкости. Транспортные свойства пленок изучались в отношении высвобождения цефазолина (ЦФЗ) из композитных пленок. Было обнаружено, что из смесевых пленок ЦФЗ выходит с большей скоростью и в большей степени, чем из индивидуальных пленок полимеров. Очевидно, пленки из смеси полимеров обладают пониженной плотностью упаковки, и соответственно лучшими транспортными свойствами, что возможно только в случае образования гетероагрегатов.

Таким образом, в ходе выполнения работы показано, что модификация полимерной матрицы вторым полимером позволяет улучшить сорбционные свойства пленки и контролировать ее транспортные свойства.

## ПОЛИМЕРНЫЕ МИКРОЧАСТИЦЫ: ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ПОЛИКАТИОНАМИ

Южанин К.И.<sup>1,2</sup>, Панова И.Г.<sup>1,2</sup>, Кожунова Е.Ю.<sup>1</sup>, Шевченко Н.Н.<sup>2</sup>, Ярославов А.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, д. 1

<sup>2</sup>Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия  
173003, Россия, г. Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41  
0073158@mail.ru

Использование материалов и композитов на основе полимеров в настоящее время занимает одну из лидирующих позиций во многих областях деятельности человека. При этом большинство таких материалов после окончания своего срока службы становятся отходами и попадают в окружающую среду. Подвергаясь воздействию различных природных условий (температура, свет, воздействие различных реагентов), полимерные материалы постепенно разрушаются, в результате чего образуются мельчайшие частицы микропластика (МП) различных размеров.

Длительное воздействие факторов окружающей среды изменяет строение и надмолекулярную организацию частиц МП. В результате увеличивается сорбционная способность, пористость, изменяется агрегативная стабильность. Повышенная сорбционная способность позволяет частицам МП адсорбировать большое количество токсичных веществ: тяжелых металлов, антибиотиков, катионных полимеров (поликатионов) и др. Мигрируя в окружающей среде, такие частицы способны контактировать с различными микроорганизмами и животными, что может сопровождаться различными негативными последствиями.

В данной работе исследовано влияние структуры микрочастиц на взаимодействие с полимерными токсинами (полидиаллилдиметиламмоний хлоридом и полилизином). В качестве частиц МП использованы два модельных объекта: 1) синтетический анионный полистирольный латекс (ПЛ) с размером 380 нм; 2) анионный микрогель (МГ), синтезированный из N-изопропилакриламида и акриловой кислоты, с размером 570 нм. Первый из них представляет структуру плотных частиц исходного МП. Второй отражает структуру «состарившегося» МП, частицы которого являются рыхлыми и проницаемыми для растворителя и адсорбируемых веществ. Взаимодействие частиц с поликатионами сопровождается нейтрализацией заряда и агрегацией образующихся комплексов. В системе МГ-поликатион при добавлении частиц исходного МГ к осадку, поликатион сохраняет свою мобильность и мигрирует на вновь добавленный МГ, равномерно распределяясь между всеми частицами, что реализуется в растворении осадка и формированием гомогенной суспензии. В случае систем с участием частиц ПЛ не наблюдается равномерной миграции поликатиона и растворения осадка.

Таким образом, структура микрочастиц влияет на взаимодействие с катионными полимерами и дальнейшее поведение образующихся комплексов. Частицы МГ способны обмениваться макромолекулами поликатиона, что способствует распространению токсинов в окружающей среде. Роль полимерных микрочастиц как потенциальных переносчиков токсичных веществ должна учитываться при обсуждении экологического и биологического влияния микропластика.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственный контракт № 075-15-2024-629, МегаГрант).

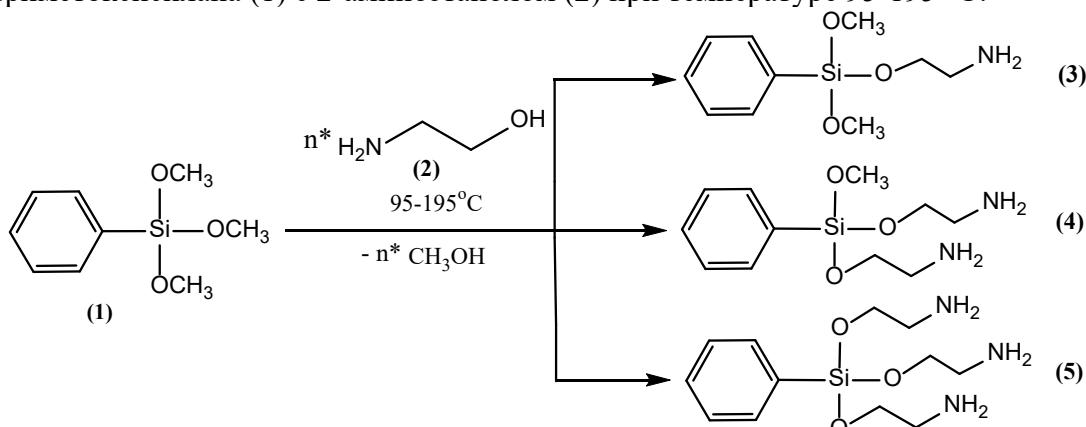
# СИНТЕЗ НОВЫХ АМИНОАЛКОКСИСИЛАНОВ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛТРИМЕТОКСИСИЛНА И 2-АМИНОЭТАНОЛА

Яковлева А.В.<sup>1</sup>, Гаврилов С.С.<sup>1</sup>, Кузьмин М.В.<sup>1</sup>, Колямшин О.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, Чебоксары, Россия  
428015, Россия, г. Чебоксары, Московский пр., 19  
Annasotnur@mail.ru

Аминоалкооксисилоксаны являются важными продуктами, которые используются в качестве технологических добавок в различных отраслях промышленности, в том числе могут быть использованы в качестве эффективных промоторов адгезии и сшивающих агентов при создании металл-полимерных композиционных материалов [1-3].

Получение кремнийорганических аминов осуществлялось путем взаимодействия фенилтритометоксисилана (1) с 2-аминоэтанолом (2) при температуре 95-195 °C:



Процесс проводили в мольных соотношениях 1:1, 1:2 и 1:3 соответственно при постепенном повышении температуры от 95 до 195 °C с одновременной отгонкой выделяющегося метилового спирта. Продуктами реакции являются 2-аминоэтоксидиметоксифенилсилан (3), ди-(2-аминоэтокси)метоксифенилсилан (4), три-(2-аминоэтокси)фенилсилан (5), которые образуются с выходами до 99% в виде бесцветных маслянистых жидкостей.

Структуры полученных соединений (3), (4), (5) подтверждены методами ИК-, ЯМР-<sup>1</sup>Н спектроскопии, индивидуальность – методом газовой хроматографии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Jerzy J. Chrusciel Modification of epoxy resins with functional silanes, polysiloxanes, silsesquioxanes, silica and silicates / Jerzy J. Chrusciel, Elzbieta Lesniak // Progress in Polymer Science. – 2015. – Vol. 41. – P. 67–121.
2. Загидуллин, А.И. Структура и свойства эпоксидных композитов, отверженных новыми кремнийсодержащими аминами / А.И. Загидуллин, М.В. Колпакова, Р.М. Гарипов, О.В. Стоянов // Клеи. Герметики. Технологии. – 2008. – № 1. – С. 17-19.
3. Vasiliev, A. B. Synthesis of New 3-Aminopropyl(ω-aminoalkoxy)trisiloxanes / A. B. Vasiliev, A. V. Lukin, K. Y. Ivanova, M. V. Kuzmin, O. A. Kolyamshin, and Yu. N. Mitrasov // Russian Journal of Organic Chemistry. – 2024. – Vol. 60. – No. 7. – P. 1193–1197.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FEGR-2023-0012).



# ЗАЧНЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция:

Физико-математическая

# ПЕРВОПРИНЦИПНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕГИРОВАННОЙ БОРОМ СТРУКТУРЫ $B_nN_{8-n}$ : СТРУКТУРА, СТАБИЛЬНОСТЬ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Гумарова И.И.<sup>1</sup>, Бурганова Р.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ереванский государственный университет, Институт физики 0025, Республика Армения, г. Ереван, ул. Алекса Манукяна, д. 1.

<sup>2</sup>Казанский федеральный университет, Институт физики 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 16а  
i.piyanzina@gmail.com

Разработка электродных материалов с исключительной электропроводностью, надежной химической стабильностью, быстрыми скоростями заряда и разряда и высокой емкостью хранения имеет важное значение для развития высокопроизводительных металл-ионных аккумуляторов. В качестве инструмента для предсказания стабильности и характеристик материала был использован метод теории функционала плотности [1,2], включающий в себя различный инструментарий для предсказания тех или иных свойств.

В этом исследовании изучается двумерная, замещенная бором 18-crown-6-like структура  $N_8$  ( $2D-B_nN_{8-n}$ ) как перспективный электродный материал для перезаряжаемых металл-ионных аккумуляторов следующего поколения.

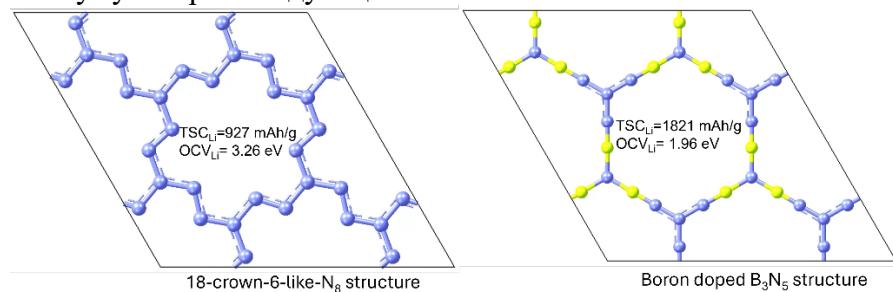


Рис.1. Структуры исследованных соединений с полученными характеристиками напряжение холостого хода (OCV) и теоретическая емкость (TSC).

В исследовании был произведен поиск возможных стабильных структур с замещением бором монослоя  $N_8$ . В результате были найдены стабильные структуры с замещением бором, была исследована стабильность найденной конфигурации путем проверки термической, термодинамической, динамической, механической стабильностей. Для полученной структуры были проведены расчеты электронной структуры, которые показали небольшую ширину запрещенной зоны 0.54 эВ для чистого монослоя  $N_8$ , и 1.45 эВ для  $B_3N_5$  что предполагает благоприятные электронные свойства для применения в аккумуляторах. Наши результаты показывают, что разработанная структура 2D- $N_8$  с замещением бора предполагает уникальное сочетание стабильности и электрохимических характеристик, которое может значительно способствовать разработке эффективных и долговечных технологий хранения энергии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kresse G., Furthmuller J. *Comp. Mat. Sci.*, **1996**, 6, 15-50.
2. Kresse G., Joubert D. *Phys. Rev. B*, **1999**, 59, 1758.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета высшего образования и науки РА №24PostDoc/2-2F006

# ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ НА ПОЛУЧЕНИЕ НЕРАЗЪЁМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

Елисеев А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, Россия  
634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4.  
alan@ispms.ru

Для соединения полимеров друг с другом часто используются такие методы, как kleевое соединение, крепёжное соединение и ультразвуковая сварка. Гибридные соединения металл-полимер трудно получить из-за различий физических и химических свойств. Одной из передовых технологий получения гибридных соединений является сварка трением с перемешиванием (СТП). В последние годы тема СТП полимерных материалов, в частности полиметилметакрилата (ПММА), набирает интерес: были попытки получатьстыковые соединения, Т-образные соединения, точечные соединения, а также соединения разнородных полимеров и модификация полимеров углеродными нанотрубками. Информации о нахлесточном соединении ПММА пока что нет, поэтому перед получением гибридных соединений полимер-металл необходимо исследовать возможность получения таких соединений из ПММА внахлест.

В качестве материала заготовки был выбран ПММА толщиной 2 мм. Для сварки внахлест использовался инструмент из никелевого сплава ЖС6У. Диаметр плеч инструмента составлял 20 мм, диаметр кончика пина составлял 3 мм, угол конуса пина составлял 30°. В процессе сварки варьировались технологические параметры: аксиальная нагрузка на инструмент, скорость сварки и частота вращения инструмента. Механические испытания полученных образцов на растяжение проводились при помощи универсальной испытательной машины УТС 110СМ-100 при скорости растяжения 1 мм/мин. Исследование макроструктуры производилось при помощи оптического микроскопа Альтами Мет-1с.

В результате исследований было обнаружено, что в выбранном диапазоне технологических параметров увеличение тепловыделения приводит к упрочнению соединений. При этом обнаружено сходство поведения ПММА с поведением металлических материалов при СТП – увеличение тепловыделения приводит к уменьшению крутящего момента инструмента и продольного усилия на инструмент. В целом, обнаружена склонность ПММА к растрескиванию в процессе сварки, что приводит к необходимости увеличения тепловыделения и времени выдержки для лучшего прогрева и пластификации материала заготовки. Обнаружено также отличие соединения ПММА от соединений металлов – интерфейс верхней и нижней пластин был сварен под большей частью плеч, а не только в зоне перемешивания, как это происходит в металлах. Несмотря на это, прочность соединений на данный момент достигнута недостаточная – не более 44% от прочности исходного ПММА. При этом образцы соединений разрушались вне области шва, преимущественно по нижней пластине. Предположительно, причина низкой прочности соединений заключается в остаточных напряжениях, так как после СТП не производился отжиг.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема FWRRW-2021-0006.

# ПОДХОДЫ ЯМР-РЕЛАКСОМЕТРИИ К ИЗУЧЕНИЮ СТРУКТУРЫ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ

Иванова М.С., Грунин Л.Ю.

*Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия  
424000, Россия, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3  
mariya-ivanova@list.ru*

Вклады доменов полимера (кристаллических, межфазных и аморфных) различимы на спадах свободной индукции (ССИ) благодаря разнице в молекулярной подвижности. Как правило, движения молекул поликристаллических полимеров сильно ограничены, что приводит к коротким наблюдаемым временем спин-спиновой релаксации. По этой причине существенная часть вклада от кристаллических доменов теряется во время «звона» датчика системы ЯМР. Для регистрации начального участка ССИ, помимо математических и программных манипуляций, применяются специальные импульсные последовательности Solid Echo (SE) и Magic Sandwich Echo (MSE) [1]. Эксперимент SE наиболее эффективен для изучения полимерных структур с сильными диполь-дипольными взаимодействиями. В то время как MSE интересен для исследования мягких доменов, молекулам которых характерна более высокая подвижность.

Анализ ССИ имеет важное значение при оценке структурных параметров полимеров – кристалличности и аморфности (для хлопковой целлюлозы  $\sim 0.7$  и  $0.3$  соответственно). Более того, по ССИ наиболее оптимально подбирать настройки (например, задержки между импульсами) для других последовательностей. Время затухания сигнала кристаллической фазы до нуля может быть использовано для выбора времени фильтра в эксперименте Гольдмана-Шена по спиновой диффузии [2]. Этот метод позволяет оценивать линейные размеры доменов с большей подвижностью в исследуемой системе. Возможные пути переноса намагниченности в эксперименте Гольдмана-Шена – от подвижных фаз к менее подвижным – от аморфных областей к кристаллическим, или от низкомолекулярного сорбата к матрице полимера. Так, с помощью этого подхода были оценены размер поверхности слоя кристаллитов хлопковой целлюлозы и глубина ее микропор (при аморфности  $0.3$  этот параметр  $\sim 16-18 \text{ \AA}$ ). Другой, не менее важный, метод определения размеров доменов заключается в вариации времени спиновой диффузии (интервала между импульсными сэндвичами возбуждения – реконверсии и считывающим импульсом) в последовательности для регистрации Double Quantum (DQ) build-up curve [1]. В этом случае наблюдаем обратный процесс – перенос намагниченности от областей с сильными диполь-дипольными взаимодействиями к более слабым.

DQ build-up curve метод эффективен при различении структур близких по природе полимеров. Этот эксперимент функционирует как своего рода сканер, переходя от сильных взаимодействий к слабым. Он дает четкое представление о распределении констант диполь-дипольных взаимодействий в образце. Однако работ по поликристаллическим полимерам с применением подхода DQ build-up curve пока мало – известные исследования в основном посвящены эластичным полимерам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Grunin L., Ivanova M., Schiraya V., Grunina T. *Appl. Magn. Reson.*, **2023**, *54*, 929-955.
2. Grunin L.Y., Grunin Y.B., Nikolskaya E.A., Sheveleva N.N., Nikolaev I.A. *Biophysics*, **2017**, *62*, 198-206.

# ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПРОВОДЯЩЕГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ЭФФЕКТИВНУЮ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ ИЗ ЭТИЛЕНВИНИЛАЦЕТАТА

Зюзин А.М., Игонченкова К.Е., Карпев А.А.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск, Россия, 430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68  
mrsu@mrsu.ru

В данной работе приведены результаты исследования влияния содержания  $v$  технического углерода (ТУ) марки П267Э на величину эффективной диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  и тангенса угла потерь  $\operatorname{tg} \delta$  композитов на основе матрицы из этиленвинилацетата. Для определения диэлектрической проницаемости был использован конденсаторный метод (метод параллельных пластин). При определении учитывались емкость обусловленная краевыми эффектами и паразитная емкость. Измерения производили на частоте 50 Гц с помощью прибора «Вектор 2М». Для исключения влияния сквозной проводимости, между электродами и образцом помещались изолирующие пленки из полиэтилентерефталата толщиной 15 мкм. Их влияние учитывали согласно выражению:

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_x} + \frac{1}{C_i}, \text{ откуда } C_x = C_e \left(1 + \frac{C_e}{C_i - C_e}\right), \text{ где}$$

$C_x$  – емкость конденсатора если бы между его обкладками находился только один образец,  $C_i$  – емкость конденсатора между обкладками которого находятся лишь две изолирующие пленки. Значения  $\epsilon'$  рассчитывали как  $\epsilon' = C_x \cdot h / (\epsilon_0 \cdot S)$ , где  $h$  – толщина образца.

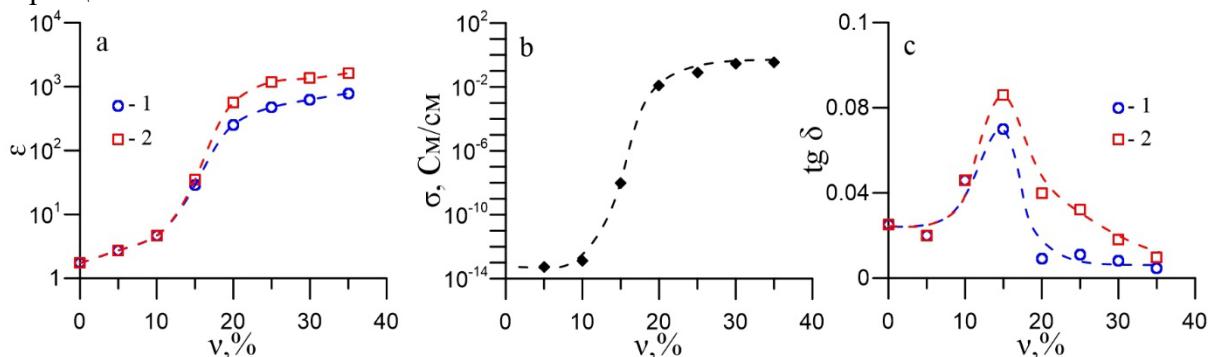


Рис.1. Зависимости:  $\epsilon'(v)$  – (а),  $\sigma(v)$  – (б) и  $\operatorname{tg} \delta(v)$  – (с), 1 – пленки с каждой стороны образца, 2 – две пленки с одной стороны образца.

Зависимости  $\epsilon'(v)$  и проводимости  $\sigma(v)$  приведены на рис.1.а,б. Из сопоставления зависимостей  $\epsilon'(v)$  и  $\sigma(v)$ , следует, что между ними имеет место качественная корреляция. Зависимость  $\operatorname{tg} \delta$  от содержания ТУ существенно отличается от зависимости  $\epsilon'(v)$  и имеет немонотонный характер. В частности, при  $v = 15\%$ , что находится вблизи порога перколяции ( $v_c \approx 17\%$ ) наблюдается максимум.

Возрастание  $\epsilon'$  при расположении изолирующих пленок лишь с одной стороны образца можно объяснить увеличением влияния на  $C_x$ , пространственного заряда в объеме образца, возникающего за счет эмиссии электронов с электрода, контактирующего с образцом, и их дрейфового движения в сторону второго электрода и обратно под действием переменного электрического поля.

# ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ НА ПОРОГ ПЕРКОЛЯЦИИ КОМПОЗИТОВ С ТЕХНИЧЕСКИМ УГЛЕРОДОМ

Зюзин А.М.<sup>1</sup>, Карпев А.А.<sup>1</sup>, Игонченкова К.Е.<sup>1</sup>, Янцен Н.В.<sup>1</sup>, Гостюшов С.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск, Россия, 430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68  
mrsu@mrsu.ru

Исследовано влияние типа полимерной матрицы на порог перколяции в полимерных композитах, наполненных техническим углеродом (ТУ) марки С40. В качестве матриц использовались этиленвинилацетат (EVA), полиэтилен высокой плотности (HDPE), линейный полиэтилен низкой плотности (LLDPE) и поливинилиденфторид (PVDF). Образцы получали путем смешивания в расплаве полимерной матрице на двухшнековом лабораторном экструдере EX30 с последующим прессованием [1].

Результаты работы позволили установить, что для композитов на основе матриц EVA, HDPE и LLDPE удельное сопротивление ( $\rho$ ) практически не зависит от концентрации ( $v$ ) ТУ до 10% включительно. Затем, в области концентраций 15-25%, то есть в области перколяции, наблюдается резкое уменьшение сопротивления на 7-9 порядков. Выше 25%, когда проводящая сетка, образованная частицами ТУ и их агломератами сформирована, происходит плавное уменьшение удельного сопротивления.

Для композита на основе матрицы PVDF зависимость  $\rho$  от  $v$  сильно отличается от кривых  $\rho(v)$  для вышенназванных композитов. Удельное сопротивление такого композита начинает резко уменьшаться уже при концентрации ТУ равной 5%. Порог перколяции определялся по экспериментальным данным зависимостей  $\rho(v)$ , и их аппроксимации согласно выражениям, следующим из теории перколяции:

$$\rho = k(v_f - v_{fc})^{-t}, \text{ при } v_f > v_{fc}; \rho = k(v_{fc} - v_f)^s, \text{ при } v_f < v_{fc}$$

где  $v_f$  – концентрация наполнителя,  $v_{fc}$  – критическая концентрация,  $k$  – постоянная величина,  $t$  и  $s$  – критические показатели степени. Значения  $t$ ,  $s$  и критических концентраций, соответствующих порогу перколяции представлены в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные параметры.

Матрица	$t$	$s$	$v_{fc}$ , %
EVA	4.5	1.8	17
LLDPE	6.5	0.1	18
HDPE	5.4	1.2	17
PVDF	5.1	-	3

Из таблицы видно, что композиты с матрицами EVA, LLDPE, HDPE имеют близкий порог перколяции, и, как отмечалось, схожие зависимости  $\rho(v)$ . Один из возможных механизмов, объясняющих существенно меньшее значение  $v_{fc}$  для композитов с PVDF может быть связан с тем, что этот полимер обладает более высокой степенью кристалличности. Поскольку частицы технического углерода располагаются не во всем объеме матрицы, а преимущественно в межкристаллических областях, это и обеспечивает более высокую электропроводность композита на основе PVDF.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зюзин А.М., Карпев А.А., Янцен Н.В. Письма в ЖТФ, 2022, 48, 31-35.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ, НАПОЛНЕННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Мещерякова Г. П., Цобкалло Е. С.

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия*

*191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18*

*E-mail:mescheryakova.galina@gmail.com*

Введение в полимерную матрицу проводящих добавок нелинейно меняет электрофизические, теплофизические, механические свойства материала, что позволяет получать композиты с требуемым комплексом функциональных свойств. Экспериментальные исследования представляют определенную трудность, поэтому важным направлением полимерного материаловедения является математическое моделирование процессов, происходящих в наполненных структурах, что позволяет не только аппроксимировать экспериментальные результаты, проводить их интер- и экстраполяцию, но также лучше понять структурные процессы и характер их изменения при увеличении концентрации наполнителя или в различных технологических процессах, например, ориентационной вытяжке полимеров при получении волокон и нитей. Варьирование значения электропроводности ПКМ позволяет решать задачи получения полимеров с антистатическими, экранирующими, проводящими свойствами. В настоящей работе рассмотрены математические модели, описывающие переколяционный процесс в композитных полимерных материалах, полученных на основе волокнообразующей термопластичной полимерной матрицы (полипропилен) и проводящих углеродных нанонаполнителей разного типа: технический углерод (ТУ), углеродные нановолокна (УНВ) и многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ). Дисперсные проводящие частицы наполнителя при введении их в полимерную матрицу образуют непрерывную фрактальную структуру (переколяционный кластер), которая является случайным графом и, как показывает моделирование, имеет фрактальную размерность несколько меньше геометрической размерности изделия (мононити, пленки, блочного материала). Показано, что имитационные модели на идеальных регулярных бесконечных решетках плохо описывают изменение реальных электрофизических свойств композиционных полимерных материалов с углеродными наполнителями, обладающими большим аспектным числом. В реальных объектах, демонстрирующих переколяционный переход типа диэлектрик-проводник, критической точкой перехода является точка перегиба на концентрационных зависимостях проводимости, в которой обращаются в ноль вторые производные. К этой точке сходится критический интервал имитационной модели на конечной решетке при увеличении размера решетки. Эта точка может быть надежно определена не только по математической модели, но и в экспериментах. Исследовано применение построенных моделей для описания других физических свойств композитных материалов.

## РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НАНОКОМПОЗИТЕ «ПВС-Ag»

Родионова К.В., Абатурова Н.А., Чугунов Ю.В.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н.Фрумкина Российской академии наук,  
119071, РФ, г. Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4  
kseniiarodionova12@gmail.com*

Проведено исследование процессов локальной диссипативной неупругости в нанокомпозитной системе поливиниловый спирт-серебро («ПВС-Ag») в широком интервале температур (от -150 до +300 °C). Исследование проведено динамическим методом определения внутреннего трения [1].

Образцы ПВС-Ag были синтезированы по методике смешения растворов: 8 % ПВС и 0,1М водного раствора AgNO<sub>3</sub>. В результате проведенных экспериментальных исследований были получены спектры внутреннего трения  $\lambda = f(T)$  и температурно-частотные зависимости  $\nu = f(T)$  (рис. 1).

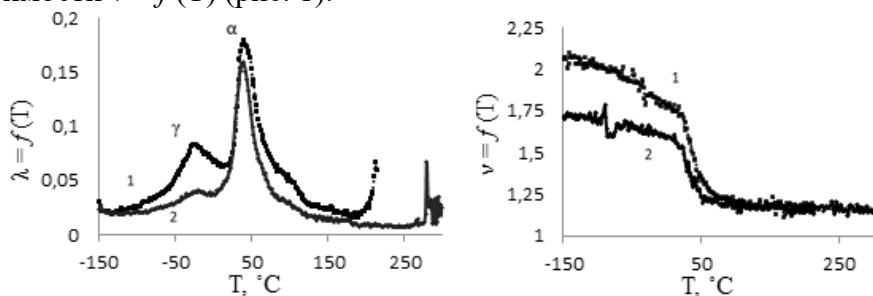


Рисунок 1. Спектр внутреннего трения и частота колебательного процесса релаксации: 1 - чистый ПВС; 2 - нанокомпозит «ПВС-Ag»

Данные исследования выявили на спектрах 2 локальных диссипативных процесса различной интенсивности, расположенных в разных температурных интервалах спектра. Установлено, что в этих интервалах наблюдается аномальное изменение температурной зависимости частоты [2].

По полученным экспериментальным результатам были рассчитаны параметры для каждого релаксационного процесса.

Таблица 1. Характеристики чистого ПВС и «ПВС-Ag»

№	T <sub>γ</sub> /α max, °C	ΔT, °C	λγ/α max	νγ/α max, Гц	Uγ/α, кДж/ моль	τγ/α max	γ-процесс		α-процесс	
							Изменение частоты Δν, Гц	Дефект модуля ΔG	Изменение частоты Δν, Гц	Дефект модуля ΔG
1	-25/40	70/83	0,084/ 0,18	1,85/ 1,46	49/62	0,086/ 0,109	1,93	1,76	0,17	1,72
2	-18/39	53/86	0,041/ 0,16	1,63/ 1,35	50/62	0,098/ 0,118	1,66	1,59	0,08	1,54

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ломовской В.А. *Научное приборостроение*, 2019, 29, 33-46;
2. Ломовской, В.А., Абатурова Н.А., Ломовская Н.Ю., Хлебникова О.А. *Высокомолекулярные соединения*, 2015, 57, 120–127.

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЕ В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Русаков С.В.<sup>1</sup>, Гилёв В.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
Пермь, Россия  
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15.  
rusakov@psu.ru

Дисперсные материалы на основе кварцевого песка и полимерного связующего имеют широкое применение—в различных технических приложениях и, особенно, в строительстве. При этом используются две альтернативные технологии замешивание или пропитка. Настоящая работа посвящена исследованию именно технологии пропитки.

В предыдущих публикациях авторов описаны результаты экспериментального определения пористости и проницаемости ~~емесей~~ «мелкого» и «крупного» кварцевого песка с различным дисперсионным составом, а так же механических свойств получаемого композитного материала [1]. В работе [2] процесс пропитки пористой среды отверждающейся эпоксидной композицией исследовался с помощью обобщенной модели закона Дарси в изотермической постановке. При этом, на основе сопоставления расчётных и экспериментальных данных получена эмпирическая зависимость капиллярного давления от состава дисперсной смеси. Показано, что глубина пропитки определяется двумя основными механизмами: зависимостью вязкости от температуры и временем отверждения. В процессе полимеризации вязкость жидкой фазы связующего увеличивается по экспоненциальному закону. Со временем эпоксидная композиция переходит в гель фракцию, после чего пропитка фактически прекращается. В то же время вязкость в начале процесса тем меньше, чем выше температура, при которой он осуществляется. В работе [3] в результате натурного эксперимента, выявлены режимы нагрева жидкого полимера, при которых на начальной стадии процесса вязкость даже уменьшается.

В настоящей работе численно моделировался процесс пропитки связующим дисперсной среды, который происходит только за счёт капиллярных сил и сил тяжести, в неизотермических условиях. В работе рассмотрены варианты увеличения температуры по линейному закону с различной скоростью от 25<sup>0</sup>С до 50<sup>0</sup>, после чего она оставалась постоянной до конца процесса пропитки. Расчёты показали, что при росте скорости увеличения температуры до определённого уровня удаётся обеспечить заполнения пористой среды полимером на максимальную глубину.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бузмакова М.М, Гилев В.Г., Мерзляков А.Ф., Русаков С.В. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика*, 2024, 15–24.
2. Русаков С.В., Гилев В.Г. *Математическое моделирование и суперкомпьютерные технологии. Труды XXIV Международной конференции (Н. Новгород, 18–21 ноября 2024 г.)*, 2024, 132-136.
3. Русаков С. В., Гилев В. Г. *Вестник Пермского университета. Физика*, 2021, 3, 30–36.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА НАГРЕВАТЕЛЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ FDM-ПЕЧАТИ

Харламова К.И.<sup>1</sup>, Савицкая Ю.А.<sup>1</sup>, Саитгалиева А.З.<sup>1</sup>, Юркин А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МИРЭА – Российский технологический университет, институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

119454 г. Москва, проспект Вернадского, д. 78

*kharlamki@gmail.com*

Среди технологических параметров процесса FDM печати важнейшую роль занимают температурно-временные параметры, а именно температура печати, т.е. температура расплава полимерного материала. Условия и способы переработки полимерных материалов в первую очередь зависят от их реологических свойств, которые непосредственно связаны с температурой расплава [1].

Конструкция FDM принтеров предполагает один основной элемент нагрева полимерного филамента, находящегося в печатающей голове принтера, при чем время нагревания материала зависит от мощности нагревателя и линейной скорости подачи филамента, регулируемой шаговым двигателем.

В связи с этим актуальной задачей является разработка математической модели, позволяющей прогнозировать температуру расплава полимерного материала в сопле в зависимости от линейной скорости подачи филамента.

Наиболее распространенным уравнением для математического моделирования влияния теплового потока нагревателя на температуру полимерного расплава является уравнение теплопроводности Фурье, которое в упрощенном виде может быть представлено следующим образом [2]:

$$t = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{P}$$

где  $m$  – масса цилиндрического образца,  $c$  – удельная теплоемкость материала,  $\Delta T$  – разница между конечной и начальной температурами,  $P$  – мощность нагрева.

При проведении ряда математических преобразований для использования уравнения Фурье в FDM-печати оно примет вид:

$$T_{pol}^{melt} = \frac{P \cdot \rho_{solid}}{v \cdot \pi \cdot \left(\frac{d^f}{2}\right)^2} + T_{pol}^{solid}$$

где  $T_{pol}^{melt}$  – температура полимерного расплава на выходе из сопла принтера [К],  $P$  – мощность нагревательного элемента [Вт],  $\rho_{solid}$  – плотность полимера при комнатной температуре [ $\text{кг}/\text{м}^3$ ],  $v$  – линейная скорость подачи филамента [ $\text{м}/\text{с}$ ],  $d^f$  – диаметр филамента [м],  $T_{pol}^{solid}$  – температура филамента до нагревания.

В ходе работы была установлена аналитическая зависимость, позволяющая прогнозировать температуру полимерного расплава в зависимости от характеристик FDM принтера и материала с учетом линейной скорости подачи филамента.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Малкин А.Я. ЦОП Профессия, 2018, 331.
2. Григорьев В. А., Колач Т. А. Рипол Классик, 2014, 262.

Работа выполнена при финансовой поддержке Грантовой программы в рамках Акселерационной программы «Акселератор РТУ МИРЭА»